



Évaluation des performances techniques des séparateurs mécaniques à lisier et de leur rapport efficacité/coût

N°: 458-14-010302

En collaboration avec :



RAPPORT FINAL

Rédigé par : Stéphane Godbout, Ph.D., ingénieur et agronome
Marc Trudelle, M.Sc., agronome
et collaborateurs

Projet réalisé dans le cadre du Programme agroenvironnemental du CDAQ
Volet transfert et innovation technologique

Décembre 2002

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Répondant : Marc Trudelle, M.Sc., agr.
Chargée de projet : Sylvie Richard, agr.
Responsable scientifique du projet : Stéphane Godbout, Ph.D., ing., agr.

Collaborateurs :
Roch Joncas, M.Sc., ing., agr.
Daniel-Yves Martin, M.Sc., ing.
Bernard Beaulieu, ing.
Francis Pouliot, ing.
Éric Lévesque, agr.
Carole Meunier, agr.
Michel Côté, dta
François Léveillé, dta
Gérard Lemay, tech. génie civil
Frédéric Rompré, étudiant

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Stéphane Godbout, Ph.D., ing., agr.
Roch Joncas, M.Sc., ing., agr.
Daniel-Yves Martin, M.Sc., ing.
Bernard Beaulieu, ing.
Marc Trudelle, M.Sc., agr.
Sylvie Richard, agr.
Michel Côté, dta
François Léveillé, dta

ENTREPRISES PORCINES PARTICIPANTES

Ferme Aldo, Saint-Lambert-de-Lauzon
Ferme Grenier, Ange-Gardien
Ferme Pasquet, Saint-Pie

ENTREPRISE DE TRANSPORT ET D'ÉPANDAGE

CRP Transports inc., Racine

AUTRES PARTICIPANTS

Envirotech 2000
SLS Technologies
Alfa-Laval
Agri-vente Brôme

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier le CDAQ, l'IRDA, le CDPQ, l'AGEO, le Groupe conseils agricoles Progestion, le Syndicat de producteurs de porcs de la région de Saint-Hyacinthe ainsi que les promoteurs de technologies de séparation pour leur support financier et technique. Sans le support de ces partenaires, la réalisation de ce projet n'aurait pas été possible.

De même, les auteurs remercient tous les ouvriers et techniciens impliqués dans le projet sans qui il n'aurait pas été possible de réaliser ce type d'expérimentation qui exige de tous une très grande rigueur.

MISE EN GARDE

Cette étude visait, dans un premier temps, à évaluer de façon non comparative l'efficacité technique et économique des séparateurs mécaniques. Dans un second temps, les travaux devaient permettre de développer une technique d'évaluation normalisée des séparateurs à lisier. L'étude a également permis de mettre en relief les limites d'applications de différents séparateurs.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	10
1.0 Description du projet	12
1.1 Problématique	12
1.2 Objectif général.....	13
1.3 Objectifs spécifiques	13
1.4 Étapes et échéancier de réalisation.....	13
2.0 Revue de littérature.....	15
2.1. Caractéristiques des lisiers.....	15
2.2. Les séparateurs mécaniques.....	15
2.3. Les méthodes de testage et de calcul d'efficacité	17
2.4. L'efficacité des séparateurs.....	18
<i>Section A Performances techniques des séparateurs mécaniques</i>	
3.0 Méthodologie	22
3.1. Séparateurs utilisés lors du projet	22
3.1.1. Choix des séparateurs.....	22
3.1.2. Description des séparateurs testés.....	22
3.1.2.1. Le décanteur-centrifuge.....	22
3.1.2.2. Le séparateur à tamis	24
3.1.2.3. Le compacteur à vis.....	25
3.1.2.4. Le tamis centrifuge	26
3.2. Description des sites expérimentaux.....	27
3.2.1. Le site du pré-test.....	27
3.2.2. Le site des essais	27
3.3. Déroulement des essais	29
3.3.1. Le pré-test	29
3.3.2. Les tests.....	30
3.4. Méthodes de calculs et analyses.....	32
3.4.1. Les analyses	32
3.4.2. Le calcul de l'efficacité.....	33
3.4.3. Le calcul de l'erreur expérimentale.....	33
3.4.4. Méthode in-situ de caractérisation des différentes fractions contenues dans le lisier.....	34
4.0 Résultats des essais et discussions	36
4.1. Essais.....	36
4.1.1. Le pré-test	36
4.1.2. Les essais.....	38
4.1.2.1. Séparateur à tamis plan incliné	38
4.1.2.2. Séparateur décanteur-centrifuge	38
4.1.3. Comparaison avec la littérature.....	41

4.2.	Analyse des résultats de performance des différentes technologies de séparation	43
4.2.1.	Matière sèche	43
4.2.2.	Phosphore.....	47
Section B Évaluation du rapport efficacité/coût des séparateurs		
5.0	Méthodologie	49
5.1.	Hypothèse générale.....	49
5.2.	Description des séparateurs utilisés dans les scénarios.....	49
5.3.	Description des scénarios.....	50
5.3.1.	Scénario A : Entreprise sans sol avec un volume de lisier brut à gérer de l'ordre de 5 000 m ³	50
5.3.2.	Scénarios B : Regroupement de lisier brut pour un volume à gérer de l'ordre de 12 000 m ³	50
5.4.	Hypothèse pour l'évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs mécaniques et de la disposition de lisier brut.....	51
6.0	Résultats.....	52
6.1.	Scénario A : Entreprise sans sol avec 5 000 m ³ de lisier brut à gérer	52
6.1.1.	Types et volume des produits à gérer par l'entreprise sans sol utilisant un séparateur	52
6.1.2.	Évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs	52
6.1.3.	Discussion	52
6.2.	Scénarios B : Regroupement d'un volume de 12 000 m ³ de lisier brut	54
6.2.1.	Types et volume des produits à gérer par les entreprises utilisant un séparateur.....	54
6.2.2.	Évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs	55
6.2.3.	Discussion	56
7.0	Réflexion sur la séparation de la matière solide des lisiers.....	59
7.1.	Éléments de réflexion.....	59
7.2.	Identifier les besoins locaux ou régionaux.....	59
7.3.	Trouver la technologie adaptée à ces besoins	60
7.4.	Trouver des débouchés au solide séparé	61
8.0	Conclusions et recommandations.....	62
8.1.	Conclusions.....	62
8.2.	Recommandations.....	63
9.0	Références	64
10.0	Bibliographie	67

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 :	Échéancier de réalisation.....	14
Tableau 2.1 :	Types et sous-types de séparateurs mécaniques.....	16
Tableau 2.2 :	Principales caractéristiques des séparateurs mécaniques vendus au Québec (adapté de Pelletier, 2000).....	16
Tableau 2.3 :	Caractéristiques de différents séparateurs retrouvés dans la littérature	20
Tableau 2.4 :	Efficacités des séparateurs mécaniques disponibles au Québec (adapté de Pelletier, 2000).....	21
Tableau 3.1 :	Caractéristiques déterminées au laboratoire.....	32
Tableau 3.2 :	Erreur par caractéristique du lisier	34
Tableau 4.1 :	Les différents teneurs des trois phases du lisier lors de la séparation avec la technologie de presse à vis (FAN).....	37
Tableau 4.2 :	Efficacité de séparation du séparateur de type compacteur à vis (FAN) en fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut de fosse et de pré-fosse.....	37
Tableau 4.3 :	Les différents teneurs des trois phases du lisier lors de la séparation avec le tamis plan incliné Maximizer.....	39
Tableau 4.4 :	Efficacité de séparation du tamis plan incliné (Maximizer) en fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut.....	39
Tableau 4.5 :	Ajustement du séparateur décanteur-centrifuge afin d'obtenir une consistance similaire d'un essai à l'autre	39
Tableau 4.6 :	Les différents teneurs des trois phases du lisier lors de la séparation avec la technologie décanteur-centrifuge d'Alfa-Laval pour trois types d'élevage.....	40
Tableau 4.7 :	Efficacité de séparation du décanteur-centrifuge (Alfa-Laval) en fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut.....	40
Tableau 4.8 :	Comparaison des efficacités des séparateurs traités dans la littérature avec les valeurs de la présente étude.....	42
Tableau 6.1 :	Utilisation des séparateurs par l'entreprise sans sol avec 5 000 m ³ de lisier brut à gérer (Scénario A)	53
Tableau 6.2 :	Résumé des coûts d'utilisation des séparateurs pour l'entreprise sans sol ayant un volume de 5 000 m ³ de lisier brut à disposer.	53
Tableau 6.3 :	Coût de disposition du lisier brut de l'entreprise sans sol ayant un volume de 5 000 m ³ à gérer.	54
Tableau 6.4 :	Utilisation du séparateur 2 par un regroupement de trois entreprises possédant une certaine superficie d'épandage (Scénarios B1 et B2).....	55

Tableau 6.5 :	Résumé des coûts d'utilisation du séparateur 2 pour un regroupement de trois entreprises	57
Tableau 6.6 :	Coût de disposition du lisier brut du regroupement de trois entreprises selon les distances des superficies d'épandage disponibles	57
Tableau 7.1 :	Détermination du surplus régional en Montérégie-Est selon différentes méthodologies de calcul – situation actuelle.....	59
Tableau 7.2 :	Relations entre la régie du lisier brut et les différentes technologies de séparation testées.....	61
Tableau 7.3 :	Appréciation des technologies mécaniques de séparation utilisées dans le cadre du projet.....	61

LISTE DES FIGURES

Figure 3.1 :	Séparateur décanteur-centrifuge de Alfa-Laval P660	23
Figure 3.1a :	Panneau de contrôle	23
Figure 3.1b :	Sortie des fractions solide et liquide	23
Figure 3.2 :	Coupe typique d'un décanteur-centrifuge	23
Figure 3.3 :	Séparateur à tamis incliné « Maximizer »	24
Figure 3.4 :	Coupe d'un compacteur à vis	25
Figure 3.5 :	Coupe du séparateur SLS	26
Figure 3.6 :	Site pour le pré-test	27
Figure 3.7 :	Site expérimental	28
Figure 3.8 :	Laboratoire du site expérimental	28
Figure 3.9 :	Relation entre les méthodes d'évaluation terrain et laboratoire pour la détermination de l'efficacité de séparation	35
Figure 4.1a :	Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Alfa-Laval avec du lisier d'engraissement d'une teneur en matière sèche de 4,5 à 5 %	44
Figure 4.1b :	Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Alfa-Laval avec du lisier de maternité d'une teneur en matière sèche de 1,5 à 1,83 %	44
Figure 4.2a :	Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur FAN avec du lisier de pré-fosse d'une teneur en matière sèche de 4,5 à 11 %	45
Figure 4.2b :	Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur FAN avec du lisier d'engraissement provenant d'une fosse (teneur de 1,99 à 2,10 %)	45
Figure 4.3a :	Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Maximizer avec du lisier d'engraissement d'une teneur de 4,5 % à 4,7 %	46
Figure 4.3b :	Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Maximizer avec du lisier de maternité d'une teneur de matière sèche de 1,7 à 2,1 %	46
Figure 4.4a :	Efficacité de séparation du phosphore en fonction de l'efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Alfa-Laval	47
Figure 4.4b :	Efficacité de séparation du phosphore en fonction de l'efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur FAN	48
Figure 4.4c :	Efficacité de séparation du phosphore en fonction de l'efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Maximizer	48

Figure 6.1 :	Comparaison des coûts de gestion du lisier brut de l'entreprise sans sol ayant 5 000 m ³ via la gestion standard et via la séparation mécanique	54
Figure 6.2 :	Comparaison des coûts de gestion de lisier brut du regroupement de trois entreprises selon des superficies d'épandage disponibles	58
Figure 6.2a :	Scénario B1 : Surplus de 10 000 kg P ₂ O ₅	58
Figure 6.2b :	Scénario B2 : Surplus de 20 000 kg P ₂ O ₅	58

LISTE DES ANNEXES

Annexe I :	Détermination de la densité et de la matière sèche par four micro-ondes.....	69
Annexe II :	Méthode standard afin d'évaluer la performance des séparateurs solide/liquide pour du lisier de porcs	71
Annexe III :	Technologies reliées au traitement des lisiers et résultats sur les séparateurs.....	83

RÉSUMÉ

Selon plusieurs études québécoises, il y aurait une très forte proportion d'entreprises porcines qui devraient gérer leurs surplus de phosphore sur des superficies soumises à des ententes d'épandage. Le phosphore étant très lié à la phase solide et l'azote se retrouvant en solution dans la partie liquide du lisier, il pourrait être intéressant de fractionner ses deux phases. La séparation mécanique du lisier représente une solution intéressante afin de répondre à ce besoin.

Il existe actuellement sept séparateurs mécaniques disponibles au Québec, répartis en quatre grandes familles (à tamis, à vis, à centrifuge et sous vide). Pour les conseillers agricoles et leurs clients, il serait donc très utile de connaître les rendements des divers séparateurs sur le marché et leur efficacité technico-économique.

L'Association de gestion des engrais organiques (AGEO) du bassin de la rivière Yamaska en collaboration avec l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ), le Syndicat des producteurs de porcs de Saint-Hyacinthe et le Groupe conseils agricoles Progestion ont soumis un projet au Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ) pour financement. L'objectif général du projet est d'évaluer l'efficacité technique et économique de deux séparateurs mécaniques (sans ajout d'additif).

Le but visé est de fournir aux producteurs agricoles des informations justes et comparatives obtenues par des essais standardisés afin de pouvoir faire un choix éclairé dans l'acquisition de cette méthode alternative de gestion des lisiers. Les objectifs spécifiques du projet se formulent comme suit :

- valider les équations de bilan et d'efficacité massique de séparation à l'aide de lisier prélevé dans la préfosse;
- évaluer les paramètres d'influence et l'efficacité de séparation pour du lisier provenant des trois stades de production (maternité, pouponnière et finition);
- étudier l'influence des caractéristiques du lisier sur l'efficacité;
- évaluer les coûts et le rapport efficacité/coût.

Dans le cadre de ce projet, deux séparateurs ont été testés soit le décanteur-centrifuge Alfa-Laval et le séparateur à tamis plan incliné Maximizer (Agri-ventes Brome ltée). Le tamis centrifuge SLS, pour des raisons mécaniques, n'a pu compléter les essais. Les résultats obtenus ont démontré que le séparateur Maximizer pouvait extraire de 2 à 3 % de matière sèche et environ 0,5 % du phosphore pour des lisiers de porc variant de 2 à 5 % de teneur en matière sèche. Pour les mêmes lisiers, le séparateur Alfa-Laval permettait d'extraire de 27 à 50 % de la matière sèche et de 40 à 70 % du phosphore. Le pré-test a permis de présenter les résultats obtenus avec le séparateur FAN soit une extraction de 50 à 60 % de matière sèche et de 50 à 65 % du phosphore avec des lisiers de pré-fosse.

L'étude économique a pris en compte différents scénarios et deux types de séparateurs. Les scénarios choisis vont d'une entreprise se dotant seule d'un séparateur au regroupement de producteurs. Les coûts d'achat des séparateurs ont été estimés à 70 000 \$ (50 % d'efficacité d'extraction du phosphore), 100 000 \$ (70 % d'efficacité d'extraction du phosphore) ou 170 000 \$ (pour un modèle de grande capacité). Ce dernier cas étant étudié seulement pour un

regroupement. Les différents calculs ont démontré que les coûts d'une gestion avec séparation pouvaient varier de 4 à 8 \$/m³ tandis que pour une gestion standard les coûts pouvaient varier de 4 à 13 \$/m³.

Dans tous les cas, la rentabilité économique d'un séparateur mécanique dépend de son coût d'achat (avec ou sans subvention), de son efficacité d'extraction de la matière sèche et par conséquent du phosphore, de l'envergure de l'excédent en phosphore de l'entreprise agricole (suite au bilan de phosphore) et des distances d'épandage des superficies soumises à des ententes avec d'autres entreprises agricoles. Le regroupement de volume de lisier à gérer permet un gain économique intéressant sur les coûts totaux.

1.0 Description du projet

1.1. Problématique

En 1996, il y avait 1 320 entreprises porcines qui devaient gérer des surplus de lisier, sur une base azote, à l'extérieur de leur propriété (GREPA-BPR Groupe-conseils, 1998). Depuis, les exigences environnementales sont basées sur le phosphore. La production porcine se retrouve principalement dans le bassin de la rivière Yamaska puisque trois des quatre régions administratives où se trouvent les entreprises porcines évoluent dans ce bassin.

Comme le phosphore se retrouve dans la phase solide du lisier, il est intéressant de fractionner ses deux phases afin :

- de conserver l'azote (phase liquide) et l'apporter aux cultures de la ferme ou près de celle-ci;
- d'exporter le phosphore (phase solide) vers des terres réceptrices plus éloignées de la ferme ou vers une unité de traitement (à la ferme ou centralisée).

Le traitement est effectivement jugé essentiel pour de nombreuses entreprises porcines situées dans les municipalités en surplus du Québec, particulièrement depuis le REA. De plus, la majorité des chaînes de traitement des lisiers utilisent la séparation en première étape selon le Groupe de travail "*Transfert technologique*" du *Plan agroenvironnemental de la production porcine* (FPPQ). Ce groupe identifie donc cette technique comme étant une méthode de gestion pertinente.

En réponse à ce besoin, il y aurait sept séparateurs mécaniques disponibles au Québec (Pelletier, 2000) répartis en quatre grandes familles (tamis, vis, centrifuge et sous vide). Cependant, un seul séparateur aurait subi des tests complets avec du lisier de porc provenant d'élevages québécois. La littérature, québécoise et d'ailleurs, relate des méthodes de calcul d'efficacité d'extraction très variables et des performances (obtenues ou espérées) décevantes. Les niveaux de performances seraient reliés à l'âge du lisier et au mode de séparation utilisé.

Pour les producteurs et leurs conseillers en gestion des lisiers, il serait très utile de connaître les rendements des divers séparateurs récemment mis sur le marché. Pour ce faire, l'efficacité technico-économique des séparateurs mécaniques devrait être évaluée à l'aide d'une méthode de calcul approuvée et ce, en fonction des différents paramètres d'influence tels le type, l'âge et la teneur en matière sèche du lisier. Ainsi, les producteurs auraient à leur disposition des informations justes et comparatives pour pouvoir faire un choix éclairé dans l'acquisition de cette méthode alternative de gestion des lisiers.

1.2. Objectif général

L'objectif général est d'évaluer l'efficacité technique et économique de deux séparateurs mécaniques (sans ajout d'additif).

1.3. Objectifs spécifiques

Puisque le traitement des lisiers débute idéalement le plus près de la pré-fosse du bâtiment et que selon la littérature, l'âge du lisier a un effet négatif sur l'efficacité de séparation, les objectifs spécifiques se formulent comme suit :

- valider les équations de bilan et d'efficacité massique de séparation à l'aide de lisier prélevé dans la pré-fosse;
- évaluer l'efficacité de séparation pour du lisier provenant des trois stades de production (maternité, pouponnière et finition);
- étudier l'influence des caractéristiques du lisier sur l'efficacité;
- évaluer les coûts, dont les coûts énergétiques, et le rapport efficacité/coût;
- développer une méthode standardisée d'évaluation des séparateurs.

1.4. Étapes et échéancier de réalisation

Les étapes suivantes avaient été planifiées :

- **Étape préliminaire**
Cette étape consistait à consolider les connaissances et à sélectionner les séparateurs à évaluer. Les différentes tâches à accomplir étaient :
 - actualiser la revue de littérature;
 - finaliser l'approche théorique de calcul des efficacités de séparation des différents éléments;
 - sélectionner les séparateurs à utiliser.
- **Étape 1 : Pré-tests et validation**
La réalisation de cette étape était cruciale. Pour débiter, une étude en laboratoire complète a été effectuée. Cette pré-étape a déterminé les paramètres de sélection des lisiers qui étaient testés à l'étape 2.
- **Étape 2 : Essais**
Cette étape consistait à réaliser les essais.
- **Étape 3 : Diffusion des résultats**
Avant le démantèlement du site, les producteurs de porc et les intervenants du milieu ont été invités à visiter le site d'expérimentation. Cette journée porte ouverte s'est tenue avec la collaboration des chercheurs et un essai typique y a été réalisé. Une invitation a été acheminée à l'ensemble des entreprises agricoles sous gestion liquide du bassin de la rivière Yamaska.

Finalement, la rédaction du rapport final et d'un article de vulgarisation dans la revue *Porc Québec* avait été prévue. Le comité organisateur du Colloque sur la production porcine a invité l'équipe du projet a présenté ses résultats ce qui fut fait le 5 novembre 2002. Également, un article scientifique sera publié dans la revue *Agrosol*. (Annexe 3)

Les différentes étapes se sont déroulées selon les dates présentées au tableau 1.1

Tableau 1.1 Échéancier de réalisation

Étapes	Date
Préliminaire	Juin 2001
Étape 1 : Pré-tests et validation	Juillet 2001
Étape 2 : Essais des séparateurs	Septembre 2001
Étape 3 : Diffusion de l'information et des résultats	Septembre et octobre 2002

2.0 Revue de littérature

2.1. Caractéristiques des lisiers

Les performances techniques des séparateurs varient en fonction de plusieurs facteurs tels les caractéristiques du lisier (Zhang et Westerman, 1997) et son âge. En effet, selon Chastain et al. (1998), il y a beaucoup de modifications des caractéristiques du lisier au-delà des 6 à 12 jours d'âge.

