

Guide des technologies de traitement de lisier de porcs

RAPPORT FINAL

N/Réf. : R99-07-01 (60ET)

Octobre 2010

Révision : 00



Guide des technologies de traitement de lisier de porcs

N/Réf. : R99-07-01 (60ET)

BPR INC.
4655, boul. Wilfrid-Hamel
Québec (Québec) G1P 2J7

Téléphone : (418) 871-8151
Télécopieur : (418) 871-9625

Préparé par :

Sylvain Pigeon, ing., M.Sc.

Octobre 2010 / Rév. 00

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE.....	1
1. INTRODUCTION	2
2. DÉMARCHE PRÉALABLE AU CHOIX D'UNE CHAÎNE DE TRAITEMENT DE LISIER	4
3. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES RELIÉS AU TRAITEMENT	6
4. DÉFINITION DES PARAMÈTRES DES EFFLUENTS PERTINENTS AU TRAITEMENT	8
5. CARACTÉRISATION DU LISIER DE PORCS AU QUÉBEC	13
6. CLASSIFICATION DES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT	16
PROCÉDÉS PHYSICO-CHIMIQUES	18
7. SÉPARATION MÉCANIQUE	19
8. ISOLATION SOUS LATTES	25
9. DÉCANTATION.....	30
10. FLOTTATION	37
11. PRÉCIPITATION	41
PROCÉDÉS BIOLOGIQUES.....	45
12. BOUES ACTIVÉES	47
13. BIOFILTRATION	52
14. COMPOSTAGE	58
15. PROCÉDÉS DE DIGESTION ANAÉROBIE.....	66
16. CHAÎNES DE TRAITEMENT.....	72
17. RÉFÉRENCES	75
18. GLOSSAIRE.....	80

LISTE DES TABLEAUX

- Tableau 1 Quelques caractéristiques typiques de différents effluents
- Tableau 2 Différentes techniques de séparation mécanique
- Tableau 3 Performances typiques de quelques séparateurs.
- Tableau 4 Taux de capture de certains paramètres physico-chimiques.
- Tableau 5 Concentration de quelques éléments dans les co-produits de l'isolation sous latte.
- Tableau 6 Performances types de la décantation centrifuge.
- Tableau 7 Performances attendues des procédés de flottation du lisier de porcs.
- Tableau 8 Répartition de différents composants du lisier dans les co-produits de la précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien pour le procédé AVDA (Coillard, 1996).
- Tableau 9 Concentration de différents composants du lisier dans les co-produits de la précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien pour le procédé AVDA (Coillard, 1996).
- Tableau 10 Comparaison de l'utilisation de l'énergie de la matière organique pour les procédés biologiques
- Tableau 11 Proportion de certains paramètres dans les co-produits du traitement par boues activées du lisier brut (source : Béline et al., 2003).
- Tableau 12 Quantité de co-produits et concentration de certains paramètres dans les co-produits solides du traitement par boues activés (source : Béline et al., 2003).
- Tableau 13 Bilan massique de certains paramètres pour la biofiltration de 1 000 kg de lisier (tiré de MDDEP, 2006a et 2006b).
- Tableau 14 Taux d'enlèvement pour différentes étapes de la biofiltration des lisiers et pour l'ensemble du procédé (tiré de MDDEP, 2006a et 2006b).
- Tableau 15 Rendement épuratoire pour l'air de ventilation des biofiltres (MDDEP, 2006a et 2006b).
- Tableau 16 Caractéristiques des principales technologies de compostage (Recyc-Québec, 2008).
- Tableau 17 Caractéristiques types des substrats le plus couramment employés.
- Tableau 18 Évolution du compost et valeur de différents paramètres pour le compostage de 1 000 kg de lisier de porcs obtenus pour quelques projets.
- Tableau 19 Répartition de certains paramètres entre les boues déshydratées et le lisier traité par digestion anaérobie en proportion du lisier brut.
- Tableau 20 Production de méthane et d'énergie par la méthanisation d'un mètre cube de lisier pour deux lisiers de charge organique différente.
- Tableau 21 Liste des principales chaînes de traitement de lisier en application au Québec