Le fumier produit par les animaux contient des composés organiques et inorganiques. Ces composés sont issus des aliments non digérés et/ou rejetés. Lorsque le lisier est excrété de l'animal, il entre dans un procédé anaérobie de décomposition produisant des gaz et des composés odorants. La quantité et les caractéristiques du lisier produit sur les fermes dépendent de la ration alimentaire, de l'espèce, de l'âge de l'animal, de la méthode de gestion des lisiers et de la quantité d'eau ajoutée dans le traitement des lisiers (Zhang et Westerman, 1997). Également, les caractéristiques du lisier frais de porc sont données par le ASAE Standards D384.1 (ASAE, 1997) et par le CIGR (1999).

2.2. Les séparateurs mécaniques

Le processus de la séparation solide-liquide se divise en deux grandes catégories : la sédimentation et la séparation mécanique. Les séparateurs mécaniques peuvent prendre différentes formes selon leur mode de fonctionnement et de fabrication. Les quatre principaux types de séparateurs mécaniques sont : les séparateurs à tamis, les séparateurs centrifuges, les séparateurs à pression et les séparateurs sous vide. Le tableau 2.1 regroupe les différents types et sous-types de séparateurs.

Quelques compagnies distribuent des séparateurs mécaniques au Québec. Le tableau 2.2 résume les principales caractéristiques des séparateurs vendus au Québec. Dans certains cas, les données techniques sur le rendement des séparateurs sont incomplètes ou manquantes.

Tableau 2.1 Types et sous-types de séparateurs mécaniques

Type de séparateurs	Sous-type de séparateurs
Séparateur à tamis	Tamis stationnaire Tamis vibrant Tamis rotatif Tamis-courroie
Séparateur centrifuge	Décanteur-centrifuge Tamis centrifuge Cyclone
Séparateur à pression	Presse à rouleau Presse à rouleaux et courroie Vis sans fin à pression Rouleaux presseoir perforés
Séparateur sous vide	Filtre rotatif sous vide

Tableau 2.2 Principales caractéristiques des séparateurs mécaniques vendus au Québec (adapté de Pelletier, 2000)

Séparateur	Type	Débit (m ³ /h)	Puissance (kW)	Prix (\$)	Distributeur
Séparateur Maximizer	Tamis	3 à 4	7,5	36 000	Agri Ventes Brome ltée
FiltroPresse	Tamis-presse à vis	2 à 2	3,0	40 000	Envirogain
Séparateur FAN	Vis sans fin à pression	20	5,0	40 000 70 000 pour une unité mobile	Les Industries et Équipements Laliberté
Séparateur SLS Technologies*	Centrifuge	7,6	3,7	70 000	SLS Technologies
Séparateur KP-10**	Vis sans fin à pression	15	5,6	45 000	Agrivision 2000 Inc.
Décanteur-centrifuge Alfa-Laval	Décanteur-centrifuge	5 à 25	n.d.	Entre 100 000 et 200 000	Alfa-Laval Inc.
Décanteur-centrifuge Perialisi**	Décanteur-centrifuge	0,8 à 70	5,6 à 7,5 plus petit modèle	100 000 et plus	Degrémont Infilco ltée (DIL)
Décanteur-centrifuge Westfalia-Surge	Décanteur-centrifuge	4 à 6 plus petit modèle	n.d.	150 000 et plus	Westfalia-Surge

Note : la plupart des données de ce tableau sont issues d'évaluation et sont approximatives

* : ajout de 2 % de dolomite dans le lisier

** : prévision pour du lisier de porc

n.d. : Données non disponibles lors de la rédaction du rapport de l'étude.

2.3. Les méthodes de testage et de calcul d'efficacité

Les méthodes de testage et d'analyse des données utilisées par les différents chercheurs varient beaucoup, sans mentionner la différence dans le lisier utilisé. Selon Pelletier (2000), le développement et l'imposition d'une méthode standard d'évaluation des séparateurs mécaniques seraient requis puisque l'efficacité de séparation des différentes composantes dépend en grande partie de la méthode d'expérimentation utilisée. De plus, selon le même auteur, une uniformisation de la présentation et de l'analyse des résultats serait souhaitable.

La méthode d'expérimentation retenue pour l'analyse des performances d'un séparateur dépend des objectifs de départ. D'une application à l'autre, les paramètres à évaluer peuvent varier. Pour comparer les séparateurs entre eux, sur une base commune, il est de façon générale admis que les méthodes d'expérimentation et d'analyse du lisier devraient inclure les paramètres suivant :

- la matière sèche présente dans toutes les phases (lisier brut, solide et liquide);
- les éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium);
- la matière organique (MO);
- la demande biologique en oxygène (DBO₅);
- la demande chimique en oxygène (DCO);
- le rapport C/N;
- l'âge du lisier;
- le débit.

Dans l'analyse de ces paramètres, il est important de prélever un nombre suffisant d'échantillons pour diminuer les risques d'erreurs expérimentales. Le nombre d'échantillons nécessaires dépend de la fiabilité de la méthode d'évaluation. La méthode d'expérimentation devrait favoriser la caractérisation des différents paramètres sur une base massique. Par la suite, il est possible de valider les résultats d'une analyse en réalisant des bilans de masse dans les trois phases (brut, liquide, solide).

Pour une analyse complète de l'efficacité de séparation, la matière sèche, la matière organique et les éléments fertilisants doivent être connus dans toutes les phases (brut, solide et liquide). Ensuite, à l'aide des bilans massiques, il devient plus facile d'évaluer l'efficacité de séparation. Svarovsky (1985) propose l'équation :

$$\text{Efficacité de séparation (\%)} = (U \times Mc) / (Q \times Sc) \quad [2.1]$$

Où U est la masse de la fraction solide (kg), Mc est la concentration des composants (g/kg) dans la fraction solide, Q est le masse de lisier traité (kg) et Sc est la concentration (g/kg) des composants dans le lisier brut.

Pelletier (2000) propose une équation équivalente et s'exprime de la façon suivante :

$$\text{Efficacité de séparation (\%)} = \left(\frac{m_{LB} - m_L}{m_{LB}} \right) \times 100 = \left(\frac{m_S}{m_{LB}} \right) \times 100 \quad [2.2]$$

où :

- m_{LB} = masse d'un constituant dans le lisier brut
- m_L = masse du constituant dans la partie liquide
- m_S = masse du constituant dans la partie solide

Cependant, certaines contraintes d'expérimentation compliquent parfois l'opération. Les mesures des masses ne sont pas toujours possibles et plusieurs auteurs utilisent une approche volumique. Cependant, il faut être prudent si une telle approche est utilisée puisque les densités des liquides et des solides varient fortement et ainsi introduisent des erreurs importantes au calcul si ces différences ne sont pas prises en compte. Pour leur part, Martin et al. (2001) ont utilisé lors d'essais l'équation suivante impliquant la connaissance de la masse volumique et le débit de chaque phase :

$$\text{Eff (\%)} = \frac{\rho_{\text{Solide}} \times \% \text{Mat. Sec}_{\text{Solide}} \times Q_{\text{Solide}} \times C_{\text{Solide}}}{\rho_{\text{Lisier}} \times \% \text{Mat. Sec}_{\text{Lisier}} \times Q_{\text{Lisier}} \times C_{\text{Lisier}}} \times 100 \quad [2.3]$$

où :

- Eff : Efficacité de séparation (%)
- C: Concentration de l'élément analysé (ex.: N, P, K, ...) (mg/kg)
- ρ : Masse volumique des différentes phases (kg/m³)
- Q : Débit des différentes phases (m³/heure)

2.4. L'efficacité des séparateurs

Théoriquement, l'efficacité de séparation maximum de la matière sèche est de l'ordre de 48 à 70 % pour du lisier de porc en utilisant un traitement de séparation physique (mécanique). L'efficacité de séparation peut atteindre 85 % et plus si les solides dissous peuvent être enlevés par un traitement chimique (Zhang et Westerman, 1997).

Burton (1997) propose d'agiter continuellement le lisier pour en favoriser la séparation. La sédimentation provoquée lors de l'entreposage du lisier brut réduit l'efficacité de séparation. Généralement, l'efficacité de séparation augmente avec la quantité de matière sèche présente dans le lisier brut.

Suite à la révision des résultats de quelques recherches sur la séparation mécanique, Zhang et Westerman (1997) concluent que les particules fines se décomposent plus rapidement que les particules grossières. La plupart des composés de carbone, de protéines et d'éléments nutritifs se retrouvent dans les particules fines. Puisque ces particules sont responsables de la production d'odeur, du transport de l'azote et du phosphore organique, ils recommandent que le procédé de séparation solide-liquide soit capable d'enlever les

particules grossières et les particules fines, plus petites que 0,25 mm, dans le but de réduire significativement la production d'odeurs et le contenu en élément nutritif.

De façon générale, après la séparation mécanique, l'azote organique se retrouve dans la phase solide alors que l'azote ammoniacale se retrouve surtout dans la phase liquide. Les équipements qui augmentent la quantité de matière sèche présente dans la phase solide augmentent la quantité d'azote dans le solide. Le potassium se retrouve en solution dans la phase liquide alors qu'une fraction importante du phosphore se retrouve dans la phase solide (Burton, 1997; Hatfield et Stewart, 1998).

Il y a eu plusieurs études réalisées. Le tableau 2.3 donne un aperçu des différents résultats obtenus par différents chercheurs.

Les fabricants donnent également des valeurs d'efficacité. Pour les modèles disponibles au Québec, le tableau 2.4 regroupe les valeurs d'efficacité.

Tableau 2.3 Caractéristiques de différents séparateurs retrouvés dans la littérature

Type de séparateur	Quantité de matière sèche			Efficacité de séparation						Ouverture du tamis mm	Capacité m ³ /h	Référence
	Lisier	Solide	Liquide	M.S.	MO	DCO	Ntot	P	K			
	%	%	%	%	%	%	%	%	%			
Tamis stationnaire courbe	3,6	13,9	1,8	58,4	69,8		17,4	25,9	15,2	1,0		11
Tamis stationnaire	0,2 - 0,7	6		9		24				1,5	14,1	1
	0,2 - 0,7	9		35		69				1,0	7,4	1
	1,0 - 4,5	5		6 - 31	5 - 38	0 - 32	3 - 6	2 - 12		1,0		2
Tamis vibrant	3,6	9 - 17		21 - 52	25 - 55	17 - 49	5 - 32	17 - 34		0,516	2,3 - 9,0	4
	0,2 - 0,7	16		22	28	16				0,39	4,0	1
	1 - 4,5	13		15 - 25	18 - 38	13 - 26	2 - 5	1 - 15		0,44		2
	3,6	2 - 8		50 - 67	54 - 70	48 - 59	33 - 51	34 - 59		0,104	2,3 - 9,0	4
	1,55	16,9	1,51	3		6				1,7	2,2 - 6,2	3
	1,52	18,4	1,36	10		1				0,841	2,2 - 6,5	3
	1,83	20,9	1,34	27		24				0,516	2,2 - 3,4	3
Tamis rotatif	2,88	20,9	2,75	5		4				1,7	3,2 - 7,6	3
	2,86	19,3	2,56	10		14				0,841	0,9 - 2,1	3
	1 - 4,5	12		5 - 24	9 - 31	2 - 19	5 - 11	3 - 9		0,8		2
Tamis rotatif	2,54	15,6	2,43	4		9				0,75	6,6 - 18,4	3
	4,12	16,6	3,79	8		16				0,75	4,8 - 14,3	3
	3 - 8	14 - 18		47 - 59		39 - 40	32 - 35	18 - 21		0,1		5
Tamis-courroie	6,3	20,0	5,4								13,7	9
	4,7	18,9	4,5								12,7	9
	4,1	17,0	3,8								10,4	9
	4,9	16,3	3,9								10,8	9
Presse à rouleau et courroie				56			32	29	27		3,3	7
Vis sans fin à pression				20 - 65			5 - 28	7 - 33	5 - 18		4 - 18	7
	3,5	33,5	0,8	77,7	85,9		14,9	22	5,5	0,75	3 - 7,5	11
	4,5	24		41,4			11,1	21,7		0,5	2,35	6
	4,5	20,5		64,9			17,9	45,3		0,75	8,9	6
	6,4	28,2		20,1			5	6,8		1,0	12,6	6
Tamis centrifuge	5	27,5		16	21		12,5	16		0,5		10
	1 - 7,5	16 - 27		15 - 61	18 - 65	7,8 - 44	3,4 - 32	58 - 68				2
	2,48	3,45	1,47	41							>10	8
	3,09	6,47	2,56	17								8
	3,59	18,7	3,8	32							9	8
	6,28	16,7	3,97	37								8
	7,7	14,5	4,7	39								8
12,0	19,4	5,4	55							9	8	
Décanteur-centrifuge				13 - 52			6 - 30	6 - 24	6 - 36		1,9 - 5,5	7
	1,92	17,9	1,43	25							1,1	8
	6,8	28,5	2,40	70,7	70,8		34,0	79,6	18,3		9,5	11
	7,58	37,4	2,61	66							0,6	8
				54 - 68			20 - 40	52 - 78	5 - 20		5 - 15	7
Filtre rotatif sous vide	7	20 - 30		54 - 60			20 - 30	70 - 78			1,2 - 2,7	6
	7,54	21,5	3,68	51							0,25	8

Références : 1) Shutt et al., 1975; 2) Picinini et Cortellini, 1987; 3) Hegg et al., 1981; 4) Holmberg et al., 1983; 5) Fernandes et al., 1988; 6) Hahne et al., 1995; 7) Burton, 1997; 8) Glerum et al., 1971; 9) Pos et al., 1984; 10) Chastain et al., 1998; 11) Reimann et Schön, 1991.

Source : Pelletier et al. (2000)

Tableau 2.4 Efficacités des séparateurs mécaniques disponibles au Québec (adapté de Pelletier, 2000)

Séparateur	Type	Efficacité de séparation			
		M.S.	Azote	Phosphore	Potassium
		%	%	%	%
Séparateur Maximizer	Tamis	50 - 60	50 azote totale	30 phosphore total	30
FiltroPresse	Tamis-presse à vis	30 - 45	nd	20 – 35	
Séparateur FAN	Vis sans fin à pression (1)	36,4	12,4	19,8 P ₂ O ₅	n.d.
Séparateur KP-10	Vis sans fin à pression (1)	15 – 20**	n.d.	15 – 20**	n.d.
Séparateur SLS Technologies*	Centrifuge	59 – 63	29 – 43 azote ammoniacale	84 – 90	n.d.
Décanteur-centrifuge Alfa-Laval	Décanteur-centrifuge	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Décanteur-centrifuge Perialisi	Décanteur-centrifuge	40 – 50**	n.d.	n.d.	n.d.
Décanteur-centrifuge Westfalia-Surge	Décanteur-centrifuge	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

Note : la plupart des données de ce tableau sont issues d'évaluation et sont approximatives

(1) Ou compacteur à vis

* : ajout de 2 % de dolomite dans le lisier

** : prévision pour du lisier de porc

n.d. : Données non disponibles lors de la rédaction du rapport de l'étude.

3.0 Méthodologie

3.1. Séparateurs utilisés lors du projet

3.1.1. Choix des séparateurs

La sélection des séparateurs utilisés pour le projet est une étape importante. Dans un premier temps, l'équipe de projet a établi des critères de base :

- prix inférieur à 200 000 \$;
- disponible au Québec (distributeur, fabricant,...);
- de technologies différentes (vois tableau 2.1);
- fonctionnement sans additif;
- relativement facile à déplacer (contrainte de projet).

Dans un premier temps, il avait été mentionné que deux séparateurs différents allaient être testés en plus du séparateur FAN en pré-test. Cependant, après analyse de la situation, il fut convenu de tester trois séparateurs lors des essais et le séparateur FAN en pré-test. Ce dernier, avait déjà fait l'objet de suivi par le groupe Fertior dans le cadre d'un projet financé par le CDAQ.

Ainsi, les séparateurs suivants ont été retenus :

- 1^{er} Décanteur-centrifuge Alfa-Laval
- 2^e Séparateur à tamis « Maximizer »
- 3^e Séparateur compacteur à vis FAN
- 4^e Tamis centrifuge SLS

3.1.2. Description des séparateurs testés

3.1.2.1. Le décanteur-centrifuge

Le décanteur-centrifuge, de marque Alfa-Laval, modèle P660 (Figures 3.1a et 3.1b), est un modèle de petites dimensions ayant une capacité de traitement de seulement 0,4 à 0,8 m³/h, ayant les mêmes caractéristiques de fonctionnement que les modèles de capacité plus grande. Son fonctionnement requiert une source électrique de 600 volts. Le principe de séparation consiste à utiliser la force centrifuge, soit 30 000 Newtons développés par le P660, pour séparer les particules solides et liquides du produit traité en fonction de leur densité respective.

Le séparateur utilisé est composé d'une pompe d'alimentation branchée à un boyau de 13 mm de diamètre, d'un moteur de 7,5 kW entraînant l'unité de séparation et de deux boîtes de contrôle électrique pour le démarrage de l'appareil et pour l'ajustement de la vitesse différentielle.



Figure 3.1a. Panneau de contrôle

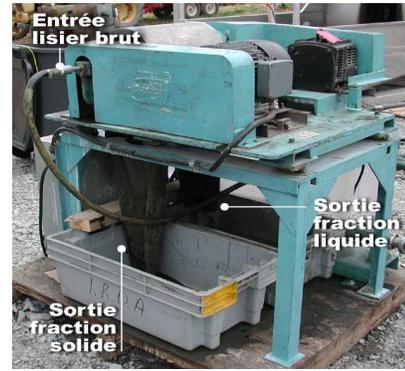


Figure 3.1b. Sortie des fractions solide et liquide

Figure 3.1 Séparateur décanteur-centrifuge de Alfa-Laval P660

L'unité de séparation est constituée d'une zone cylindrique de séparation de 152 mm de diamètre sur une longueur de 248 mm et d'une zone conique de déshydratation de 105 mm de long avec une pente de 10. Elle comprend un convoyeur à vis encerclé d'un tambour, appelé le bol, qui tournent dans le même sens mais à des vitesses de rotation différentes créant ainsi un différentiel de vitesse.

Le lisier brut pompé en continu et acheminé au centre de l'extrémité conique est déversé par un arbre rotatif à la jonction des zones de séparation et de déshydratation (Figure 3.2). Sous la force centrifuge, les particules solides sont projetées sur la paroi du bol qui tourne à une vitesse constante de 6 000 tours par minute. Elles sont transportées par le convoyeur à vis au travers de la plage de déshydratation sous l'effet de la vitesse différentielle où elles sont expulsées par des orifices sous l'effet de la force centrifuge. Le liquide clarifié s'écoule vers l'autre extrémité du cylindre et s'écoule par dessus les déversoirs ajustables.

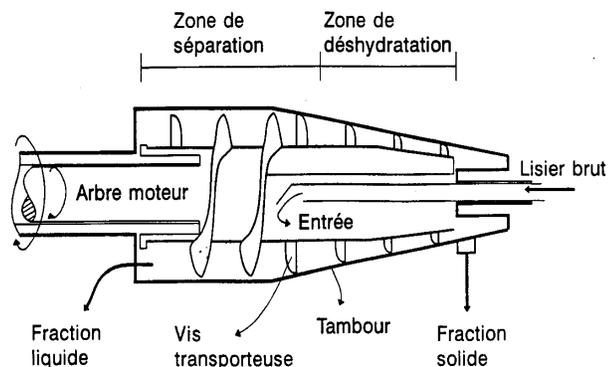


Figure 3.2 Coupe typique d'un décanteur-centrifuge

La qualité de la séparation varie selon les caractéristiques du produit à traiter et selon le design et les ajustements du décanteur. L'augmentation de la grosseur des particules du produit brut améliore l'efficacité de la séparation alors que la variation du taux de viscosité du liquide et du débit d'alimentation de l'appareil produit un effet inverse sur la quantité de la fraction solide séparée. La longueur et l'angle du cône de la zone de déshydratation influencent aussi la siccité de la fraction solide. Le niveau du liquide dans la zone de séparation est déterminé par la hauteur des déversoirs. Le niveau contribue au degré de clarification de la fraction liquide et du taux d'humidité de la fraction solide. L'ajustement de la vitesse différentielle est effectué par le tableau de contrôle. Une faible vitesse différentielle permet d'augmenter la siccité de la fraction solide mais diminue la clarification de la fraction liquide. Ces ajustements ont été faits par les conseillers techniques du fabricant. Lors de la livraison, des essais ont permis d'établir une charte. Ces différentes consignes ont été suivies durant les expérimentations et variaient en fonction de la teneur en matière sèche.

3.1.2.2. Le séparateur à tamis

Le séparateur Maximizer (Figure 3.3), fabriqué et distribué par Agri-ventes Brome ltée, comprend un convoyeur de 8 m (24 pi) de long, incliné à 45°, dont le fond est un tamis interchangeable sur lequel circule une chaîne à palettes se déplaçant à environ 10 m/min. Le tamis utilisé pour les essais est composé de trous de 0,89 mm (0,035 pouces) de diamètre recouvrant 19,6 % des 3,71 m² (40 pieds²) de surface totale de tamisage. Un autre tamis avec des trous de 1,5 mm est aussi disponible. L'extrémité inférieure du convoyeur est déposée au fond d'un réservoir de réception d'une capacité d'environ 2 m³ afin d'être submergé dans le lisier à traiter. L'extrémité supérieure alimente un petit compacteur à vis. L'appareil possède un panneau électrique de démarrage et requiert une source de 240 volts.

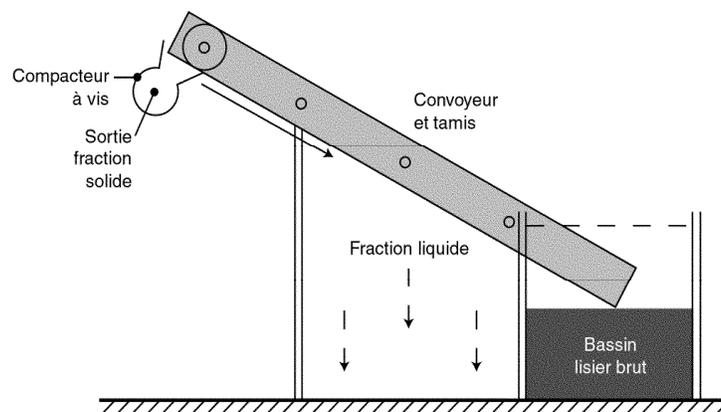


Figure 3.3 Séparateur à tamis incliné « Maximizer »

Le Maximizer fonctionne en lot séquentiel de 1,5 m³ à 2,0 m³ de lisier brut versé ou pompé dans le réservoir de réception. Une courte période de repos permet d'initier la sédimentation des plus grosses particules. Le matériel est transporté par la chaîne à palettes sur le convoyeur. La séparation de la fraction liquide s'effectue par gravité sur toute la longueur du convoyeur. La fraction liquide, chargée des particules les plus fines, passe au travers du tamis et est collectée dans un second réservoir sous le convoyeur. La fraction solide est acheminée jusqu'au haut du convoyeur où une fraction supplémentaire de liquide est retirée par le compacteur à vis. Une fois le séparateur démarré, aucune mise au point n'est possible.

3.1.2.3. Le compacteur à vis

Le séparateur de type compacteur à vis (Figure 3.4) fonctionne autour d'un axe horizontal et consiste principalement en une vis d'Archimède qui transporte le lisier brut le long d'un tamis cylindrique où les fractions liquide et solide sont séparées l'une de l'autre sous l'effet de la pression interne. La fraction liquide est forcée au travers du tamis (0,5 mm) et les particules solides sont acheminées au bout du tamis dans une zone de compaction créée par des plaques de restriction. Ces plaques sont actionnées par un contrepois réglable, ce qui permet de régler la pression interne et de régulariser la teneur en matière sèche (M.S.) de la fraction solide. La quantité de solide extraite par le compacteur à vis varie selon la distribution de la grosseur des particules du lisier brut, la grosseur des ouvertures du tamis, la longueur du tamis et la teneur de la matière solide du lisier à traiter.

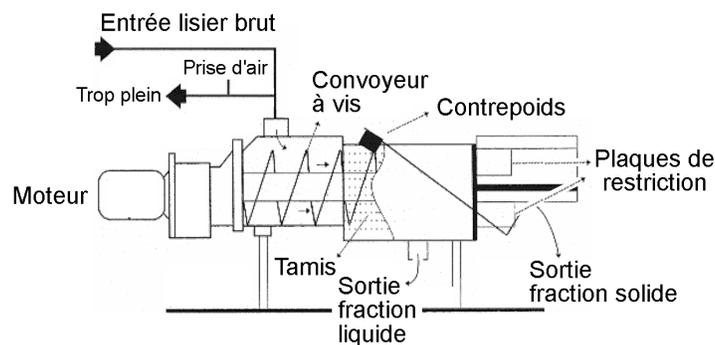


Figure 3.4 Coupe d'un compacteur à vis

Le séparateur de marque FAN Separator inc., utilisé lors de l'essai préliminaire, fonctionne en continu. Le lisier brut est pompé à l'entrée du tamis cylindrique. Le plein rendement de l'appareil est assuré par une alimentation en lisier brut à un taux supérieur à celui de la capacité à traiter du tamis. Le surplus de lisier brut est évacué à l'admission par le trop-plein situé sur la conduite d'alimentation et retourné au réservoir d'approvisionnement. Un tube de ventilation est installé afin de permettre un écoulement par gravité du lisier vers le réservoir de réception et de minimiser la

pression à l'entrée de la vis. Deux tamis sont disponibles : orifices de 0,25 ou de 0,5 mm. Le premier restreint un peu le débit, avec le second, en fonction de la matière sèche présente dans le lisier, le débit peut dépasser les 20 m³/h.

3.1.2.4. Le tamis centrifuge

Le séparateur SLS (Figure 3.5) utilise la force centrifuge produite par la vitesse de rotation d'une surface conique filtrante autour d'un axe vertical. Son efficacité est fonction de la vitesse de rotation, du type de la membrane filtrante et du matériel à traiter. L'appareil est conçu pour fonctionner en continu.

Le liquide à traiter est pompé au centre du séparateur par la partie supérieure du cône. Le procédé de séparation est amorcé lorsque le matériel atteint le fond du cône et qu'il remonte le long de sa paroi interne, entraîné par la vitesse de rotation du cône pour atteindre la section filtrante. La fraction liquide traverse la membrane filtrante et est évacuée par gravité à l'extérieur du séparateur. La fraction solide poursuit sa montée pour atteindre la chambre de séchage. Un procédé mécanique amasse les particules solides de la chambre et une vis d'Archimède les évacue hors du séparateur. La capacité de traitement du séparateur se situe entre 3,8 m³/h et 22,7 m³/h selon le type de produit traité et la finesse des tamis utilisés.

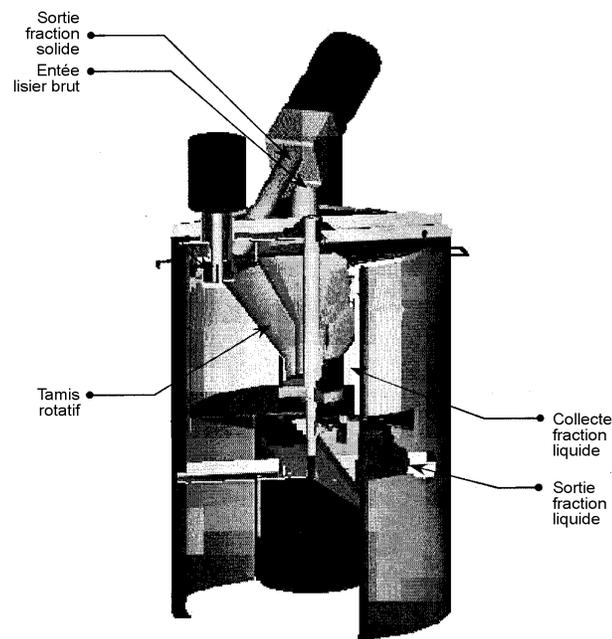


Figure 3.5 Coupe du séparateur SLS

3.2. Description des sites expérimentaux

3.2.1. Le site du pré-test

Le pré-test a été réalisé à la Ferme Aldo, entreprise porcine naisseur-finiisseur, située à Saint-Lambert-de-Lauzon (Figure 3.6). La proximité de cette ferme à la ferme de l'IRDA faisait en sorte que les ressources humaines (ouvriers) et physiques (tracteurs, remorques, etc.) pouvaient être utilisées. Également, ce site disposait de pré-fosses de capacité adéquate pour le volume exigé par les essais. De plus, les installations électriques permettaient un branchement facile du séparateur.



Figure 3.6 Site pour le pré-test

3.2.2. Le site des essais

Les essais ont été effectués en Montérégie sur le site d'une ancienne entreprise porcine dont la porcherie a été détruite par un incendie. Ce site offrait l'avantage de simplifier la procédure biosanitaire et ainsi prévenir toute contamination entre les entreprises porcines participantes et le site expérimental. L'emplacement présente une superficie disponible de plus de 60 m par 50 m sur laquelle est localisée une fosse d'entreposage à lisier de 27 m de diamètre et de 3,6 m de profondeur. Également disponibles sur le site, une installation électrique d'une puissance de 24 kW et d'une tension de 240 volts, une installation d'approvisionnement en eau et un bâtiment utilitaire.

Le terrain a nécessité l'implantation d'un accès gravelé et la construction d'un réservoir temporaire. Ce réservoir a été assemblé avec des feuilles de silo à céréales dont l'intérieur a été recouvert d'une toile imperméable. La toile reposait sur un géotextile au fond et les boulons de la structure étaient couverts d'une fibre mousse afin d'éviter des déchirures et de maximiser l'étanchéité du réservoir.

Complété, le site expérimental (Figure 3.7) comprenait : un accès en gravier implanté entre le chemin de ferme, le bâtiment utilitaire et l'emplacement des réservoirs et des séparateurs, un réservoir d'une capacité effective de 77 m³ érigé près de la fosse existante pour recevoir le lisier brut, la fosse existante pour la vidange des réservoirs, un groupe électrogène amené sur place afin de fournir l'énergie nécessaire au fonctionnement des séparateurs dont la demande varie entre 240 et 600 volts, le décanteur-centrifuge et ses accessoires, le séparateur Maximizer et le séparateur

à tamis centrifuge. Un système de tuyauterie raccordait les réservoirs et les séparateurs pour leur approvisionnement ou leur vidange. Une conduite a aussi été installée vers la grande fosse de vidange afin de vider le réservoir de réception après chaque série d'essais.

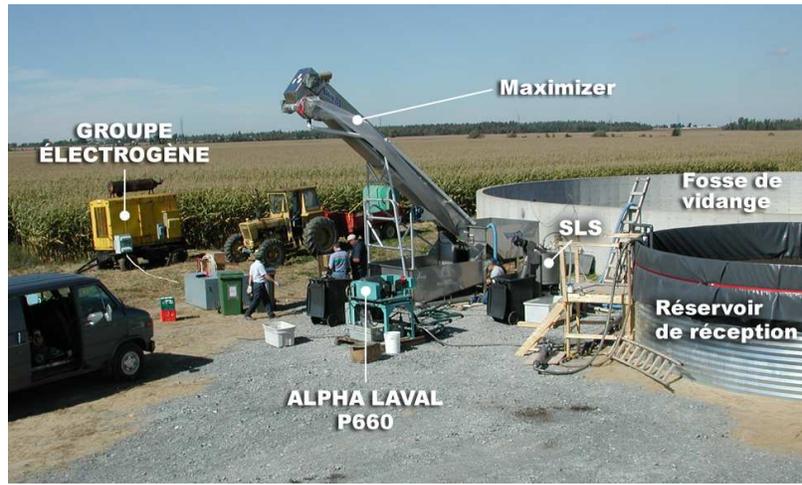


Figure 3.7 Site expérimental

L'installation électrique de la ferme a fourni l'électricité aux pompes et autres accessoires sur le site et aux équipements du laboratoire provisoire aménagé dans le bâtiment utilitaire. Les conduites d'alimentation en lisier (76 mm) des séparateurs et la conduite de retour du réservoir de la fraction liquide du Maximizer vers la grande fosse étaient munies de débitmètres hydrauliques à hélices du type compteur d'eau 50 mm. Les conduites d'approvisionnement étaient branchées chacune à une pompe de pré-fosse submersible placée au fond du réservoir de réception. Par un système de valves, les mêmes pompes ont servi pour vidanger le réservoir de réception dans la grande fosse d'entreposage.

Le laboratoire, équipé d'un four à micro-ondes, d'une balance de précision et d'un ordinateur, a été aménagé sur place (Figure 3.8).

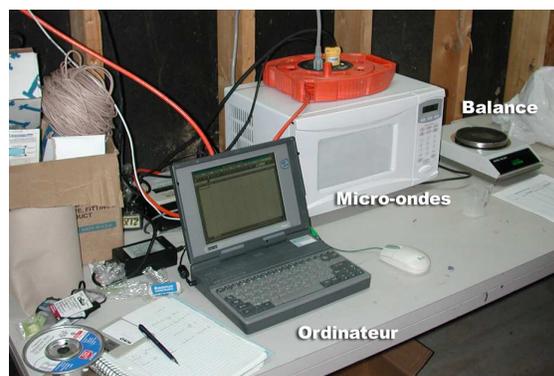


Figure 3.8 Laboratoire du site expérimental

3.3. Déroulement des essais

3.3.1. Le pré-test

Ce test avait pour but de valider les différentes méthodes d'analyses, d'échantillonnage et de calcul de l'efficacité. De plus, les différents résultats devaient permettre de mettre au point la méthode simplifiée de mesure de la teneur en matière sèche à l'aide d'un four à micro-ondes.

L'opération de séparation a été faite dans la pré-fosse d'une maternité de la Ferme Aldo de Saint-Lambert-de-Lauzon les 26 et 27 juin 2001. Trois types de lisier ont été traités avec le séparateur FAN ayant un tamis de 0,5 mm. Un dernier essai fut réalisé avec un tamis de 0,25 mm.

Tous les lisiers utilisés provenaient de la maternité. Cependant, afin de connaître l'ordre de grandeur de l'influence de la teneur en matière sèche et de l'âge du lisier sur l'efficacité du séparateur, trois lisiers furent utilisés soit :

- lisier de fond de pré-fosse;
- lisier provenant directement du bâtiment (une semaine d'âge);
- lisier provenant de la fosse d'entreposage.

La veille des essais, le lisier de la pré-fosse a été brassé quelques heures et le matin même pendant deux heures avant le démarrage des essais. Entre certains essais, il y a eu une interruption du brassage d'environ une heure. Dans l'ensemble, les essais ont duré entre 20 à 30 minutes.

L'échantillonnage a été fait au moins trois fois pendant la durée de la séparation en trois points différents :

- lisier brut : au tuyau de trop plein du séparateur;
- fraction liquide : directement à la sortie du séparateur;
- fraction solide : directement à la sortie du séparateur.

La quantité du matériel (lisier brut, fractions solide et liquide) prélevée était d'environ 500 ml. Toute la fraction solide du lisier a été pesée à chaque essai alors que la fraction liquide était retournée dans la fosse.

La teneur en matière sèche du lisier brut et des deux fractions a été mesurée pendant toute la durée de l'expérience en utilisant un four à micro-ondes. Cela a permis de suivre l'évolution du matériel via ses caractéristiques.

La densité a été mesurée sur les échantillons de brut et de la fraction liquide avec un densimètre. Cependant, des essais supplémentaires ont été faits pour déterminer la validité de cette prise d'information.

Un des sous-objectifs de l'essai préliminaire était d'évaluer le moment le plus propice à la prise d'échantillon. Il s'avère que 30 minutes de fonctionnement d'un séparateur avec une prise d'échantillons à la 9^e, 18^e et 27^e minute est représentatif du traitement.

3.3.2. Les tests

Les essais ont été effectués les 18, 19 et 21 septembre 2001. Initialement, le projet consistait à opérer simultanément le tamis centrifuge SLS, le décanteur-centrifuge Alfa-Laval P660 et le séparateur à tamis en plan incliné Maximizer avec trois types de lisier. Cependant, un problème mécanique n'a pas permis de tester le SLS.

Les trois types de lisier devaient être représentatifs des entreprises porcines de maternité, de pouponnière et d'engraissement du Québec. Pour chaque type de lisier, trois répétitions ont été effectuées consécutivement dans la même journée.

Le lisier brut a été collecté dans les entreprises choisies et livré au site expérimental par une entreprise spécialisée. Entre chaque entreprise visitée, le camion citerne a été lavé selon les normes bio-sanitaires établies et pratiquées dans le secteur porcin.

À l'arrivée du transporteur, le lisier était pompé dans le réservoir de réception et suffisamment agité pour minimiser le phénomène de décantation à proximité des pompes d'approvisionnement et assurer l'homogénéité du lisier.

Le volume du lisier brut a été mesuré soit par un débitmètre ou par la prise du niveau du lisier dans le bassin. Puis, les séparateurs étaient mis en fonction. De façon générale, les deux séparateurs ont fonctionnés par séquence de 17 à 20 minutes avec les trois types de lisier.

Pour mesurer les différents débits volumiques, nécessaires pour le calcul du débit massique, l'équipe avait prévu l'utilisation de débitmètres à hélices de type compteur d'eau. Ces derniers se sont avérés peu fiables, particulièrement lors de la circulation de lisier dont la teneur en matière sèche était élevée.

Afin de palier à cette difficulté pour le lisier brut, les dimensions du réservoir de réception du lisier utilisé avec le Maximizer furent utilisées pour le calcul du volume. Ce réservoir était donc rempli à une hauteur prédéterminée correspondante à un volume mesuré. Pour fin de comparaison et de validation, la lecture du débitmètre était tout de même prise à chaque remplissage. La durée des répétitions était déterminée par le temps requis par le Maximizer pour traiter la totalité du lisier brut pompé.

Dans le cas du décanteur-centrifuge (Alfa-Laval), un petit bassin de réception du lisier brut fut installé et ses dimensions précises furent prises. Le volume était calculé à l'aide du niveau de départ et de fin de chaque essai ainsi que des dimensions du petit bassin de réception.

Le volume de la fraction liquide obtenue par le Maximizer a aussi été mesuré par la lecture d'un débitmètre placé sur la conduite de vidange vers la grande fosse. Ces valeurs de débits étaient corroborées par le volume calculé à l'aide des dimensions du bassin de réception de la fraction liquide. Cette fraction du décanteur-centrifuge était pesée à l'aide de la balance électronique.

Les fractions solides obtenues par les deux séparateurs étaient pesées pour chaque répétition (essai). Les différents tuyaux et orifices du décanteur-centrifuge ont été nettoyés après chaque répétition.

Lors des essais, la prise d'échantillon des influents et des affluents était synchronisée pour les deux appareils. Au début de chaque répétition et à intervalles réguliers de sept minutes, des échantillons de 500 ml de lisier brut et des fractions solide et liquide étaient pris simultanément à chaque séparateur. Les contenants, immédiatement fermés hermétiquement, étaient déposés dans une caisse isolée et refroidie (glassière) puis entreposés dans un réfrigérateur en attendant l'analyse de leur contenu au laboratoire de l'IRDA.

À l'aide d'échantillons de 100 ml pour la fraction solide et de 50 ml pour le brut et la fraction liquide, la teneur en matière sèche et la densité ont été déterminées au laboratoire sur le site expérimental à chaque essai.

3.4. Méthodes de calculs et analyses

3.4.1. Les analyses

Les échantillons, prélevés lors des essais, ont été analysés au laboratoire de l'IRDA du Complexe scientifique. Le laboratoire est certifié ISO 9002. Des analyses sur plusieurs éléments y ont été réalisées (Tableau 3.1). L'annexe I détaille les méthodes d'analyses chimiques employées pour la caractérisation des lisiers.

Tableau 3.1 Caractéristiques déterminées au laboratoire

Description	Abréviation
Masse volumique	ρ
Matière organique	M.O.
Matière sèche	M.S.
Azote totale	N _{totale}
Azote ammoniacale	N-NH ₄
Phosphore	P
Potassium	K
Cuivre	Cu
Zinc	Zn
Manganèse	Mn
Calcium	Ca
Magnésium	Mg
Demande biologique en O ₂	DBO ₅
Demande chimique en O ₂	DCO

3.4.2. Le calcul de l'efficacité

L'efficacité de séparation d'un constituant particulier est exprimée en terme de pourcentage de constituants enlevés dans le lisier brut. L'équation 3.1 permet de déterminer cette efficacité lorsque les concentrations du constituant analysé sont formulées en fonction de la matière sèche :

$$Eff(\%) = \frac{\rho_{Solide} \times MS_{Solide} \times Q_{Solide} \times C_{Solide}}{\rho_{Lisier} \times MS_{Lisier} \times Q_{Lisier} \times C_{Lisier}} \times 100 \quad [3.1]$$

où :

Eff :	Efficacité de séparation (%)
ρ_{Solide} :	Densité du solide séparé du lisier brut (kg/m ³)
$M.S.Solide$:	% de matière sèche du matériel solide
Q_{solide} :	Débit volumique du matériel solide (m ³ /h)
C_{solide} :	Concentration de l'élément analysé (ex.: N, P, K,...) dans le matériel solide (mg/kg)
ρ_{Lisier} :	Densité du lisier brut (kg/m ³)
$M.S.Lisier$:	% de matière sèche du lisier brut
Q_{Lisier} :	Débit volumique du lisier brut (m ³ /h)
C_{lisier} :	Concentration de l'élément analysé (ex.: N, P, K,...) dans le lisier brut (mg/kg)

En posant que C_{solide} et C_{lisier} sont égales à 1, l'équation 3.1 permet d'évaluer l'efficacité d'extraction de la matière sèche.

3.4.3. Le calcul de l'erreur expérimentale

En recherche, les erreurs de mesure sont inhérentes à la prise de données. La somme des erreurs en valeur absolue donne l'erreur maximale. Toutefois, selon Jordan et Sewell (1983), il est possible de déterminer une valeur plus réaliste de l'erreur. En fait, l'erreur reliée à l'expérimentation a souvent plus d'une composante. En considérant une fonction F ayant deux composantes, x et y par exemple, alors l'erreur probable de cette fonction ci-après appelée ΔF est calculée par l'équation suivante :

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad [3.2]$$

où :

Δx et Δy sont les erreurs reliées aux lectures de x et y.

Dans le présent cas, la fraction F est donnée par l'équation 3.1. Les différentes erreurs sont les erreurs reliées à chacune des analyses ou mesures. Le tableau 3.2 résume les différentes erreurs entrant dans le calcul.

Tableau 3.2 Erreur par caractéristique du lisier

Caractéristiques	Erreur
Densité	8 %
Matière sèche	5 %
Débit volumique du lisier brut	10 %
Débit volumique de la fraction solide	10 %
Concentration des éléments analysés	5 %

En tenant compte des valeurs du tableau 3.2, de l'équation 3.2 ainsi que des valeurs typiques de ce type de tests, l'erreur expérimentale moyenne probable reliée à l'efficacité d'extraction est de 10 %.