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 Relation entre les différentes composantes des matières solides
- Figure 2 Répartition de l'azote et du phosphore dans un lisier brut âgé
- Figure 3 Concentration de différents paramètres du lisier selon la fraction de la fosse prélevée (fraction 1 : début de vidange; fraction 6 : fin de vidange) (adapté de Seydoux et al., 2005).
- Figure 4 Procédé de traitement généralement préconisé selon le diamètre des particules de l'effluent.
- Figure 5 Quelques techniques de séparation de lisier : (a) tamis statique incliné; (b) presse à vis; (c) filtre rotatif sous vide; (d) presse à rouleaux.
- Figure 6 Isolation sous lattes avec dalot en « V ».
- Figure 7 Isolation sous lattes avec courroie perforée.
- Figure 8 Variation de quelques paramètres du lisier en fonction de la profondeur dans une fosse (source : Fertior, 1996).
- Figure 9 Décanteur centrifuge de marque Pieralisi.
- Figure 10 Coupe longitudinale schématisée d'un décanteur centrifuge à axe horizontal avec alimentation à contre-courant
- Figure 11 Vue générale d'un flottateur à air dissous (source : Horizon Environnement Technologies).
- Figure 12 Vue des racleurs sur le dessus du flottateur (source : Horizon Environnement Technologies).
- Figure 13 Schéma de procédé de Biofertile^{MD} C (source : Envirogain)
- Figure 14 Réacteur d'un procédé aérobie par boues activées Biofertile-F (source : CDPO).
- Figure 15 Principe de fonctionnement d'un biofiltre pour le traitement de l'air et d'un effluent (Source : Biosor).
- Figure 16 Schéma d'écoulement d'un procédé de traitement de lisier par biofiltration (source : Biosor^{MD}).
- Figure 17 Réactions impliqués dans le procédé de compostage (Potvin, 1988).
- Figure 18 Biodégradabilité de quelques substrats (Mustin, 1987).
- Figure 19 Évolution de la température du compost selon la biodégradabilité du substrat (Mustin, 1987).
- Figure 20 Les étapes du procédé de compostage du lisier de porcs.
- Figure 21 Schéma simplifié du procédé de méthanisation.
- Figure 22 (a) Vue de trois bioréacteurs; (b) Vue de la torchère.
- Figure 23 Répartition de l'énergie produite par cogénération du biogaz.

PRÉFACE

Le présent guide sur les technologies de traitement se veut d'abord un document de référence sur les différents procédés et techniques qui sont actuellement en utilisation au Québec. Il se limite aux procédés développés ou adaptés spécifiquement pour le traitement du lisier de porcs. En plus de présenter les grands principes qui sous-tendent les différents procédés de traitement des lisiers, plusieurs aspects plus généraux relatifs à la gestion des lisiers sur les fermes porcines du Québec y sont abordés. La présentation de ces aspects est essentielle pour bien saisir les implications découlant de l'option du traitement comme pratique de gestion du lisier et pour faire un choix éclairé du procédé qui sera retenu, le cas échéant.

Parmi ces différents sujets, notons :

- les démarches préalables au choix d'une technologie de traitement ;
- la définition des principaux paramètres du lisier pertinents au traitement ;
- la caractérisation des lisiers de porc au Québec.

Le guide s'adresse principalement aux conseillers des producteurs de porcs, aux producteurs eux-mêmes et aux différents intervenants de ce secteur de production. Il constitue un outil qui leur permettra de mieux comprendre les principes qui supportent les différents procédés de traitement, d'apprécier les similitudes et les différences entre les caractéristiques et les performances attendues des systèmes de traitement et de porter un regard plus critique sur les procédés qui leur seront offerts. En cela, le Guide vient en support aux fiches techniques sur les technologies de traitement produites par le Groupe de travail « Transfert technologique » de la Table filière porcine.

Nous tenons donc à remercier Maryse Trahan, agr., Sylvain Beauregard, ing., M.Sc. et Emmanuel Buon, agr. pour leur contribution dans l'établissement de l'orientation donnée au Guide. Par ailleurs il importe de mentionner également que la réalisation de ce guide a été rendue possible grâce à une contribution financière de la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ) et du Conseil pour le Développement de l'Agriculture du Québec (CDAQ).

1. INTRODUCTION

La spécialisation et la concentration géographique de la production porcine ont contribué à l'efficacité globale de cette filière de production au cours des ans. Ce mouvement a cependant engendré des pressions environnementales importantes dans les régions du Québec où elle s'est le plus développée. Afin de contrôler ces pressions, le Ministère de l'Environnement du Québec édictait, en juin 1981, le premier règlement encadrant de façon spécifique la production animale, soit le *Règlement sur la prévention de la pollution des eaux par les établissements de production animale*. Ce règlement identifiait déjà certaines régions du Québec où l'intensité de la production animale était telle qu'une attention particulière devait leur être apportée. Dans cette foulée, le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec mettait sur pied un groupe de travail sur l'utilisation agricole des fumiers qui a conduit à la publication du Manuel de gestion agricole des fumiers. En plus de faire le point sur l'utilisation conventionnelle du lisier par leur épandage, ce document identifiait quelques technologies de traitement qui pourraient éventuellement répondre aux besoins des entreprises agricoles.