3.4.4. Méthode in-situ de caractérisation des différentes fractions contenues dans le lisier

Pour connaître la validité des différents essais, une méthode d'évaluation terrain a été développée dans le cadre de ce projet. Dans certains cas, cela pouvait faire reprendre une répétition. Cette méthode terrain a été testée pour estimer la teneur en matière sèche et la densité des substances brutes et séparées. Cette méthode, développée par les services de laboratoire de l'IRDA, mise sur l'emploi d'un four à micro-ondes pour sécher sur place des échantillons. Grâce à cette approche, les efficacités de séparation de la matière sèche sont rapidement déterminées et permettent d'assurer que les bilans de masse (pour les solides et les liquides) ferment avec précision au moment de l'expérimentation. L'annexe II fait la description de cette méthode d'évaluation.

Afin de déterminer la validité de la méthode, les valeurs mesurées sur le terrain et les valeurs déterminées par les techniques normalisées du laboratoire de l'IRDA ont été comparées. La figure 3.9 expose la relation obtenue entre les deux méthodes d'évaluation. De manière générale, les mesures terrains sous-estiment d'environ 17 % les valeurs obtenues au laboratoire. La mesure terrain implique donc l'emploi d'un facteur de correction de 1,17 pour faire converger les résultats vers ceux obtenus en laboratoire.

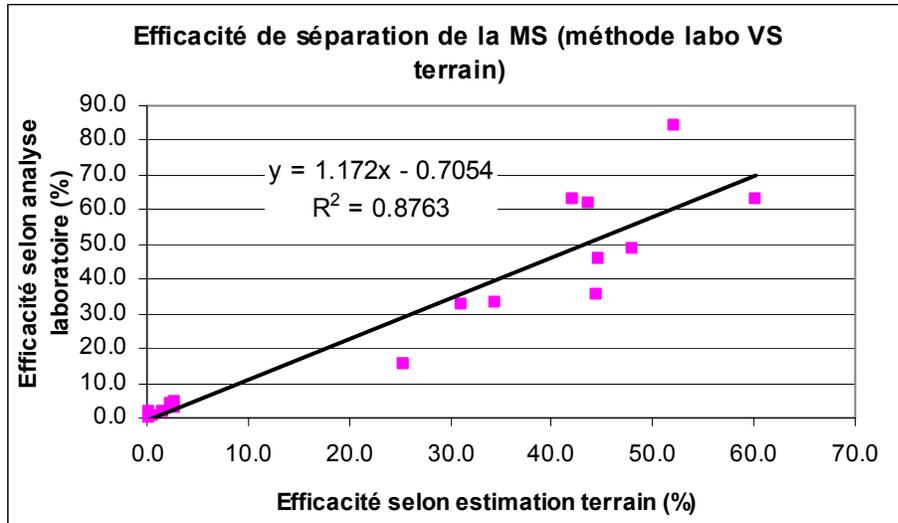


Figure 3.9 : Relation entre les méthodes d'évaluation terrain et laboratoire pour la détermination de l'efficacité de séparation

Les analyses déterminant la teneur en matière sèche et la densité tant du lisier brut que des fractions solides et liquides, requises pour valider chaque essai, ont été effectuées au laboratoire aménagé sur le site expérimental. Toutes les analyses physiques et chimiques, y compris pour les éléments déterminés sur le site expérimental, ont été effectuées au laboratoire de physique et chimie inorganique de l'IRDA (certifié ISO 9002).

4.0 Résultats des essais et discussions

4.1. Essais

4.1.1. Le pré-test

Les essais préliminaires effectués avec le séparateur FAN avaient pour but de valider la méthodologie d'évaluation. Cependant, les résultats globaux de ces essais préliminaires sont intéressants. En effet, ce type de séparateur peut atteindre une efficacité élevée avec du lisier frais de pré-fosse. Les résultats sont présentés au tableau 4.1.

À l'aide des valeurs du tableau 4.1 et de l'équation 3.1, les différentes efficacités ont été calculées. L'efficacité d'extraction du phosphore est de plus de 60 % pour un lisier ayant une teneur en matière sèche de 11 % et cette même efficacité est de 50 % pour du lisier d'une teneur en matière sèche de 4,6 % (Tableau 4.2). Ces valeurs d'efficacité sont représentatives considérant que l'erreur expérimentale est de 10 %.

Avec du lisier de fosse (lisier vieilli), ces performances chutent drastiquement. Cette chute est reliée à la faible teneur en matière sèche occasionnée par la digestion du lisier. Donc, dans ce contexte (lisier de fosse à 2 % de teneur en matière sèche), l'efficacité d'extraction du phosphore est de 4,5 % et celle de la matière sèche de 10 %. Cependant, considérant l'erreur expérimentale, l'efficacité d'extraction de 4,5 % du phosphore n'est pas significative.

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Fertior (2000) et Fertior (2001). En effet, ces derniers ont mesuré des performances d'extraction de 36 % du phosphore pour du lisier ayant une teneur en matière sèche moyenne de 8,1 % et une performance d'extraction de 22 % avec du lisier ayant une teneur en matière sèche de 8,8 %. Il faut cependant souligner que ces auteurs ont fait des essais en fosse avec le volume de la fraction inférieure (décanté) du réservoir (fond de fosse). Par conséquent, la comparaison est difficile à faire.

Tableau 4.1 Les différents teneurs des trois phases du lisier lors de la séparation avec la technologie de presse à vis (FAN)

Paramètres	Unité	Lisier de pré-fosse 1			Lisier de pré-fosse 2			Lisier de fosse		
		Brut	Solide	Liquide	Brut	Solide	Liquide	Brut	Solide	Liquide
Masse volumique	kg/m ³	1090,0	400,0	966,7	1039,0	323,5	1030,5	1033,8	276,3	1031,0
M.S.	%	11,2	24,7	5,8	4,6	32,2	3,1	2,0	30,6	2,3
N totale	% b.s.	4,8	2,4	8,7	8,0	6,5	11,4	13,4	1,9	12,8
N ammo.	mg/kg	15817,6	5625,1	31185,5	35981,4	30918,6	56151,0	68960,7	3075,4	70740,0
P	mg/kg	39093,3	40025,6	43061,6	38920,9	37582,8	39095,5	73394,3	29161,2	35301,5
K	mg/kg	10021,4	4873,8	19481,7	27115,8	22544,8	40018,2	88720,1	4271,8	52007,6
Cu	mg/kg	315,1	90,0	521,5	275,4	222,1	399,8	528,7	56,9	316,4
Zn	mg/kg	1905,3	861,1	4094,2	2434,3	1901,7	3670,5	5909,7	496,8	3413,7
Mn	mg/kg	626,3	598,9	768,8	642,1	625,7	703,9	1192,3	430,2	588,8
Ca	mg/kg	69658,7	86008,0	55967,0	60189,9	79086,4	53262,4	101751,1	68231,6	40307,1
Mg	mg/kg	8699,4	5010,5	15815,4	10710,3	8605,4	13606,0	21033,4	3116,2	11416,6
DCO	mg/l	63666,7			38833,3		40500,0	24166,7		24333,3
Débit	m ³ /h	15,420	12,010	12,360	30,110	7,260	15,205	31,120	0,980	27,468

Tableau 4.2 Efficacité de séparation du séparateur de type compacteur à vis (FAN) en fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut de fosse et de pré-fosse

Lisier brut	Efficacité de séparation en % (fraction solide/lisier brut)									
M.S.	M.S.	N tot. b.s.	N ammo.	P	K	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg
Lisier de pré-fosse										
11,16	63,21	32,10	22,48	64,72	30,74	18,06	28,57	60,45	78,05	36,41
4,61	52,33	43,83	44,46	50,52	43,35	43,17	41,60	51,00	68,58	42,32
Lisier de fosse										
2,06	10,16	1,35	0,48	4,47	0,72	1,23	1,13	4,00	8,48	1,73

Erreur expérimentale sur l'efficacité = 10 %

4.1.2. Les essais

Dû à des problèmes mécaniques, seulement deux séparateurs ont été testés soit le séparateur de type tamis plan incliné (Maximizer) et le décanteur-centrifuge (Alfa-Laval).

4.1.2.1. Séparateur à tamis plan incliné

Le tableau 4.3 illustre les éléments dans chaque phase du lisier lors des différents tests de séparation. Les lisiers utilisés avaient une teneur sèche variant de 1,9 à 4,6. Avec ce type de séparateur, les résultats commencent à être intéressants avec un lisier brut dont la teneur en matière sèche était de 4,6 %.

Pour le séparateur à tamis plan incliné, avec les résultats illustrés dans le tableau 4.3, il est possible de calculer les efficacités de séparation en insérant les différentes valeurs dans l'équation 3.1. Les calculs d'efficacité démontrent que pour des lisiers de 2 à 4 % de teneur en matière sèche, les efficacités d'extraction sont respectivement d'environ 2 % et de 0,3 % pour la matière sèche et le phosphore (Tableau 4.4). Ces valeurs ne sont pas représentatives puisqu'elles sont à l'intérieur de l'erreur expérimentale.

4.1.2.2. Séparateur décanteur-centrifuge

Comme mentionné dans la section 4, les différentes vitesses de rotation sont ajustables sur le décanteur-centrifuge. Le tableau 4.5 regroupe les différentes valeurs utilisées lors du test. Cet ajustement se faisait en fonction de la consistance de la phase solide.

Le tableau 4.6 illustre les éléments dans chaque phase du lisier lors des différents tests de séparation. Les lisiers utilisés avaient une teneur sèche variant de 1,7 à 4,7.

Dans le cas du séparateur décanteur-centrifuge, les essais ont démontré que l'efficacité d'extraction de la matière sèche pouvait atteindre 50 % lorsque la matière sèche du lisier brut était de 1,7 % (Tableau 4.7). L'efficacité d'extraction du phosphore peut atteindre, selon les essais, 74 % avec du lisier de 1,7 % de matière sèche. Cette efficacité chute avec l'augmentation de la teneur en matière sèche. Le colmatage des orifices serait à l'origine de la baisse d'efficacité. En effet, le colmatage se produit plus rapidement avec une plus grande teneur en matière sèche.

Tableau 4.3 Les différentes teneurs des trois phases du lisier lors de la séparation avec le tamis plan incliné Maximizer

Paramètres	Unité	Lisier d'engraissement			Lisier de maternité			Lisier de pouponnière		
		Brut	Solide	Liquide	Brut	Solide	Liquide	Brut	Solide	Liquide
Masse volumique	kg/m ³	1 049,7	445,4	1 015,3	1 022,0	497,0	1 001,7	1 019,3	444,2	1 018,5
M.S.	%	4,6	29,5	4,6	1,9	28,0	1,9	2,7	19,7	2,6
N totale	% b.h.	0,6	0,7	0,6	0,2	0,6	0,2	0,3	0,8	0,3
N ammo.	mg/kg	2 859,7	2 578,3	2 904,2	1 508,7	1 819,4	1 513,9	1 544,3	1 123,8	1 528,7
P	mg/kg	2 042,4	1 560,8	1 346,2	615,5	1 709,7	643,5	762,4	2 144,9	873,8
K	mg/kg	3 432,3	3 279,2	3 518,3	1 071,7	2 220,3	1 134,6	1 967,6	1 436,5	2 219,9
Cu	mg/kg	52,2	58,4	48,4	10,0	42,2	11,2	29,9	33,0	33,9
Zn	mg/kg	102,0	63,3	64,6	42,3	71,4	44,6	209,4	119,9	178,0
Mn	mg/kg	36,8	34,5	23,7	10,8	40,1	11,4	14,9	42,8	17,8
Ca	mg/kg	2 046,8	2 128,7	1 366,5	726,6	2 578,2	760,0	701,0	3 126,0	917,3
Mg	mg/kg	841,2	607,4	531,5	223,7	618,7	235,9	310,1	809,6	349,1
Volume	m ³	1,633	0,013	1,600	1,677	0,007	1,733	1,603	0,001	1,717

Tableau 4.4 Efficacité de séparation du tamis plan incliné (Maximizer) en fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut

Lisier brut	Efficacité de séparation en % (fraction solide / lisier brut)									
	M.S. (%)	N totale	N ammo.	P	K	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg
4,60	2,16	0,38	0,30	0,32	0,32	0,44	0,28	0,42	0,43	0,33
2,72	0,27	0,07	0,02	0,07	0,02	0,03	0,02	0,07	0,12	0,07
1,87	2,79	0,50	0,23	0,53	0,41	0,87	0,32	0,70	0,64	0,52

Erreur expérimentale sur l'efficacité = 10 %

Tableau 4.5 Ajustement du séparateur décanteur-centrifuge afin d'obtenir une consistance similaire d'un essai à l'autre.

	Engraisement	Maternité	Pouponnière
Réglage du gradateur	2,0	4,3	4,2
Vitesse lue (%)	22	50	50
Vitesse du pignon (vis) (rpm)	1963	4268	4268
Vitesse relative (rpm)	45	21	21
Voltage lu (volts)	30	10	12

Tableau 4.6 Les différentes teneurs des trois phases du lisier lors de la séparation avec la technologie décanteur-centrifuge d'Alfa-Laval pour trois types d'élevage

Paramètres	Unité	Lisier d'engraissement			Lisier de maternité			Lisier de pouponnière		
		Brut	Solide	Liquide	Brut	Solide	Liquide	Brut	Solide	Liquide
Masse volumique	kg/m ³	988,0	1055,8	1010,0	1015,7	989,0	999,9	994,5	1037,5	998,2
M.S.	%	4,7	15,7	4,2	1,7	19,6	1,2	2,7	15,5	1,8
N totale	% b.h.	0,6	1,0	0,5	0,2	0,9	0,2	0,3	1,0	0,3
N ammo.	mg/kg	2832,7	2895,1	2930,8	1466,3	1786,6	1401,7	1544,8	2448,0	1484,4
P	mg/kg	1337,1	7957,3	861,1	571,0	9645,8	322,0	762,2	4946,7	484,8
K	mg/kg	3378,0	3172,7	3514,6	1025,7	1266,1	1002,2	1960,9	1999,4	1961,5
Cu	mg/kg	47,6	95,3	44,2	7,8	59,0	6,4	29,2	173,36	18,9
Zn	mg/kg	63,8	381,2	55,8	39,7	970,5	26,1	207,9	1418,8	111,8
Mn	mg/kg	22,9	136,3	16,0	9,8	152,1	5,6	14,9	121,2	7,6
Ca	mg/kg	1352,8	6254,4	1081,8	668,0	8849,8	436,7	701,3	5198,5	385,8
Mg	mg/kg	506,5	4784,8	261,0	202,4	4196,2	71,4	310,9	2184,6	177,4
Volume	m ³	0,103	0,010	0,066	0,100	0,004	0,097	0,085	0,007	0,080

Tableau 4.7 Efficacité de séparation du décanteur-centrifuge (Alfa-Laval) en fonction de la teneur en matière sèche du lisier brut

Lisier brut	Efficacité de séparation en % (fraction solide / brut)									
	M.S. (%)	N totale	N ammo.	P	K	Cu	Zn	Mn	Ca	Mg
4,70	27,63	15,64	8,81	47,64	7,99	16,83	51,13	48,95	38,29	68,13
2,74	47,04	28,12	13,21	53,91	8,60	49,10	56,54	66,77	61,58	58,16
1,70	50,06	17,24	5,29	73,90	5,37	33,30	98,80	68,08	57,89	92,12

Erreur expérimentale sur l'efficacité = 10 %

4.1.3. Comparaison avec la littérature

Les différents résultats obtenus peuvent être comparés avec la littérature (Tableau 4.8). En fait, les résultats de la présente étude sont dans le même ordre de grandeur que ceux de la littérature.

Dans le cas du tamis à plan incliné, les valeurs peuvent être comparées à celles des tamis stationnaires, particulièrement à ceux de la référence 2 (Tableau 4.8). Pour des lisiers variant de 1 à 4,5 % de matière sèche, Picinini et Cortellini (1987) ont obtenu des efficacités de séparation de l'ordre de 6 % pour la matière sèche, de 3 % environ pour l'azote totale et le phosphore. Le Maximizer, pour des paramètres semblables, offre des efficacités de 1,7, 0,3 et 0,4 %.

Pour la technologie « décanteur-centrifuge », les valeurs d'efficacités calculées dans la présente étude sont dans l'ensemble supérieures à celle de la littérature. Ces écarts sont probablement liés à la fraîcheur du lisier puisque la plupart des tests de la littérature sont faits avec des lisiers vieilliss.

Finalement, les pré-tests avec le séparateur à vis à pression ont donné des efficacités d'extraction de matière sèche semblables à la littérature. Cependant, les efficacités d'extraction du phosphore, de l'azote et du potassium sont beaucoup plus élevées que celles présentées dans la littérature. Ces écarts sont difficiles à expliquer compte tenu que l'efficacité d'extraction de la matière sèche est similaire. Les différences sont probablement reliées à la méthode de calcul ou à l'âge du lisier. Dans le lisier jeune, le phosphore se retrouve en plus grosses particules, facilitant son extraction.

Tableau 4.8 Comparaison des efficacités des séparateurs traités dans la littérature avec les valeurs de la présente étude

Type de séparateur	Quantité de matière sèche (%)			Efficacité de séparation (%)						Ouverture du tamis (mm)	Capacité (m³/h)	Référence
	Lisier	Solide	Liquide	M.S.	MO	DCO	N totale	P	K			
Tamis stationnaire	0,2 - 0,7	6		9		24				1,5	14,1	1
	0,2 - 0,7	9		35		69				1,0	7,4	1
	1,7 - 4,7	5,7 - 29,5	1,8 - 4,6	1,7			0,3	0,4	0,4	0,89	6,0	*
	1,0 - 4,5	5		6 - 31	5 - 38	0 - 32	3 - 6	2 - 12		1,0		2
Tamis-courroie	3 - 8	14 - 18		47 - 59		39 - 40	32 - 35	18 - 21		0,1		5
Vis sans fin à pression	2,1	30,5	2,3	10			1,35	4,5	0,7	0,5	31	**
				20 - 65			5 - 28	7 - 33	5 - 18		4 - 18	7
	3,5	33,5	0,8	77,7	85,9		14,9	22	5,5	0,75	3 - 7,5	11
	4,6	32,2	3,1	52			43,8	50,5	43,4	0,5	30	*
	4,5	24		41,4			11,1	21,7		0,5	2,35	6
	4,5	20,5		64,9			17,9	45,3		0,75	8,9	6
	6,4	28,2		20,1			5	6,8		1,0	12,6	6
	5,0	27,5		16	21		12,5	16		0,5		10
	8,5			51			19	28		0,5	20	12
11,2	24,7	5,8	63			32,1	64,7	30,7		15	*	
Décanteur-centrifuge	1,92	17,9	1,43	25							1,1	8
	1,71	19,6	1,22	50			17	73,9	5,4		0,6	*
	2,74	15,5	1,82	47			28	53,9	8,6		0,8	*
	4,70	15,7	4,16	28			15,6	47,6	8,9		0,8	*
	6,80	28,5	2,40	70,7	70,8		34,0	79,6	18,3		9,5	11
	7,58	37,4	2,61	66							0,6	8
				54 - 68			20 - 40	52 - 78	5 - 20		5 - 15	7
	7,00	20 - 30		54 - 60			20 - 30	70 - 78			1,2 - 2,7	6

Références : 1- Shutt et al., 1975; 2- Picinini et Cortellini, 1987; 5- Fernandes et al., 1988; 6- Hahne et al., 1995; 7- Burton, 1997; 8- Glerum et al., 1971; 10- Chastain et al., 1998; 11 - Reimann et Schön, 1991; 12- Fertior; * - la présente étude (lisier de pré-fosse); ** - la présente étude (lisier de fosse)

4.2. Analyse des résultats de performance des différentes technologies de séparation

4.2.1. Matière sèche

Les figures 4.1 à 4.3 résument les performances des différentes technologies mises à l'essai relativement à la séparation de la matière sèche contenue dans le lisier brut, tout en illustrant le comportement des équipements durant les essais. Tous les essais ont été réalisés avec du lisier de pré-fosse à l'exception d'un essai avec le FAN où le lisier a été pompé d'une fosse. Chaque graphique présente l'efficacité de séparation de la matière sèche pour trois différents essais effectués avec le même lisier brut. Comme mentionné précédemment, ces trois essais ont fait l'objet de trois prélèvements d'échantillons (lisier brut, fractions solide et liquide) à intervalles réguliers permettant ainsi d'obtenir neuf résultats. Ces résultats, sous forme d'histogrammes, présentent l'efficacité de séparation selon l'axe des Y, les numéros d'essais dans l'axe des X et le temps de prélèvement des échantillons pour chaque essai dans l'axe des Z (normal au plan de la feuille).

Le premier constat pouvant être dégagé de l'analyse de ces figures porte sur la grande variabilité de performances des équipements en fonction de la matière sèche et du temps. En effet, la technologie basée sur la centrifugation, bien qu'ayant une efficacité de séparation élevée en début d'opération, démontre des signes de dégradation rapide dans le temps pour la séparation d'un lisier contenant un niveau de matière sèche supérieur à 3 % (Figure 4.1a). Par contre, pour des teneurs de matière sèche inférieures à 2 % (Figure 4.1b), le séparateur démontre une bonne capacité d'extraction de la matière sèche et une faible dégradation dans le temps. Cette dégradation est néanmoins présente et devrait être prise en considération dans la régie d'utilisation d'un appareil basé sur cette technologie. En s'appuyant sur ces observations, cette technologie pourrait être utilisée pour la séparation de lisiers de faible teneur en matière sèche.

Pour les technologies utilisant des tamis (Figures 4.2a, 4.2b, 4.3a et 4.3b), les résultats semblent démontrer que cette approche est mal adaptée aux lisiers ayant des teneurs en matière sèche inférieures à 4 %. Ces technologies, peu agressives, sont limitées par la granulométrie des particules solides du lisier, faisant en sorte que l'efficacité de séparation s'améliore au fur et à mesure que la concentration en matière sèche s'accroît. Contrairement à la centrifugation, ces appareils ne démontrent pas de dégradation de la performance de séparation dans le temps lors du traitement du lisier.

Étant donné la très grande influence du contenu en matière sèche sur les performances des séparateurs, il est important de les tester avec des lisiers bruts dont le contenu en matière sèche couvrira une plage allant de 2 à 7 %. Les essais doivent également s'effectuer sur une période suffisamment longue pour observer une dégradation potentielle des performances dans le temps.

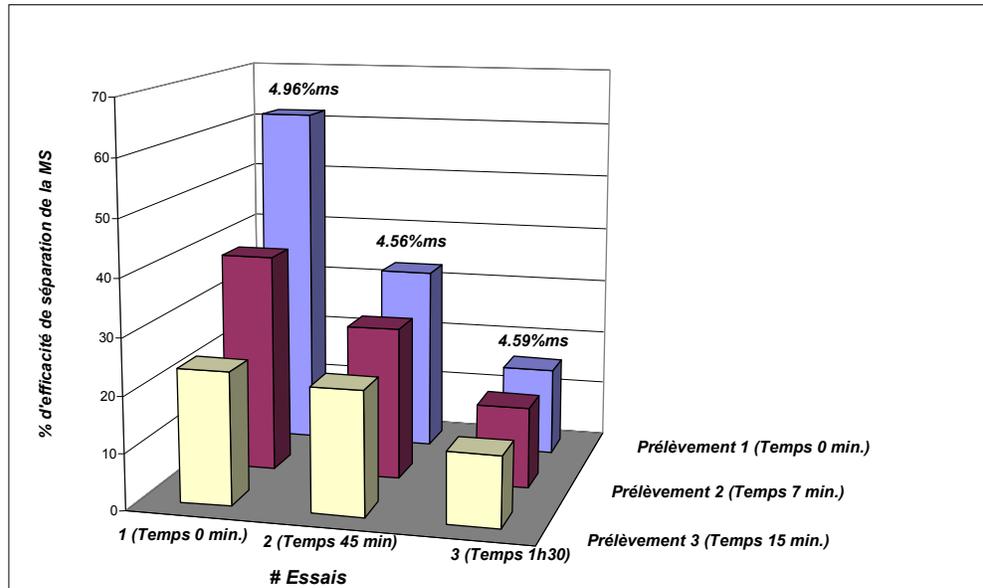


Figure 4.1a Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Alfa-Laval avec du lisier d'engraissement d'une teneur en matière sèche de 4,5 à 5 %

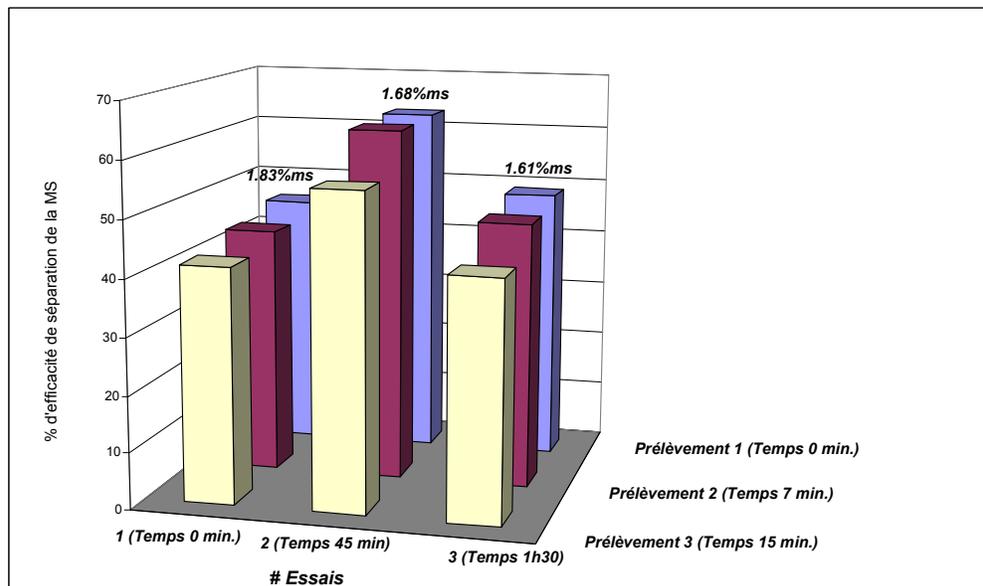


Figure 4.1b Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Alfa-Laval avec du lisier de maternité d'une teneur en matière sèche de 1,5 à 1,83 %

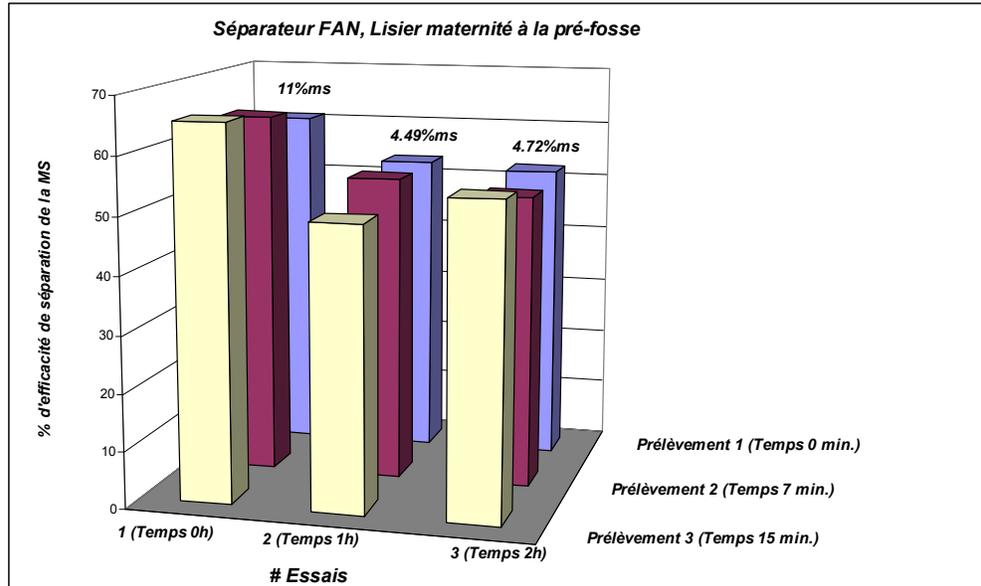


Figure 4.2a Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur FAN avec du lisier de pré-fosse d'une teneur en matière sèche de 4,5 à 11 %

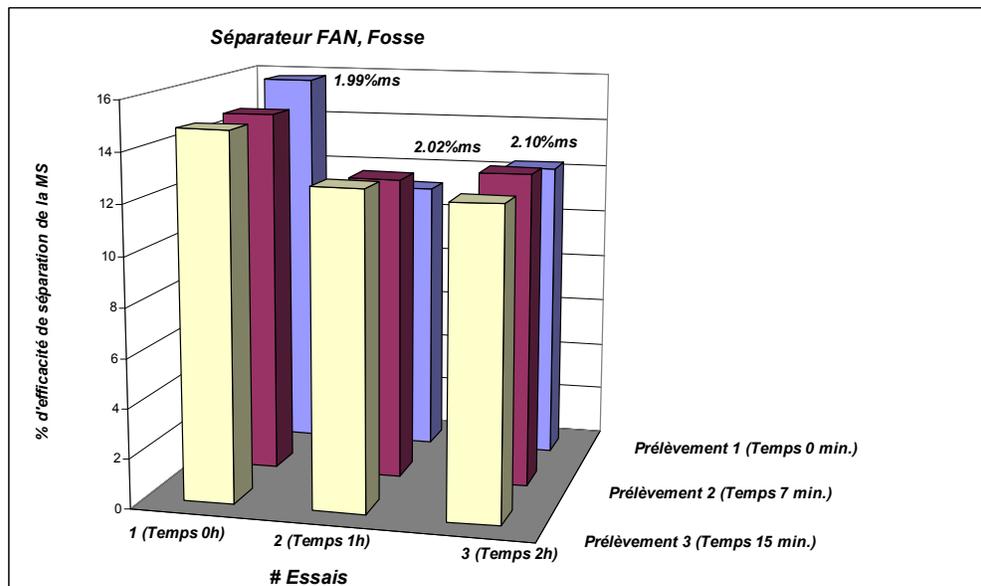


Figure 4.2b Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur FAN avec du lisier d'engrais provenant d'une fosse (teneur de 1,99 à 2,10 %)

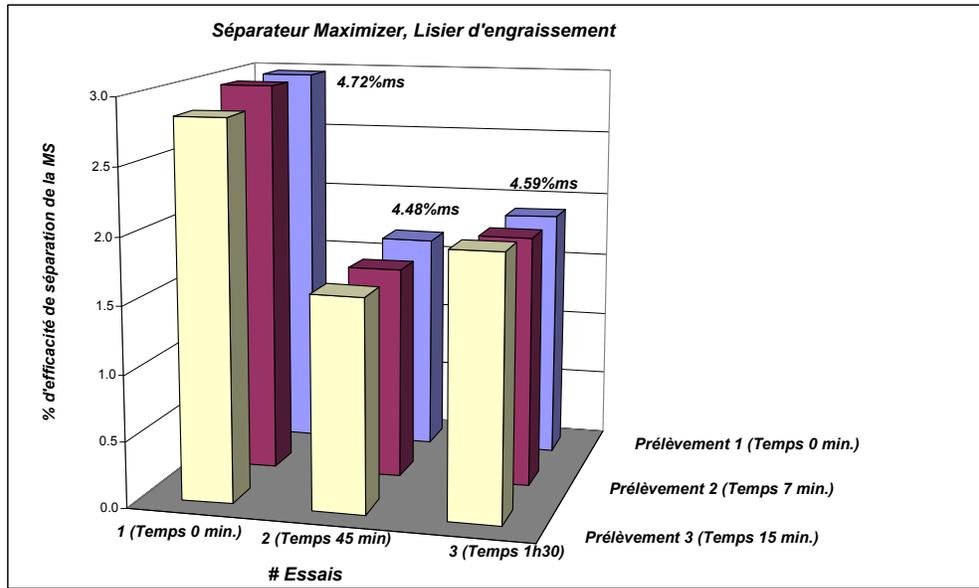


Figure 4.3a Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Maximizer avec du lisier d'engraissement d'une teneur de 4,5 % à 4,7 %

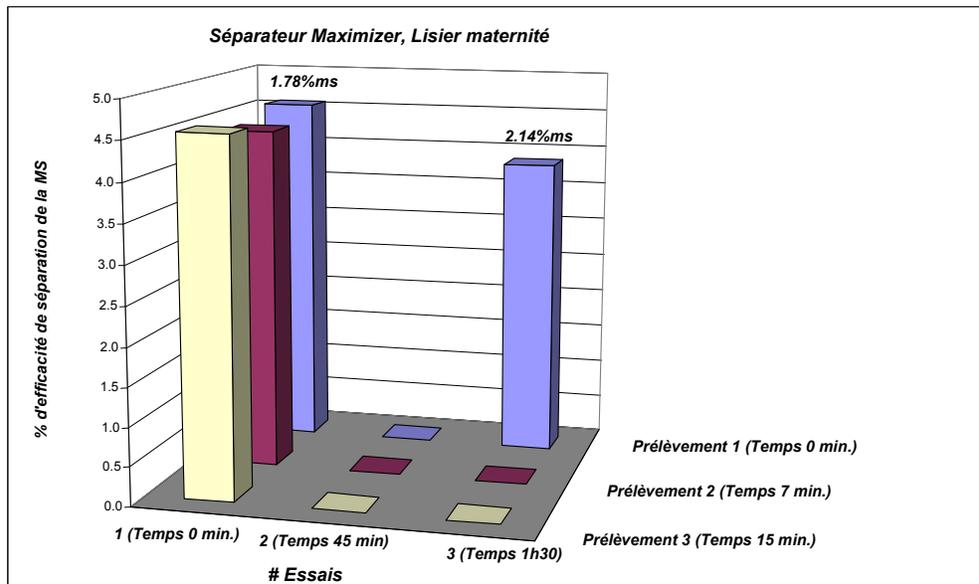


Figure 4.3b Efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Maximizer avec du lisier de maternité d'une teneur de matière sèche de 1,7 à 2,1 %

4.2.2. Phosphore

Au Québec, l'enjeu de la séparation étant le phosphore, il est impératif d'en connaître la répartition dans les différents produits (brut et séparés). Les figures 4.4a à 4.4c présentent les efficacités d'extraction de cet élément en fonction de l'efficacité d'extraction du contenu en matière sèche du lisier brut selon les technologies utilisées. Ces relations permettent d'estimer l'efficacité d'extraction des séparateurs testés en fonction de la matière sèche.

Les différentes relations présentées sous forme de graphiques illustrent que la capacité des séparateurs à extraire le phosphore est directement proportionnelle à la capacité d'extraire la matière sèche du lisier brut. Ici encore, la nature de la technologie employée influence directement les résultats. La centrifugation, par sa capacité à retirer les particules fines contenues dans le lisier, permet d'atteindre les efficacités les plus élevées en matière d'extraction du phosphore. Quant aux technologies basées sur les tamis, la granulométrie influence de façon plus importante leurs capacités à prélever le phosphore, limitant ainsi la valeur de l'efficacité d'extraction.

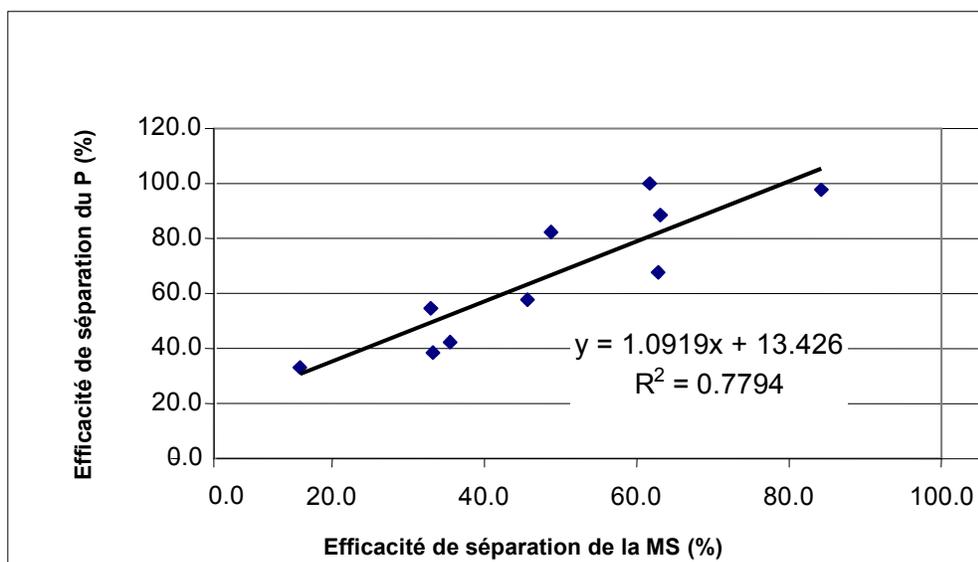


Figure 4.4a Efficacité de séparation du phosphore en fonction de l'efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Alfa-Laval

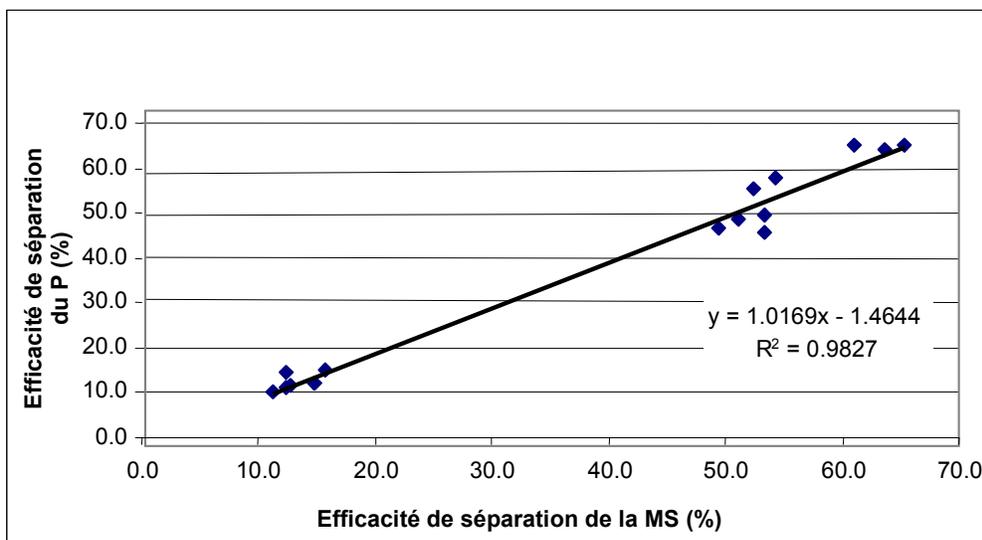


Figure 4.4b Efficacité de séparation du phosphore en fonction de l'efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur FAN

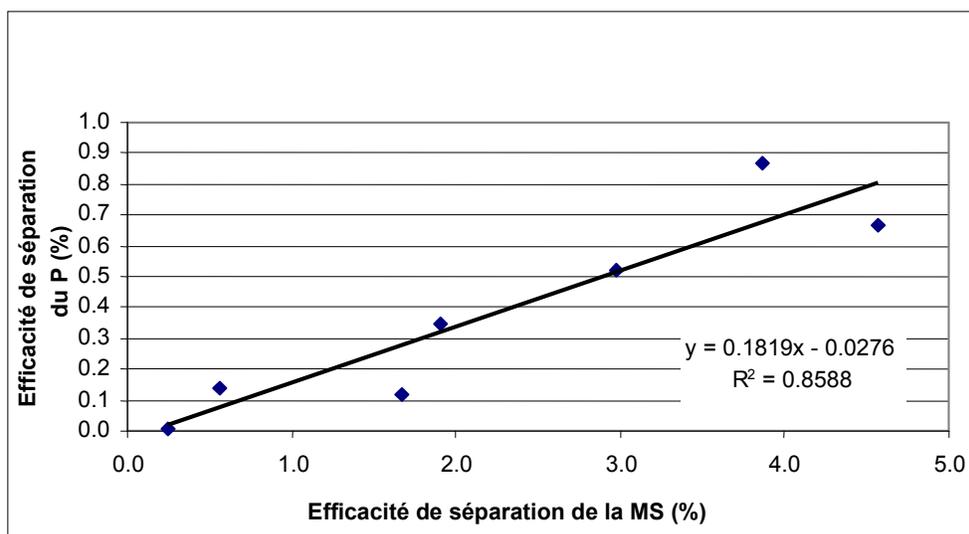


Figure 4.4c Efficacité de séparation du phosphore en fonction de l'efficacité de séparation de la matière sèche pour le séparateur Maximizer

Section B *Évaluation du rapport efficacité/coût des séparateurs*

5.0 Méthodologie

Afin de guider l'entreprise porcine dans l'acquisition d'un séparateur, il est essentiel de vérifier si le coût du séparateur peut se rentabiliser étant donné son niveau de performance et sa réponse à la problématique environnementale de l'entreprise. Une multitude de scénarios existent, chaque entreprise ayant ses caractéristiques et environnement spécifiques.

5.1. Hypothèse générale

L'approche utilisée dans la présente étude consiste à établir différents scénarios les plus plausibles et de comparer leur coût à ceux d'une gestion standard pour le même type d'exploitation. Ces scénarios considèrent un épandage des produits selon la capacité de réception en phosphore des superficies réceptrices et un ordre de priorité de disposition. Par ordre décroissant, la disposition des lisiers se fait par :

- 1^{er} épandage de la fraction liquide sur les superficies possédées;
- 2^e épandage des boues sur les superficies possédées;
- 3^e exportation du volume résiduel des boues vers un centre de traitement régional (distance de l'entreprise de 30 km);
- 4^e exportation du volume résiduel de la fraction liquide sur des superficies en entente d'épandage (distance de l'entreprise de 0-3 km).

Pour fin de comparaison, l'épandage de lisier brut est réalisé, dans un premier temps, selon la capacité de réception en phosphore de superficies possédées. Le volume résiduel de lisier brut est exporté sur des superficies en entente d'épandage. Les scénarios prévoient deux distances entre la ferme et les terres réceptrices, soit 15 km et 30 km.

5.2. Description des séparateurs utilisés dans les scénarios

À partir du rapport d'évaluation des technologies de gestion et de traitement du lisier de porc (FPPQ 2001), le débit a été fixé à 10 m³/heure, la puissance à 5 kW et le coût d'électricité à 0,0941 \$/kW et ce, pour chacun des séparateurs testés.

Dans la présente étude économique, deux séparateurs sont considérés. Ils sont utilisés à la fosse. Le premier est un séparateur ayant un taux d'extraction du phosphore de 50 %, c'est-à-dire que 50 % du phosphore se retrouve dans les boues. Ces boues correspondent à un volume de 25 % du volume de lisier brut produit. Il est posé qu'un tel séparateur coûte 70 000 \$ à l'achat.