Au cours des années '80 plusieurs projets de traitement de lisier voient le jour dont certains sont financés en partie par le *Programme d'aide à la recherche et au développement en environnement (PARDE)*. Ces projets ont touché plusieurs aspects du traitement, de la séparation solide – liquide aux procédés biologiques. Parmi ces projets, notons les essais effectués par l'Université du Québec et l'Institut Armand-Frappier sur la digestion aérobie thermophile (Procédé Fuchs), la digestion anaérobie par Agriculture Canada, la récupération de l'azote ammoniacal par *stripping* et lavage acide, le polissage par osmose inverse. Quelques-uns de ces essais ont été réalisés dans le sillon du projet pilote de Saint-Elzéar, projet conduit par le Ministère de l'Environnement du Québec.

Parallèlement à ces essais de traitement, différentes études indépendantes, réalisées entre 1990 et 2000, faisaient ressortir la persistance des surplus régionaux de fumiers (LGL, 1990a; LGL, 1990b; BPR, 1990; BPR, 1995a; BPR, 1995b; etc.). Ces surplus témoignaient du déséquilibre entre la production de fertilisants par le cheptel et les besoins ou les prélèvements des cultures. Il faut noter que les pratiques agricoles, les données de base ainsi que la méthodologie même d'évaluation de ces bilans ont beaucoup évolué durant ces années. Certaines études montrent également que même en envisageant des scénarios de réduction des charges à la ferme, il subsistait des excédents dans certaines régions. C'est donc sur cette base que le développement de technologies de traitement s'est poursuivi.

Le traitement d'un effluent tel que le lisier consiste à modifier ses caractéristiques par des moyens techniques en vue de pouvoir gérer les produits résultants de manière différente tout en respectant les contraintes agronomiques et environnementales. Ces modifications peuvent affecter un ou plusieurs paramètres de l'effluent, par exemple l'azote, le phosphore, le taux de matière sèche ou la demande biochimique en oxygène. Par ailleurs, un traitement affecte généralement plus d'un type de paramètres et ce, à divers degrés. Ces techniques font intervenir des moyens physiques (décantation, séparation de phases, etc.), chimiques (précipitation, acidification, etc.) ou biologiques (boues activées, biofiltration, digestion anaérobie, etc.), ces différents moyens pouvant être utilisés seuls ou en combinaison. De façon générale et selon le mode d'action envisagé, le traitement peut avoir comme effet de modifier :

- La consistance physique en vue d'augmenter la concentration de ses principaux constituants dans une ou plusieurs phases issues du traitement, et/ou
- La composition chimique par élimination de ses éléments, particulièrement l'azote et la matière organique, ou par précipitation.

Il faut remarquer que d'un point de vue technique, l'épandage du lisier constitue une forme de traitement, dit agronomique, qui allie plusieurs procédés. En effet, on y retrouve entre autres, la filtration, la digestion aérobie, la digestion anaérobie et l'adsorption; les récoltes sont alors considérées comme des co-produits du traitement. Toutefois, dans le cadre du présent guide, l'épandage sera plutôt considéré comme une activité de production qui utilise les effluents d'élevage, traités ou non, comme intrants.

Par ailleurs, il est bon de préciser l'utilisation qui sera faite dans le guide de certains termes. Un procédé est défini principalement par le mode d'action du traitement sur l'effluent. On réfère alors à des procédés de séparation mécanique, de digestion anaérobie, de boues activées, etc. La technologie réfère plutôt à une application particulière d'un procédé donné. Par exemple, le procédé de compostage peut être réalisé par des technologies de compostage en andain, en cellules ou en réacteur. Le système de traitement et la chaîne de traitement sont équivalents. Il s'agit dans ce cas de l'agencement d'un ou de plusieurs procédés qui sont mis ensemble afin de répondre à un objectif particulier de traitement. La filière de traitement est une organisation beaucoup plus large qu'un simple système de traitement. Elle inclut les systèmes de traitement individuels de plusieurs entreprises mais également les organisations de transformation et de commercialisation des co-produits issus de ces systèmes individuels.

Afin d'alléger le texte, un glossaire est fourni à la fin du document précisant la définition retenue des éléments écrits en caractères gras italiques dans le texte.