Le deuxième est un séparateur ayant un taux d'extraction du phosphore de 70 %, c'est-à-dire que 70 % du phosphore se retrouve dans les boues. Le volume de ces dernières correspond à 20 % du volume de lisier

brut produit. Il est posé que son coût d'achat est de 100 000 \$, ou 170 000 \$ pour un modèle de grande capacité.

5.3. Description des scénarios

5.3.1. Scénario A : Entreprise sans sol avec un volume de lisier brut à gérer de l'ordre de 5 000 m³

Plus de 30 % des entreprises porcines québécoises ne possèdent aucune superficie pour disposer de leurs lisiers et requièrent donc les superficies de producteurs receveurs (GREPA-BPR Groupe conseils, 1998).

L'entreprise-type retenue doit exporter tout le lisier produit. Elle utilise un séparateur pour pouvoir disposer de la fraction liquide dans un rayon de 0-3 km et exporter les boues vers un centre régional de traitement situé à 30 km. Il s'agit d'une entreprise naisseur-finiisseur, sans sol, de la région de Saint-Hyacinthe vivant donc dans un contexte de municipalité et de région en surplus.

Cheptel en inventaire :	160 truies 600 porcelets (4,5 à 19,9 kg) 1 200 porcs à l'engrais (20-107 kg)
Type d'abreuvement :	suces
Composition du lisier brut :	3,2 kg N/m ³ et 2,1 kg P ₂ O ₅ /m ³
Structures d'entreposage :	15 m de diamètre x 3,7 m de hauteur 29 m de diamètre x 4,9 m de hauteur
Volume des déjections :	5 132 m ³
Charge en phosphore :	10 777 kg P ₂ O ₅
Capacité de réception sur la ferme :	aucun kg P ₂ O ₅

5.3.2. Scénarios B : Regroupement de lisier brut pour un volume à gérer de l'ordre de 12 000 m³

Le scénario B veut vérifier si une approche semi-collective, c'est-à-dire un regroupement d'entreprises, permet d'obtenir une meilleure rentabilité en faisant supporter l'achat du séparateur sur un plus grand volume de lisier brut. Ce scénario B regroupe donc trois entreprises possédant quelques superficies d'épandage, de richesse élevée en phosphore, donc intéressées par l'azote contenue essentiellement dans la fraction liquide. Dans le scénario B1, les entreprises cumulent une capacité de réception de phosphore faisant en sorte qu'elles doivent exporter 10 000 kg de P₂O₅. Dans le scénario B2, elles possèdent moins de terres et doivent exporter plus de phosphore soit 20 000 kg.

Entreprise X

Cheptel en inventaire :	160 truies 600 porcelets (4,5 à 19,9 kg) 1 200 porcs à l'engrais (20-107 kg)
Type d'abreuvement :	suces
Composition du lisier brut :	3,2 kg N/m ³ et 2,1 kg P ₂ O ₅ /m ³
Structures d'entreposage :	15 m de diamètre x 3,7 m de hauteur 29 m de diamètre x 4,9 m de hauteur
Volume des déjections :	5 132 m ³
Charge en phosphore :	10 777 kg P ₂ O ₅

Entreprise Y

Cheptel en inventaire :	2 000 porcs à l'engrais (20-107 kg)
Type d'abreuvement :	trémies-abreuvoirs
Composition du lisier brut :	4,1 kg N/m ³ et 2,7 kg P ₂ O ₅ /m ³
Structures d'entreposage :	30 m de diamètre x 4,7 m de hauteur
Volume des déjections :	4 515 m ³
Charge en phosphore :	12 191 kg P ₂ O ₅

Entreprise Z

Cheptel en inventaire :	300 truies
Type d'abreuvement :	trémies-abreuvoirs
Composition du lisier brut :	3,3 kg N/m ³ et 3,0 kg P ₂ O ₅ /m ³
Structures d'entreposage :	24 m de diamètre x 3,7 m de hauteur
Volume des déjections :	2 178 m ³
Charge en phosphore :	6 534 kg P ₂ O ₅

5.4. Hypothèses pour l'évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs mécaniques et de la disposition de lisier brut

L'évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs comprend une évaluation des coûts d'immobilisation tenant compte d'un taux d'intérêt de 7 %, d'une valeur résiduelle de 20 %, d'un coût d'achat de l'appareil de 70 000 \$ pour le séparateur 1 et de 100 000 \$ (ou 170 000 \$ pour un modèle de grande capacité) pour le séparateur 2 ainsi qu'un amortissement de 10 %. Les coûts d'opération comprennent une évaluation de la consommation d'électricité du séparateur, un coût annuel d'entretien et de réparation de 3 % (ou 5 % pour le modèle de grande capacité) et le coût de disposition (reprise, transport et épandage) de la fraction liquide et du lisier brut. Quant aux boues, les coûts associés à leur épandage sont estimés à 2,81 \$/m³ (lorsque le cas), les coûts associés à leur gestion vers un centre de traitement régional sont estimés à 4,24 \$/m³ pour le transport (30 km de distance) et à 8,00 \$/m³ pour leur traitement (déshydratation, séchage et compostage). Quant aux coûts de disposition, ils ont été estimés à respectivement 1,72 \$/m³, 4,54 \$/m³ et 7,19 \$/m³, de la

fraction liquide et le lisier brut, pour une distance de 0-3 km, 15 km et 30 km de l'entreprise agricole en excluant le coût annuel d'entreposage (Pigeon et al. 1998).

6.0 Résultats

6.1. Scénario A : Entreprise sans sol avec 5 000 m³ de lisier brut à gérer

6.1.1. Types et volume des produits à gérer par l'entreprise sans sol utilisant un séparateur

Avec le séparateur 1, l'entreprise-type a une charge de 5 389 kg P₂O₅ dans 1 283 m³ de boues et 5 388 kg P₂O₅ dans 3 849 m³ de la fraction liquide (Tableau 6.1). En utilisant le séparateur 2, l'entreprise-type a une charge de 7 544 kg P₂O₅ dans 1 026 m³ de boues et 3 233 kg P₂O₅ dans 4 106 m³ de la fraction liquide (Tableau 6.1).

6.1.2. Évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs

Selon les différentes hypothèses, les coûts d'utilisation d'un séparateur pour cette entreprise-type ont été estimés variant entre 6,65 \$/m³ à 7,49 \$/m³ selon le type de séparateur (Tableau 6.2). Les coûts de gestion standard du lisier brut varient de 4,54 \$/m³ à 7,19 \$/m³ selon la distance des superficies d'épandage (Tableau 6.3). Dans un cas semblable, l'achat d'un séparateur pourra difficilement se rentabiliser.

6.1.3. Discussion

À partir de cette analyse, la rentabilité économique d'un séparateur dépend de plusieurs variables :

- coût d'achat du séparateur;
- efficacité du séparateur à extraire le phosphore;
- envergure de l'excédent en phosphore de l'entreprise;
- distance des superficies d'épandage disponibles (ententes d'épandage).

En effet, l'achat d'un séparateur devient une solution rentable pour l'entreprise si la charge en phosphore à gérer hors de l'entreprise est élevée et si les distances d'épandage pour la disposition du lisier brut sont importantes (30 km) (Figure 6.1). À cela s'ajoute l'efficacité d'extraction de phosphore par la technologie utilisée et du prix d'achat de l'appareil, considérant l'admissibilité de l'entreprise aux subventions gouvernementales.

Il est à noter que l'entreprise doit avoir accès à deux fosses d'entreposage : un réservoir pour le lisier brut et un autre pour la fraction liquide. Elle doit être en mesure d'entreposer temporairement les boues de la séparation sur une plate-forme. Ces coûts n'ont pas été pris en compte.

Tableau 6.1 Utilisation des séparateurs par l'entreprise sans sol avec 5 000 m³ de lisier brut à gérer (Scénario A)

Paramètres	Séparateur 1		Séparateur 2	
	Boues	F. liquide	Boues	F. liquide
Volume de lisier brut (m ³)	5 132		5 132	
Charge en P ₂ O ₅ (kg)	10 777		10 777	
Capacité de réception (kg P ₂ O ₅)	0		0	
Taux de capture du P ₂ O ₅ dans les boues (%)	50		70	
	Boues	F. liquide	Boues	F. liquide
Volume p/r au lisier brut ¹ (%)	25	75	20	80
Volume à exporter (m ³)	1 283	3 849	1 026	4 106
Charge à exporter (kg P ₂ O ₅)	5 389	5 388	7 544	3 233

Note 1 Source : FPPQ, 2001.

Tableau 6.2 Résumé des coûts d'utilisation des séparateurs pour l'entreprise sans sol ayant un volume de 5 000 m³ de lisier brut à disposer

Paramètre	Coût annuel d'utilisation du séparateur (\$/année)		
	Séparateur 1	Séparateur 2	
Taux de capture du P ₂ O ₅ dans les boues (%)	50	70	
Frais d'immobilisation	Frais d'immobilisation	9 450,00	13 500,00
	Amortissement	7 000,00	10 000,00
	Intérêt	2 450,00	3 500,00
	Frais d'immobilisation (\$/m ³ de lisier brut produit)	1,84	2,63
Frais d'opération	Entretien et réparation	2 100,00	3 000,00
	Électricité	241,46	241,46
	Épandage de la fraction liquide (ferme)	0,00	0,00
	Épandage de la fraction liquide (hors ferme) (0-3 km)	6 620,28	7 062,32
	Épandage des boues (ferme)	0,00	0,00
	Transport des boues (centre régional) (30 km)	5 439,92	4 350,24
	Traitement des boues (centre régional)	10 264,00	10 264,00
	Frais d'opération	24 665,66	24 918,02
	Frais d'opération (\$/m ³ de lisier brut produit)	4,81	4,86
Total	Total (\$/m ³ de lisier brut produit)	6,65	7,49

Tableau 6.3 Coût de disposition du lisier brut de l'entreprise sans sol ayant un volume de 5 000 m³ à gérer

Paramètre	Coût annuel de gestion du lisier brut (\$/m ³)	
	Surplus de 10 000 kg P ₂ O ₅ Distance d'épandage	
	15 km	30 km
Épandage du lisier (ferme)	0,00	0,00
Épandage du lisier (hors ferme)	23 299,29	36 899,08
Total	23 299,29	36 899,08
Total (\$/m ³ de lisier brut produit)	4,54	7,19

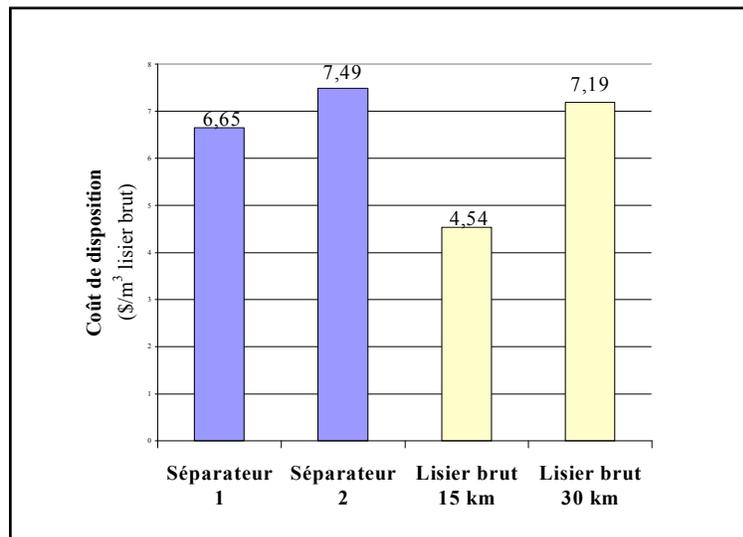


Figure 6.1 Comparaison des coûts de gestion du lisier brut de l'entreprise sans sol ayant 5 000 m³ via la gestion standard et via la séparation mécanique

6.2. Scénarios B : Regroupement d'un volume de 12 000 m³ de lisier brut

6.2.1. Types et volume des produits à gérer par les entreprises utilisant un séparateur

Les mêmes données de base concernant les séparateurs ont été utilisées à l'exception du débit, fixé à 20 m³/heure étant donné la plus grande capacité du séparateur pour traiter le volume regroupé.

Avec le séparateur 2 (taux de capture du phosphore de 70 % dans un volume de 20 %), les entreprises regroupées ont une charge de 20 651 kg P₂O₅ dans 2 365 m³ de boues et 8 851 kg P₂O₅ dans 9 460 m³ de fraction liquide à gérer (Tableau 6.4). La totalité du lisier brut des entreprises est séparée via l'appareil.

La rentabilité du séparateur est calculée selon deux capacités différentes de réception de phosphore sur les terres possédées (Scénarios B1 et B2). Les entreprises utiliseront en priorité la fraction liquide sur leurs propres terres.

Dans le scénario B1, les entreprises possèdent suffisamment de terres en culture pour y recevoir l'ensemble de la fraction liquide (9 460 m³) et une partie des boues (1 220 m³). Un volume de 1 145 m³ est dirigé vers un centre régional de traitement. Quant au lisier brut, beaucoup de superficies sont requises via des ententes d'épandage ce qui peut s'avérer difficile dépendant de la situation environnante des entreprises.

Dans le scénario B2, les entreprises possèdent moins de terres en culture. Elles doivent donc exporter une plus grande quantité de boues vers le centre régional (2 290 m³).

Tableau 6.4 Utilisation du séparateur 2 par un regroupement de trois entreprises possédant une certaine superficie d'épandage (Scénarios B1 et B2)

		Type de produit à gérer	Volume épandu sur les terres possédées par les entreprises (m ³)	Volume exporté <ul style="list-style-type: none"> ▪ vers d'autres superficies d'épandage via ententes d'épandage (lisier brut/fraction liquide) ▪ vers un centre régional (boues) (m³) 	
B1	Capacité de réception de 19 502 kg P ₂ O ₅ Surplus 10 000 kg	Lisier brut	7 825	4 000	
		Séparateur	F. liquide	9 460	0
			Boues	1 220	1 145
B2	Capacité de réception de 9 502 kg P ₂ O ₅ Surplus 20 000 kg	Lisier brut	3 825	8 000	
		Séparateur	F. liquide	9 460	0
			Boues	75	2 290

6.2.2. Évaluation des coûts d'utilisation des séparateurs

Les coûts d'utilisation du séparateur ont été estimés variant de 5,53 \$/m³ à 6,45 \$/m³ selon la situation des entreprises, c'est-à-dire en fonction du surplus de phosphore à gérer hors des entreprises (Tableau 6.5). Les coûts de gestion standard du lisier brut varient, dans ces cas, de

6,16 \$/m³ à 12,49 \$/m³ selon la distance des superficies disponibles via les ententes d'épandage et la capacité de réception en phosphore des entreprises (Tableau 6.6).

6.2.3. Discussion

Le regroupement d'entreprises pour l'achat d'un séparateur permet donc un gain économique intéressant sur les coûts totaux de gestion des déjections animales, variant de 0,92 \$/m³ à 6,62 \$/m³ selon l'ampleur des surplus à exporter par comparaison à une gestion standard des lisiers par ententes d'épandage (Figures 6.2a et 6.2b).

Ce cheminement de calcul s'applique également à une entreprise ayant un volume important de déjections animales à gérer hors des sites d'élevages (par entente d'épandage) conformément à l'échéancier d'application de la charge phosphatée du *Règlement sur les exploitations agricoles* (REA).

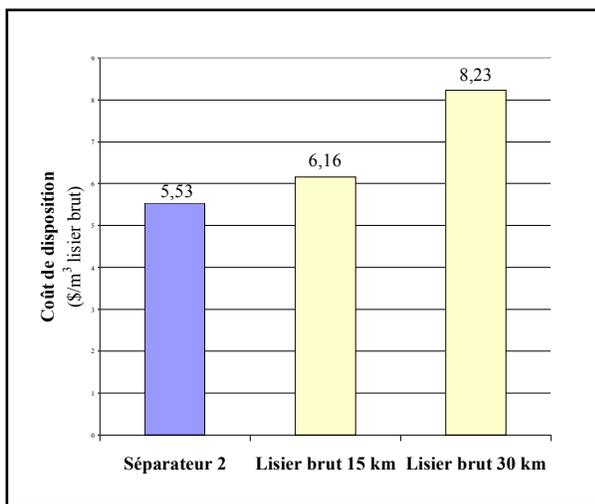
Dans tous les cas, une analyse complète de la situation est toujours nécessaire afin de s'assurer d'une rentabilité pour les entreprises, considérant l'effet de plusieurs paramètres sur les coûts/bénéfices de l'investissement.

Tableau 6.5 Résumé des coûts d'utilisation du séparateur 2 pour un regroupement de trois entreprises

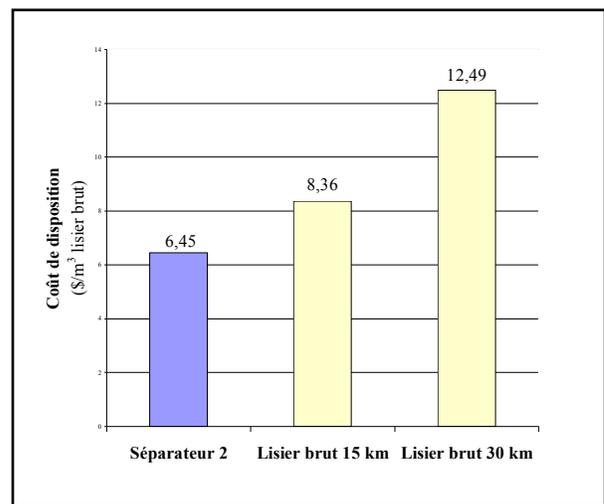
Paramètre		Coût annuel d'utilisation du séparateur (\$/année)	
		Surplus 10 000 kg P ₂ O ₅	Surplus 20 000 kg P ₂ O ₅
Frais d'immobilisation	Frais d'immobilisation	22 950,00	22 950,00
	Amortissement	17 000,00	17 000,00
	Intérêt	5 950,00	5 950,00
	Frais d'immobilisation (\$/m ³ de lisier brut produit)	1,94	1,94
Frais d'opération	Entretien et réparation	8 500,00	8 500,00
	Électricité	278,18	278,18
	Épandage de la fraction liquide (ferme)	16 271,20	16 271,20
	Épandage de la fraction liquide (hors ferme)	0,00	0,00
	Épandage des boues (ferme)	3 428,20	210,75
	Transport des boues (centre régional)	4 854,80	9 709,60
	Traitement des boues (centre régional)	9 160,00	18 320,00
	Frais d'opération	42 492,38	53 289,73
	Frais d'opération (\$/m ³ de lisier brut produit)	3,59	4,51
Total	Total (\$/m ³ de lisier brut produit)	5,53	6,45

Tableau 6.6 Coût de disposition du lisier brut du regroupement de trois entreprises selon les distances des superficies d'épandage disponibles

Paramètre	Coût annuel de gestion du lisier brut (\$/m ³)			
	Surplus de 10 000 kg P ₂ O ₅ Distance d'épandage		Surplus de 20 000 kg P ₂ O ₅ Distance d'épandage	
	15 km	30 km	15 km	30 km
Épandage du lisier (ferme)	13 459,00	13 459,00	6 579,00	6 579,00
Épandage du lisier (hors ferme)	18 160,00	28 760,00	36 320,00	57 520,00
Total	31 619,00	42 219,00	42 899,00	64 099,00
Total (\$/m ³ de lisier brut produit)	6,16	8,23	8,36	12,49



6.2a Scénario B1
Surplus de 10 000 kg P₂O₅



6.2b Scénario B2
Surplus de 20 000 kg P₂O₅

Figure 6.2 Comparaison des coûts de gestion de lisier brut du regroupement de trois entreprises selon des superficies d'épandage disponibles

7.0 Réflexion sur la séparation de la matière solide des lisiers

7.1. Éléments de réflexion

Les essais effectués sur les différents équipements amènent plusieurs éléments de réflexion quant au choix d'une technologie. Il semble que les séparateurs puissent avoir des créneaux d'utilisation spécifiques ce qui implique que le choix d'un équipement doit s'inscrire dans un processus d'analyse impliquant trois composantes majeures :

- identifier les besoins;
- trouver la technologie la plus adaptée à ces besoins;
- trouver des débouchés au solide séparé.

7.2. Identifier les besoins locaux et régionaux

Le Portrait agroenvironnemental de la rivière Yamaska, publié en 1998 (Beaudet, 1998) a démontré que le bilan à la surface du sol à l'équilibre générerait à cette époque une quantité excédentaire de 6 201 tonnes de P_2O_5 pour ce bassin. Le bilan à la surface du sol des éléments fertilisants permet d'estimer le niveau d'équilibre entre les apports et les retraits de ces éléments sans égard à l'efficacité des engrais de ferme. Ce portrait démontrait aussi que les engrais de ferme n'étaient pas appliqués sur la totalité des superficies en culture puisque la moyenne s'établissait plutôt à 45 %.

Une récente estimation, effectuée pour la région de la Montérégie-Est montre que le problème existe toujours sur ce territoire (Trudelle et al., 2001) (Tableau 7.1). En effet, le bilan à la surface du sol à l'équilibre génère un surplus de 9 765 tonnes de P_2O_5 pour cette région.

Par ailleurs, une évaluation du bilan azoté (N) pour cette région agricole montre que le surplus serait de 4 146 tonnes N, en considérant un épandage des engrais de ferme au printemps-été suivi d'un enfouissement dans un délai de 24 heures. Les superficies supplémentaires nécessaires pour disposer de ce surplus seraient de 38 017 hectares. La superficie totale en culture disponible pour réception s'élève à 230 105 hectares selon ce scénario (Tableau 7.1).

Tableau 7.1 Détermination du surplus régional en Montérégie-Est selon différentes méthodologies de calcul – situation actuelle

Paramètre	Bilan	
	P_2O_5 (Équilibré)	Azote
Surplus (kg /an)	9 764 804	4 146 077
Superficie nécessaire pour surplus (ha)	294 020	38 017
Superficie disponible par les receveurs (ha)	166 452	230 105

Source : Trudelle et al., 2001

L'évaluation du surplus régional en Montérégie-Est selon différentes méthodologies de calcul et scénarios de travail montre l'envergure de la problématique sur ce territoire agricole. En effet, un ensemble d'interventions à la ferme réglerait une partie de la problématique agroenvironnementale de ce territoire agricole, notamment par la réalisation des plans agroenvironnementaux de fertilisation (PAEF), le renouvellement et la conclusion d'ententes d'épandage et leur suivi pour les entreprises existantes en surplus de fumiers et la mise en place de nouvelles régies d'élevage et d'alimentation sur les sites d'exploitation. Cependant, il demeure incontournable que des solutions technologiques seront nécessaires pour résoudre la totalité de la problématique agroenvironnementale du bassin versant de la rivière Yamaska.

Les intervenants sont présentement à monter un coffre d'outils dans lequel plusieurs types de technologies seront disponibles. La séparation mécanique des lisiers fait partie de ce coffret, d'autant plus que le bilan azoté du territoire présente un déficit. La séparation mécanique des lisiers a un rôle prépondérant à jouer dans cette dynamique régionale en raison de sa capacité à conserver l'azote dans la phase liquide (favoriser l'épandage d'une solution fertilisante azotée à proximité des entreprises) et concentrer le phosphore dans la phase solide pour exportation sur de nouvelles superficies en entente d'épandage ou hors du milieu agricole.

7.3. Trouver la technologie adaptée à ces besoins

Si les besoins d'exportation du phosphore hors de la ferme vont de faibles à modérés, il peut être possible d'utiliser une technologie moins agressive comme celle utilisant un tamis. Toutefois, ces technologies requièrent une teneur en matière sèche élevée pour être performantes. Il faut également être en mesure de fournir un matériel relativement homogène dans le temps afin de s'assurer d'une efficacité toujours acceptable. L'emploi de telles technologies se prête donc mieux à une séparation à la pré-fosse. En effet, le lisier qui s'y retrouve est peu dégradé (particules de forte granulométrie) et contient une fraction solide élevée. Une bonne pratique de gestion de lisier devrait alors prévoir un apport réduit d'eau de lavage ainsi que des nettoyages fréquents. Ce type de séparateur travaille en processus quasi continu, requérant un faible débit de traitement.

Les entreprises qui doivent exporter une plus grande quantité de phosphore doivent prévoir une méthode de séparation très agressive et donc plus coûteuse. Cette opération est réalisable avec des technologies comme la centrifugation. Tel qu'observé dans nos résultats, cette technologie ne peut recevoir du lisier ayant une haute teneur en matière sèche afin de permettre une performance optimale de l'équipement. Le lisier de la fosse possède ces caractéristiques, le produit y étant fortement dégradé et dilué. Une opération à la fosse sera effectuée seulement à quelques reprises dans l'année et l'appareil de séparation devra posséder une grande capacité de traitement. Les tableaux 7.2 et 7.3 résument les éléments de réflexion énoncés précédemment.

Tableau 7.2 Relations entre la régie du lisier brut et les différentes technologies de séparation testées

Critères	Séparation avec tamis à la pré-fosse	Séparation avec centrifugeuse à la fosse
Besoin d'exportation du phosphore	Faible	Important
% M.S. lisier brut	Élevée	Faible
Granulométrie du lisier brut	Grosses particules en nombre plus important	Petites particules solides
Type de traitement nécessaire	Faible agressivité	Forte agressivité
Débits de séparation	Moins importants	Plus importants
Coûts de la séparation	Modérés	Élevés
Fréquence	Opération régulière	Quelques opérations de séparation annuelles

Tableau 7.3 Appréciation des technologies mécaniques de séparation utilisées dans le cadre du projet

Besoin d'exportation du phosphore	Technologie	Agressivité de séparation	Coût d'achat et d'opération
Faible	Tamis sur plan incliné	Faible	\$
Faible/modéré	Vis à pression	Moyenne	\$\$
Élevé	Centrifugation	Élevé	\$\$\$

7.4. Trouver des débouchés au solide séparé

Le dernier aspect important lié à la séparation du solide du lisier est de trouver des débouchés aux boues générées par le procédé de séparation. Seront-elles compostées, déshydratées, incinérées (ou tout autre avenue permettant l'exportation hors de la ferme, voire hors de la région)? Voilà autant de questions auxquelles il faudra répondre avant de choisir un équipement de séparation.

8.0 Conclusions et recommandations

8.1. Conclusions

Les objectifs du présent projet étaient :

- Valider les équations de bilan et d'efficacité massique de séparation à l'aide de lisier prélevé dans la pré-fosse;
- Évaluer l'efficacité de séparation pour du lisier provenant des trois stades de production (maternité, pouponnière et finition);
- Étudier l'influence des caractéristiques du lisier sur l'efficacité;
- Évaluer les coûts, dont les coûts énergétiques, et le rapport efficacité/coût.

Trois séparateurs ont été testés, soit le décanteur-centrifuge Alfa-Laval, le Maximizer d'Agri-ventes Bromelée et le séparateur FAN, ce dernier en pré-test. Les expérimentations comptaient trois types de lisier (maternité, pouponnière, croissance-finition) et trois répétitions par essai. Aucun additif ne fut ajouté.

Les résultats ont démontré que le séparateur Maximizer pouvait extraire de 2 à 3 % de la matière sèche et environ 0,5% du phosphore pour des lisiers de porc variant de 2 à 5 % de teneur en matière sèche. Pour les mêmes lisiers, le séparateur Alfa-Laval, permettait d'extraire de 27 à 50 % des matières sèches et de 40 à 70 % du phosphore. Le séparateur FAN, avec les lisiers de pré-fosse, a extrait entre 50 et 60 % des matières sèches et entre 50 et 65 % du phosphore.

D'un point de vue économique, la rentabilité d'un séparateur dépend de plusieurs variables :

- coût d'achat du séparateur;
- efficacité du séparateur à extraire le phosphore;
- envergure de l'excédent en phosphore de l'entreprise;
- distance des superficies d'épandage disponibles (ententes d'épandage).

L'étude économique a pris en compte différents scénarios et deux types de séparateurs. Les scénarios choisis vont d'une entreprise se dotant seule d'un séparateur au regroupement de producteurs. Les coûts d'achat des séparateurs ont été estimés à 70 000 \$ (50 % d'efficacité d'extraction du phosphore), 100 000 \$ (70 % d'efficacité d'extraction du phosphore) ou 170 000 \$ (modèle de grande capacité pour répondre au besoin d'un volume plus important à traiter). Les différents calculs ont démontré que les coûts d'une gestion avec séparation pouvaient varier de 4 à 8 \$/m³ tandis que pour une gestion standard les coûts pouvaient varier de 4 à 13 \$/m³.

Dans un premier temps, chaque entreprise intéressée par la séparation devrait établir un diagnostic agroenvironnemental du phosphore et de l'azote le plus précis possible. Puis, en fonction des efficacités des séparateurs mécaniques, sélectionner l'équipement répondant le mieux à sa problématique. Également, il serait impératif que les intervenants se dotent de mécanismes de normalisation afin d'obtenir des valeurs de

performances objectives et comparables. Cette normalisation est très importante dans le processus de sélection et en ce moment, la plupart des valeurs de performances disponibles sont issues d'expériences plus ou moins adéquates. C'est à ce titre que le présent rapport fournit une méthodologie normalisée de testage de séparateurs. Cependant, les essais devraient être réalisés par des organismes publics ou para-publics comme dans le cas de la plupart des équipements accessibles au public.

8.2. Recommandations

La grande variabilité du lisier, la variation de la performance dans le temps de certains séparateurs et la précision dans les différentes mesures (débit, masse, analyse) exigent la réalisation d'essais dans des conditions standards. En fait, le projet a démontré que l'évaluation des performances des séparateurs mécaniques exigeaient une grande précision et une rigueur dans la réalisation des essais.

Comme il existe un lien direct entre la teneur en matière sèche du lisier brut et le rendement des équipements, le choix d'un séparateur repose sur plusieurs critères :

1. Préciser les besoins en exportation de phosphore de l'entreprise;
2. Selon le niveau de phosphore à prélever, choisir la technologie la plus adaptée et modifier au besoin la régie d'élevage afin de fournir un lisier brut répondant aux critères de performance du séparateur choisi;
3. S'assurer que le fabricant du séparateur fournit la plage d'utilisation de l'appareil de même qu'un manuel d'utilisation.

Par conséquent, les recommandations sont les suivantes :

- que tous les promoteurs fournissent une fiche de performance de leur séparateur ainsi que les limites d'utilisation;
- que soit mis en place un mécanisme normalisé d'établissement de performances des séparateurs réalisé sous la supervision d'un organisme neutre afin de fournir les valeurs pour la création de la fiche technique spécifique;
- que les organismes de gestion des surplus, clubs agroenvironnementaux et les différents autres organismes oeuvrant auprès des producteurs exigent des promoteurs de technologies de séparation des fiches techniques basées sur des essais normalisés;
- dans tous les cas, un diagnostic agroenvironnemental complet de l'entreprise agricole (bilan de phosphore) ainsi que les données technico-économiques du séparateur (prix d'achat, efficacité d'extraction du phosphore, bilan énergétique, etc.) sont nécessaires afin de s'assurer d'une rentabilité de l'investissement.

9.0 Références

- ASAE (1997). ASAE Standards. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA.
- Beudet, P. (1998). Portrait agroenvironnemental de la rivière Yamaska. Agri-Vision 1998. MAPAQ – CPAQ. Saint-Hyacinthe, 8 décembre 1998.
- Burton, C.H. (1997). Manure Management : Treatment Strategies for Sustainable Agriculture. Silsoe, Bedford, UK : Silsoe Research Institute. 181 pages.
- Chastain, J.P., W.D. Lucas, J.E. Albrecht, J.C. Pardue, J. Adams III et K. P. Moore (1998). Solids and Nutrient Removal From Liquid Swine Manure Using a Screw Press Separator. ASAE Annual International Meeting, Orlando, FL, USA, 12-16 juillet, 1998. ASAE Paper No. 984110. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA.
- CIGR (1999). Handbook of Agricultural Engineering Volume II. Animal Production & Aquacultural Engineering. American Society of Agricultural Engineers, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA. 359 pages.
- Fernandes, L., E. McKeys et L. Obidniak (1988). Performance of a continuous belt microscreening unit for solid liquid separation of swine wastes. Can. Agric. Eng. 30(1) : 151-155.
- Fertior (2000). Envirotech 2000. Projet de démonstration et d'essais: résultats de la 1^{ère} année. Valorisation et traitement des fumiers : Où en est-on ?. Journée d'information en agroenvironnement, Recueil des conférences. Sainte-Marie-de Beauce. 20 janvier 2000. Fédération de l'UPA de la Beauce.
- FPPQ (2001). Rapport d'évaluation des technologies de gestion et de traitement du lisier du porc. Groupe de travail : "Transfert technologique" du Plan agroenvironnemental de la production porcine. Novembre 2001.
- Glerum, J. C., G. Klomp et H. R. Poelma (1971). The separation of solid and liquid parts of pig slurry. In Proc. of the Int. Symp. on Livestock Wastes: Livestock Waste Management and Poll. Abatement, 345-347. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- GREPA-BPR Groupe-conseils (1998). Le recensement des entreprises porcines du Québec. Fédération des producteurs de porcs du Québec. 150 pages.
- Hahne, J., J. Beck et H. Oeschner (1995). Mechanical separation processes. Procs. of the EU funded Concerted Action Workshop, 19-21 October, Stuttgart, Germany.

- Hatfield, J. L. et B. A. Stewart (1998). *Animal Waste Utilization : Effective Use of Manure as a soil Resource* / edited by J. L. Hatfield, B. A. Stewart. Chelsea, Mich.: Ann Arbor Press. 320 pages.
- Hegg, R. O., R. E. Larson et J. A. Moore (1981). Mechanical liquid-solid separation in beef, dairy and swine slurries. *Transaction of the ASAE* 24(1) : 159-163.
- Holmberg, R. D., D. T. Hill, T. J. Prince et N. J. Van Dyke (1983). Potential of solid-liquid separation of swine wastes for methane production. *Transactions of the ASAE* 26(6): 1803-1807.
- Jordan, K.A. et J.I. Sewell. 1983. Analysis of the problem. Instrumentation and measurement for environmental sciences. B.O. Mitchell (ed). Second edition. American Society of Agricultural Engineering, St-Joseph, Michigan, pp. 1-01 a 1-04.
- L.R.Q., 2002, c.Q-2, r.11.1. Règlement sur les exploitations agricoles. Ministère de l'Environnement.
- Martin, D. (2001). Conversations personnelles, directeur général, Agri-ventes Brome ltée.
- Pelletier, F. (2000). Revue de littérature sur les séparateurs à lisier. Centre de développement du porc du Québec inc. (CDPQ). 49 pages.
- Piccinini, S. et L. Cortellini (1987). Solid-liquid separation of animal slurries. In Proc. 4th Int. CIEC sym., Agric. Waste Manage. And Environ. Protection, 219-229, Braunschweig, Germany, 11-14 May. International Scientific Center of Fertilizer (CIEC) and Federal Agric. Research Centre (FAL), Braunschweig-Voelkenvode.
- Pigeon, S., G. Gingras, D. Naud et S. Godbout (1998). Transport et traitement des fumiers et lisiers. Agri-Vision 1998. MAPAQ – CPAQ. Saint-Hyacinthe, 8 décembre 1998.
- Pos, S., R. Trapp et M. Harvey (1984). Performance of a Brushed Screen/Roller Press Manure Separator. *Transaction of the ASAE* 27(4): 1112-1118.
- Reimann, W. et M. Schön (1991). Fest-Flüssig-Trennung anaerob behandelter Gülle, *Landtechnik*, 11.
- Shutt, J. W., R. K. White, E. P. Taiganides et C. R. Mote (1975). Evaluation of solids separation devices. In *Managing Livestock Wastes*, 463-467. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Svarovshy. 2000. *Solid-Liquid separation*. Butterworth-Heinemann. Woburn, MA. 554 pages.

Trudelle, M. et P. Beudet (2001). Méthodologie de détermination des zones d'activités limitées (ZAL); gestion des fertilisants : impact territorial et à la ferme. Colloque en agroenvironnement. CRAAQ et IRDA, 21-22 novembre 2001.

Zhang, R. H. et P. W. Westerman (1997). Solid-Liquid Separation of Animal Manure for Odor Control and Nutrient Management. *Applied Engineering in Agriculture* vol. 13(5): 657-664.

10.0 Bibliographie

- Barrington, S. (2000). Évaluation d'un séparateur T-R et d'un aérateur à fumiers. Campus Macdonald de l'Université McGill, 21111 Chemin Lakeshore, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec) H9X 3V9.
- Comité aviseur technique sur les municipalités en surplus (1998). Ministère de l'Environnement. 3 juillet 1998. 25 pages.
- CPAQ (1998). Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les animaux d'élevage. Comité ad hoc sur l'agroenvironnement. Conseil des productions animales du Québec inc. Mai 1998.
- CPVQ (1996). Grilles de références en fertilisation. Conseil des productions végétales du Québec.
- CRÉAQ (1999). Fumier de ferme : production. Agdex 538/400.27. Comité de références économiques en agriculture du Québec. Février 1999.
- Dion, A. (1999). Étude de performance du séparateur liquide/solide dans le lisier de porc. Ecochem enr./SLS Technologies inc., 534 Corté-Réal, Boucherville, J4B 6Z4.
- Gosselin, P. (2001). Notes et discussions, directeur des ventes et technique, Alfa-Laval.
- GREPA-BPR Groupe-conseils (2000). Le portrait agroenvironnemental des fermes du Québec. Union des producteurs agricoles. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. Rapport régional Montérégie-Est. 130 pages.
- L.R.Q., 1997, c.Q-2, r.18.2. Règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole. Ministère de l'Environnement.
- Lalonde, Girouard, Letendre & Associés Ltée en collaboration avec Urgel Delisle et Associés et Luc Michaud (1990). Analyse de la situation des surplus de lisier de la région de la Yamaska. Ministère de l'Environnement du Québec.
- Massé, D. (2000). Évaluation des technologies existantes et en développement pour le traitement du lisier de porc à la ferme. Centre de recherche et de développement sur le bovin laitier et le porc. Agriculture et Agroalimentaire Canada, C.P. 90, Route 108 Est Lennoxville (Québec), Canada J1M 1Z3.
- Meier, U. (1994). Séparation du lisier. Rapport FAT no 445, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricole, 12 pages.

- Mondor, S. et S. Proulx (1997). Rapport final : Essai et évaluation du presseur rotatif Fournier comme système de traitement des lisiers à la ferme. Fertior.
- Moore, J. A. (1989). Dairy manure solid separation. In Proc. Dairy Manure Manage. Symp., 178-192, Syracuse, N.Y., 22-24 Février. NRAES-31. Ithaca, N.Y.: Cornell University.
- Pain, B. F., R. Q. Hephherd et R. J. Pittman (1978). Factors affecting the performances of four slurry separating machines. J. Agric. Eng. Res. 1978, 23 : 231-242.
- Pieralisi (2000). Dewatering digested pig manure with poly. <http://sewage.net/ve/testresults/page7.htm>. 28 juin 2000.
- R.R.Q., 1981, c.Q-2, r.18. Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale. Ministère de l'Environnement du Québec.
- Vanotti, M. B. et P. G. Hunt (1999). Solids and Nutrient Removal from Flushed Swine Manure using Polyacrylamides. Transactions of the ASAE 42(6): 1833-1840.
- Westerman, P. W. et J. R. Bicudo (1998). Tangential Flow Separation and Chemical Enhancement to Recover Swine Manure Solids and Phosphorus. ASAE Annual International Meeting, Orlando, FL, USA, 12-16 juillet, 1998. ASAE Paper No. 984114. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659 USA.
- Zhang, R. H. et F. Lei (1998). Chemical Treatment of Animal Manure for Solid-liquid Separation. Transactions of the ASAE 41(4): 1103-1108.

Annexe I

Détermination de la densité et de la matière sèche par four micro-ondes

Détermination de la densité et de la matière sèche par four micro-ondes

Réalisé par Pierre Audesse et Denis Giguère

Août 2001

Domaine d'application

- A- Lisier solide
- B- Lisier brut
- C- Fraction liquide, etc.

Matériel

- Four micro-ondes Sylvania de 1 250 watts
- Balance analytique d'une précision de $\pm 0,01$ g
- Contenant jetable en styrofoam d'une capacité de 500 ml
- Contenant calibré d'un volume de 25 ml
- Contenant en plastique d'une capacité de 100 ml
- Contenant d'un litre en plastique à large ouverture

Mode opératoire

A- Lisier solide

- 1) Dans un contenant en plastique calibré de 100 ml préalablement taré (mise à zéro), prélever un volume connu de lisier solide. Peser et calculer la densité selon la formule suivante :

$$D = \frac{\text{Poids lisier}}{\text{Volume du lisier}}$$

- 2) Peser un contenant en styrofoam. Transvider le compost solide dans ce même récipient et peser.
- 3) Introduire dans le four à micro-ondes à puissance maximale durant exactement 3 minutes. Sortir le contenant et agiter à l'aide d'une spatule. Introduire de nouveau dans le four micro-ondes et faire chauffer exactement 2 minutes.
- 4) Retirer du four et peser.
- 5) Déterminer le pourcentage de matière sèche de la façon suivante :
$$\% \text{ M.S.} = \frac{\text{poids sec} - \text{contenant vide}}{\text{poids frais} - \text{contenant vide}} \times 100$$

B et C- Lisier brut et fraction liquide

- 6) À l'aide d'un contenant calibré de 25 ml et préalablement taré, prélever la quantité maximale de lisier (jusqu'à ras bord du contenant calibré). Noter le poids obtenu et calculer la densité selon la formule suivante :
$$D = \frac{\text{poids du lisier}}{\text{Volume du lisier (25 ml)}}$$
- 7) Peser un contenant en styrofoam. Transvider le lisier liquide (25 ml) dans le contenant de styrofoam et peser.
- 8) Introduire dans le four à micro-ondes à puissance maximale durant exactement 5 minutes. Retirer du micro-ondes et peser. Effectuer le calcul du pourcentage de matière sèche (voir point 5).

N.B. Dans certains cas, il peut y avoir un débordement d'échantillons lors du séchage au micro-ondes. Il faut alors diminuer la prise d'essai.

Annexe II

**Méthode standard afin d'évaluer la performance des séparateurs solide/liquide
pour du lisier de porcs**

MÉTHODE STANDARD AFIN D'ÉVALUER LA PERFORMANCE DES SÉPARATEURS SOLIDE/LIQUIDE POUR DU LISIER DE PORCS



Par:

Stéphane Godbout, ing., agr., Ph. D.
Daniel-Yves Martin, ing., agr., M. Sc.
Roch Joncas, ing., agr., M. Sc.
Frédéric Rompré, stagiaire

Juillet 2002

Introduction

Pendant quelques décennies, les producteurs agricoles du Québec n'ont cessé d'augmenter la taille de leur cheptel et d'agrandir leurs installations, principalement dans les secteurs porcins et de la volaille. Dans la production porcine, selon Fortin et al (1996) la production annuelle était de 4 392 000 porcs en 1981. En 2001, selon Statistique Agriculture Canada, le niveau de production a atteint plus de 7 200 000 porcs.

Cette augmentation associée à la nouvelle législation (basée sur l'équilibre du phosphore), aura à court terme un effet sur la gestion des lisiers. En fait, pour beaucoup de fermes, le problème principal devient l'excès de phosphore.

Ces nouvelles pratiques peuvent mener à la mise en oeuvre d'un traitement complet ou partiel de l'excédent d'engrais. Le phosphore étant principalement dans le solide, plusieurs producteurs sont intéressés à séparer les phases solides et liquides pour exporter le phosphore à l'extérieur de la ferme. Ainsi, la partie liquide, chargée d'azote, pourra être utilisée pour la fertilisation dans les champs.

Cependant, avant la mise en place d'un système de gestion avec séparation, l'établissement d'un bilan agronomique à la ferme est essentiel. Pour ce faire, il est primordial de connaître exactement et de façon fiable le contenu de chacune des fractions séparées. Cependant, en raison de la variabilité du lisier, les fluctuations temporelles des équipements et la nécessité d'une grande précision des mesures, l'évaluation des technologies de séparation est délicate.

Par conséquent, il est fortement souhaité que soit implanté un essai normalisé dans le milieu agricole pour fournir des informations uniformes aux différents professionnels. Une fois regroupées, ces informations permettront l'émission de certificats de performance, comparables entre eux pour chaque technologie de séparation sur le marché.

Buts et objectifs

Le but de cette norme est de fournir une information complète et uniforme afin de permettre un choix judicieux parmi les différentes technologies de séparation. Les objectifs spécifiques sont :

- Développer une méthode standard afin d'être capable de comparer les technologies de séparation diverses afin de faciliter la sélection et l'utilisation à la ferme.
- Suggérer un modèle de certificat attestant la véracité des performances de séparation.

Matériels et méthodes

Description générale

L'essai normalisé estime la performance des équipements en réalisant un bilan massique des éléments évalués. Donc, par conséquent, l'évaluation précise de la masse des éléments étudiés dans chacune des phases du procédé est phase critique de l'essai. De plus, afin de réaliser une évaluation crédible, chaque étape de réalisation doit être préparée et réalisée rigoureusement.

Dans un premier temps, les montages et dispositifs expérimentaux doivent être mis en place. Celui-ci comporte un réservoir pour l'intrant d'une capacité suffisante pour une durée d'expérimentation minimale de 20 minutes. Ce réservoir devrait idéalement être muni d'un système de mesure de la masse. Notez qu'il faut prévoir une hauteur de 900 mm dans le réservoir pour que les équipements de brassage et de pompage fonctionnent adéquatement. Les réservoirs de réception des deux phases devraient être également équipés d'une balance ou de cellules de charge pour peser leur contenu.

Avant de commencer l'expérience, un pré-test doit être fait. Durant ce pré-test, il est important d'avoir une approximation de l'efficacité de séparation. Cette approximation est basée sur l'analyse *in situ* de la matière sèche (voir la section appropriée) et permet d'ajuster les différents paramètres du séparateur solide/liquide testé. Cet ajustement est fait en fonction des résultats obtenus et projetés par le constructeur et le producteur agricole.

Pour le test normalisé, il est recommandé de faire trois répétitions pour chacun des trois types de lisier ayant des teneurs en matière sèche différentes comprises entre 2 et 11 % (par exemple 3 %, 6 % et 9 %). Ceci dans le but de représenter le plus possible les conditions de lisier en fosse et en pré-fosse.

Pour chaque essai, le lisier brut doit être échantillonné une fois et 3 fois pour les deux fractions séparées (voir la section **échantillonnage**). Pour chaque type de lisier, il est recommandé de répéter trois fois. En conséquence, 19 échantillons seront à récolter par type de lisier. Donc, au total, en testant trois types de lisier

(entre 2 et 11 % de matière sèche), il faudra prélever 57 échantillons.

Durant les différents tests, le voltage et le courant sont mesurés à l'aide d'une pince ampère-métrique. Ces mesures seront utiles pour calculer la consommation d'énergie du séparateur mécanique.

Les équipements doivent être nettoyés après chaque essai afin d'éviter les interférences entre les essais (contamination par les bactéries, etc.).

Échantillonnage

Durant l'essai d'une durée minimale de 20 minutes, si le lisier brut est suffisamment et continuellement brassé, un seul échantillon peut être pris dans le réservoir au début de l'essai. Au cours de l'essai, trois échantillons doivent être pris pour chaque fraction séparée (solide et liquide) dans un intervalle régulier. Comme expliqué précédemment, si trois types de lisier sont séparés, il sera peut être nécessaire de prendre plus de 57 échantillons. Le tableau 1 illustre la numérotation des échantillons pour un type de lisier. Les échantillonnages des différentes phases doivent être faits comme suit :

- Débuter le test et attendre au moins 5 minutes avant de prendre des échantillons;
- À toutes les 7 minutes (par exemple), une quantité de 200 ml est échantillonnée pour chaque phase;
- Dès leur prise, les échantillons sont conservés à une température de 4°C;
- Les échantillons doivent être transportés dans un laboratoire certifié dans un délai de 24h et peuvent être entreposés pendant 1 mois à une température de 4°C. Si le temps d'attente est supérieur à 1 mois, les

échantillons doivent être congelés. Cependant, la DCO et la DBO doivent être fait sur les échantillons frais n'ayant pas été congelés, soit moins de 48 heures après leur prélèvement.

Tableau 1 : Numérotation des échantillons en fonction des essais

Lisier	Répétition 1			Répétition 2			Répétition 3		
	T = 7	T = 14	T = 21	T = 7	T = 14	T = 21	T = 7	T = 14	T = 21
Intrant (lisier brut)									
B - 1									
Extrants (phases séparées)									
Liquide	R1T7-L	R1T14-L	R1T21-L	R2T7-L	R2T14-L	R2T21-L	R3T7-L	R3T14-L	R3T21-L
Solide	R1T7-S	R1T14-S	R1T21-S	R2T7-S	R2T14-S	R2T21-S	R3T7-S	R3T14-S	R3T21-S

T : temps en minutes pour la prise d'échantillon

Analyses de laboratoire

Les échantillons de lisier brut et des deux fractions prélevées lors des essais doivent être analysés par un laboratoire certifié et reconnu. Des analyses sur les éléments présentés au tableau 2 devraient être réalisées.

Tableau 2 : Caractéristiques analysées au laboratoire

Description	Abréviation	Unité de mesure
Densité	ρ	Kg/m ³
Matière sèche	MS	%
Azote totale	N _{totale}	% BS
Azote ammoniacale	N-NH ₄	Kg/tonne (Base Humide)
Phosphore	P	Kg/tonne (Base Humide)
Potassium	K	Kg/tonne (Base Humide)
Cuivre	Cu	Kg/tonne (Base Humide)
Chrome	Cr	Kg/tonne (Base Humide)
Zinc	Zn	Kg/tonne (Base Humide)
Manganèse	Mn	Kg/tonne (Base Humide)
Calcium	Ca	Kg/tonne (Base Humide)
Magnésium	Mg	Kg/tonne (Base Humide)
Demande biologique en oxygène	DBO ₅ *	mg/L
Demande chimique oxygène	DCO*	mg/L

* Ces deux caractéristiques ne sont pas obligatoires, mais peuvent être utiles si les phases séparées sont destinées à un traitement.

Précision des mesures

Les réservoirs de lisier brut et des fractions liquide et solide doivent être équipés de cellules de charge ou avec un système de pesée certifié. La masse contenue dans chacun des réservoirs devra être évaluée à $\pm 0,5\%$. Si la quantité du lisier brut et de la partie liquide est évaluée par un débitmètre, ce dernier devrait avoir une précision de l'ordre de 0,1 à 1%. Mais pour le lisier brut, un débitmètre utilisant une technologie sans turbine ou hélice est nécessaire puisque les solides dans le lisier brut rendent les débitmètres mécaniques conventionnels inutilisables.

L'énergie électrique consommée par l'équipement doit être mesurée à l'aide d'une pince ampère-métrique ayant une précision de ± 1 VA. Cet équipement sera utile pour calculer les coûts d'opération de l'appareil.

Le laboratoire sélectionné devrait être en mesure d'analyser les différentes caractéristiques avec suffisamment de précision. Le tableau 3 présente la précision recommandée pour certains paramètres.



Tableau 3 : Erreur par caractéristiques du lisier

Caractéristiques	Erreur
• Densité	8 %
• Matière sèche	5 %
• Concentration éléments analysés	5 %

Analyse de la matière sèche in situ (méthode du micro-onde)

Cette méthode d'évaluation a été développée afin de déterminer le pourcentage de matière sèche contenu dans chaque phase, directement sur le site d'expérimentation. Cette méthode, développée par les services de laboratoire de l'IRDA, mise sur l'emploi d'un four micro-onde pour sécher sur place des échantillons (voir Annexe).

Afin de déterminer la validité de la méthode, les valeurs mesurées sur le terrain et les valeurs déterminées par les techniques normalisées du laboratoire de l'IRDA ont été comparées. La figure 1 expose la relation obtenue entre les deux méthodes d'évaluation. De manière générale, les mesures terrains sous-estiment d'environ 17 % les valeurs obtenues au laboratoire. La mesure terrain implique donc l'emploi d'un facteur de correction de 1,17 pour faire converger les résultats vers la réalité. Le mode opératoire est présenté en annexe.

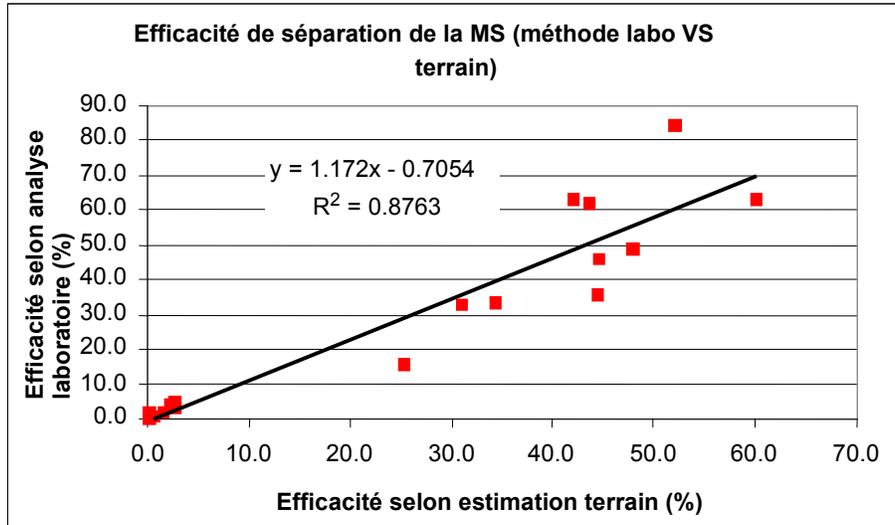


Figure 1: Relation entre les méthodes d'évaluation terrain et laboratoire pour la détermination de la matière sèche

Résultats et analyses

Efficacité de séparation

Dans un premier temps, une fois les résultats d'analyse obtenus, pour chaque type de lisier, les résultats des analyses du tableau 2 sont moyennés arithmétiquement. Cependant, s'il y a une trop grande variation entre les répétitions, il est recommandé d'augmenter le nombre d'échantillons, soit par exemple, en réduisant les intervalles de collecte (à 4 ou 5 minutes). De plus, Steel *et al.* (1997) ont défini plusieurs critères et

réalisés quelques exemples pouvant être suivis pour définir le nombre optimal de répétitions à faire. Cet exercice permet de déterminer la meilleure infrastructure pour le traitement et les expérimentations.

L'efficacité de séparation d'un constituant particulier est exprimée en terme de pourcentage de constituants enlevés dans le lisier brut. L'équation [1] permet de déterminer cette efficacité lorsque les concentrations du constituant analysé sont formulées en fonction de la matière sèche :

$$Eff(\%) = \frac{M_{Solide} \times C_{Solide}}{M_{Lisier} \times C_{Lisier}} \times 100 \quad [1]$$

où :

Eff.: Efficacité de séparation (%)

M_{Solide} : Masse humide du matériel solide (kg)

C_{solide} : Concentration de l'élément analysé (ex.: N, P, K...) dans le matériel solide (mg/kg)

M_{Lisier} : Masse humide du lisier brut (kg)

C_{lisier} : Concentration de l'élément analysé (ex.: N, P, K...) dans le lisier brut (mg/kg)

En substituant les valeurs de la matière sèche aux valeurs C_{solide} et C_{lisier} , l'équation [1] permet d'évaluer l'efficacité d'extraction de la matière sèche. En fonction de chaque caractéristique du lisier analysé, l'efficacité d'extraction est calculée de la même façon.

Si les quantités de lisier brut et de la phase liquide sont évaluées par débit,

l'équation [2] peut être utilisée. Celle-ci transforme les débits volumiques en débits massiques afin de permettre le calcul de l'efficacité sur une base massique. Comme pour l'équation [1], en fonction de chaque caractéristique, l'efficacité peut être calculée. Cependant, l'approche directe par la masse est à privilégier (utilisation d'équipement de mesure de masse).

$$Eff(\%) = \frac{\rho_{Solide} \times \%Mat.Sec_{Solide} \times Q_{Solide} \times C_{Solide}}{\rho_{Lisier} \times \%Mat.Sec_{Lisier} \times Q_{Lisier} \times C_{Lisier}} \times 100 \quad [2]$$

où :

ρ : Masse volumique des différentes phases (kg/m³)

Q : débit en m³/heure des différentes phases

Estimation de l'erreur

En recherche, les erreurs de mesure sont inhérentes à la prise de données. La somme des erreurs en valeur absolue donne l'erreur maximale. Toutefois, selon Jordan et Sewell (1983), il est possible de déterminer une valeur plus réaliste de

l'erreur. En fait, l'erreur reliée à l'expérimentation a souvent plus d'une composante. En considérant une fonction F ayant deux composantes, x et y par exemple, l'erreur probable de cette fonction, ci-après appelée ΔF , est donnée par:

$$\Delta F = \sqrt{\left(\frac{\partial F}{\partial x} \Delta x\right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \Delta y\right)^2} \quad [3]$$

où Δx et Δy sont les erreurs reliées aux lectures de x et y .

Les différentes erreurs ΔF sont les erreurs reliées à chacune des analyses ou mesures.

Émission du certificat

À la suite des essais de séparation standardisée, les analyses de l'intrant (lisier brut) et des extrants (lixiviat et phase solide) sont faites par un laboratoire certifié. Il est donc possible de calculer l'efficacité de l'appareil à l'aide de la formule [1] ou [2]. Ensuite, un certificat est émis par l'organisme responsable de l'essai normalisé, à la fin

du test, attestant l'exactitude des résultats. Ainsi, les parties concernées lors de la mise en marché, de la vente et de l'acquisition de l'appareil seront assurées que la performance du séparateur solide/liquide est vérifiée par une tierce partie crédible.

De façon générale et non exclusive, le certificat comprend les informations suivantes :

1. Numéro du test
2. Date du test
3. Date d'émission du certificat
4. Responsable de l'essai
5. Nom du promoteur, du distributeur et du fabricant
6. Description de la technologie
 - 6.1. Principe;
 - 6.2. Source d'alimentation et puissance;
 - 6.3. Dimension (hauteur, largeur, longueur et poids);
 - 6.4. Limites d'utilisation : débit maximal et minimal, pourcentage de matière sèche admissible ;
7. Résultats des tests standard sous forme de tableau d'efficacité

MS* (%)	Débit (m ³ /h)	Vitesse rotation (rpm)	Efficacité d'extraction en fonction du lisier brut* (%)						
			N	P	K	Ca	Mg	Al	MS

* Erreur de 5 %

MS: matière sèche

Également, le certificat contient des mises en garde, comme par exemple: « Il est fortement recommandé de ne pas utiliser un lisier dont l'âge excède 30 jours avec ce type de séparateur ».

Conclusion

Le moratoire émis au Québec est basé sur le bilan des nutriments à la ferme. Pour plusieurs producteurs agricoles, le phosphore est devenu l'élément contraignant rendant l'application de lisier sur les champs limitée. De ce fait, la technologie de séparation s'est imposée d'elle-même pour réduire la concentration de cet élément sur les sols québécois.

Avec l'application de la méthode de détermination de la matière sèche directement sur le site d'expérimentation, les séparateurs pourront être adéquatement ajustés avant la réalisation du test normalisé. Ces ajustements permettront d'évaluer les équipements selon les spécifications du fabricant éliminant ainsi les préjudices possibles.

Par la mise sur pied d'une méthode standard, il sera désormais possible de comparer différents types de séparateurs mécaniques solide/liquide. Par exemple, la comparaison entre un séparateur centrifuge et un séparateur de type vis sans fin avec pression sera aisée, car l'efficacité sera calculée pour les deux séparateurs, à l'aide de la même équation.

Pour valider la méthode standard développée, trois types de séparateurs ont été testés. Ces essais ont démontré que l'approche suggérée permettait de mesurer adéquatement et avec suffisamment de précision l'efficacité des séparateurs mécaniques.

De plus, avec l'émission du certificat offrant une garantie tant aux fournisseurs

qu'aux consommateurs, l'achat et la vente d'équipements de séparation seront plus transparentes.

Références

Fortin, R., D. Gilbert, D.M. Gouin et L. Pelletier. 1996. Annuaire statistique porcin québécois. GREPA - CDPQ, Université Laval, 179 pages.

Godbout, S., R. Joncas, D.Y. Martin, S. Richard, B.Beaulieu et Marc Trudelle. 2002. Évaluation des performances techniques des séparateurs mécaniques à lisier et de leur rapport efficacité/coût. Rapport final, Institut de Recherche et de développement en agroenvironnement inc.

Jordan, K.A. et J.I. Sewell, 1983. Analysis of the problem. Instrumentation and measurement for environmental sciences. B.W. Mitchell. Second edition. American Society of Agricultural Engineering, St-Joseph, Michigan, pp. 1-01 to 1-04.

Statistique Canada. 1996. Recensement de l'agriculture.

Steel, R.G.D., J.H. Torrie et D.A. Dickey. 1997. Principles and procedures of statistics – A biometrical approach. Third edition. McGraw-Hill. 666 pages.

Annexe

Dans la présente annexe, sont résumés les principales étapes de manipulation de la méthode de détermination de la matière sèche dans les trois phases (lisier brut, lixiviat et solide). Pour de plus amples renseignements, se référer à Godbout et al. (2002).

Matériels nécessaires :

- Four micro-ondes de type « Sylvania » d'une puissance de 1250 Watts (sans plateau rotatif de verre)
- Balance analytique d'une précision de 0,01 g
- Contenant jetable en « styromousse » d'une capacité de 500 ml
- Contenant calibré d'un volume de 25 ml
- Contenant en plastique d'une capacité de 100 ml
- Contenant d'un litre en plastique à large ouverture

Phase solide séparée

1. Dans le contenant en plastique de 100 ml, prélever un volume connu de lisier solide.
2. Calculer la densité à l'aide de la formule suivant

$$D = \frac{\text{Poids du lisier}}{\text{Volume du lisier}} \text{ (g/ml)} \quad [A-1]$$

3. Prélever un échantillon dans le contenant en « styromousse », introduire dans le four micro-onde pendant 3 minutes à puissance maximale. Sortir le contenant et l'agiter et chauffer de nouveau pendant 2 minutes.
4. Déterminer le pourcentage de matière sèche de la façon suivante :

$$\%M.S. = \frac{\text{Poids sec} - \text{contenant vide}}{\text{Poids frais} - \text{contenant vide}} \times 100 \quad [A-2]$$

Lisier brut et lixiviat

1. Dans le contenant de 25 ml, prélever un volume de lisier (jusqu'à ras bord)
2. Calculer la densité à l'aide de la formule suivante :

$$D = \frac{\text{Poids du lisier}}{\text{Volume du lisier (25 ml)}} \text{ (g / ml)} \quad [A-3]$$

3. Transvider l'échantillon dans le contenant en « styromousse », introduire dans le four micro-ondes pendant exactement 5 minutes à puissance maximale. Sortir le contenant et le peser.
4. Calculer le pourcentage de matière sèche à l'aide de la formule [A-2].

N.B. S'il y a débordements, diminuer la prise d'échantillons. De plus, il faut tenir compte de la masse du contenant vide.

Annexe III

Technologies reliées au traitement des lisiers et résultats sur les séparateurs



Communiqué pour diffusion immédiate

JOURNÉE PORTE OUVERTE SUR LES

SÉPARATEURS MÉCANIQUES DE LISIER

Les producteurs et productrices agricoles sont invités à une journée porte ouverte sur les séparateurs mécaniques de lisiers, le mardi 25 septembre.

L'Association de gestion des engrais organiques (AGEO) et l'Institut de Recherche et de Développement en Agroenvironnement (IRDA) accueilleront les participants dès 13 h sur le site de la Ferme Pasquet au 1211, Grand Rang St-François à Saint-Pie.

Les producteurs assisteront à une démonstration de trois séparateurs à lisier en action et auront la possibilité de discuter avec les investigateurs du projet de toutes questions concernant ces appareils. L'objectif de ce projet est de fournir aux producteurs des informations justes et comparatives obtenues par des essais standardisés afin de pouvoir faire un choix éclairé dans cette méthode alternative de gestion des lisiers.

Les personnes intéressées doivent s'inscrire à l'AGEO au (450) 778-3080 ou, sans frais au 1 (800) 892-3080.

- 30 -

Source : Marc Trudelle, agr., M.Sc., Directeur de l'AGEO

Date : 13 septembre 2001