2. DÉMARCHE PRÉALABLE AU CHOIX D'UNE CHAÎNE DE TRAITEMENT DE LISIER

Avant d'opter pour le traitement comme mode de gestion de ses lisiers, chaque entreprise devrait s'engager dans une démarche structurée qui lui permettra de faire des choix éclairés à cet égard. Cette démarche commence obligatoirement par la réalisation d'un diagnostic détaillé de l'entreprise relativement à la gestion des fertilisants, de l'alimentation des animaux à l'épandage des lisiers produits. Les résultats découlant du diagnostic permettent de déterminer si l'entreprise est en situation de surplus de fertilisants et si tel est le cas, ils précisent la nature et l'importance de ce surplus (type de fumier, volume, quantité de fertilisants N et P). Le Plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF) constitue l'outil de base pour effectuer ce diagnostic.

Bien que le diagnostic porte d'abord sur la situation actuelle de la ferme, des prévisions sur l'évolution de l'entreprise (taille, type d'animaux, structure de production, etc.) doivent être élaborées afin de s'assurer que le diagnostic sera valable pour plusieurs années. Il doit tenir compte prioritairement de la gestion des fertilisants, soit la quantité de fertilisants générés par les animaux de l'entreprise et les besoins prévisibles des cultures, en considérant notamment le niveau de fertilité du sol, les antécédents cultureux et les modalités d'apport des fumiers. Un diagnostic de l'entreprise relativement aux odeurs produites par les opérations de la ferme devrait également être complété, surtout si les sites de production et d'épandage sont à proximité de présence ou d'activités humaines.

Si le diagnostic révèle des surplus de fertilisants, l'analyse des solutions comprend nécessairement les trois étapes suivantes :

- La réduction des rejets à la source ;
- L'augmentation des besoins des cultures ;
- Si le problème n'est pas résolu, le choix doit se porter sur une chaîne de traitement adaptée.

2.1 RÉDUCTION DES REJETS

La réduction des rejets à la source offre souvent le meilleur rapport efficacité / coût en ce qui concerne les charges fertilisantes du lisier et son volume. Les principales méthodes reconnues de réduction à la source des charges sont les suivantes :

- Amélioration de la conversion alimentaire par l'amélioration génétique, un statut sanitaire plus élevé et des conditions d'élevage optimales (température, humidité, vitesse d'air, poussières, etc.) ;
- Modification du mode d'alimentation au sol vers l'alimentation en trémie et de la moulée en farine vers la moulée cubée ;
- Augmentation du nombre de formulations distinctes ;
- Ajout de phytase et d'acides aminés de synthèse (AAS).

De même, les principales méthodes de réduction du volume sont :

- Entretien et/ou ajustement des équipements d'alimentation en eau et de lavage des salles ;
- Utilisation de trémies-abreuvoirs ou de bols en remplacement des tétines conventionnelles ;
- Installation d'une toiture sur la fosse à lisier.

2.2 AUGMENTATION DES BESOINS DES CULTURES

Dans un second temps, si le bilan des fertilisants demeure excédentaire, il faut examiner les possibilités d'accroître globalement les besoins des cultures. Cette augmentation des besoins des cultures peut être obtenue par:

- L'optimisation de la fertilisation organique (réduction de l'utilisation d'engrais minéraux) ;
- La modification à la régie des cultures (choix des cultures et assolement) ;
- L'augmentation de la superficie d'épandage (achat, location, entente).

Le moyen retenu pour augmenter les superficies d'épandage doit être analysé soigneusement. En effet, l'achat représente le moyen le plus sûr et le plus flexible pour disposer à long terme de superficies en culture suffisantes à l'épandage de la totalité des lisiers. Toutefois, il constitue un investissement majeur dont la rentabilité économique doit être démontrée. La location, et de façon plus marquée, les ententes d'épandage, sont des moyens plus économiques de disposer des superficies requises mais qui ne requièrent aucun investissement. D'autre part, la localisation de ces nouvelles superficies est importante car elle aura un impact important sur les coûts de son exploitation, en particulier pour l'épandage des lisiers. Ainsi, il peut être plus avantageux d'acheter des terres plus chères, mais situées à proximité de la ferme.

2.3 CHOIX DU TRAITEMENT COMME MODE DE GESTION DES LISIERS

Une fois toutes les solutions potentielles explorées, une estimation du bilan résiduel doit être réalisée. C'est ce bilan qui permettra de faire un choix éclairé sur le(les) procédé(s) et technologie(s) qui répondront aux besoins de la ferme. Le coût de cette alternative doit être comparé avec celui de l'achat de terres lorsque cet achat est envisagé. Par ailleurs, la chaîne de traitement appropriée doit prendre en considération :

- le niveau d'excédent en fertilisants et le cas échéant, le problème des odeurs ;
- la taille de l'élevage afin de déterminer le mode d'organisation souhaitable (individuel, semi-collectif ou collectif);
- la capacité d'investissement.

Les scénarios économiques doivent être élaborés en tenant compte des subventions disponibles, de la vente éventuelle d'actifs pour financer un système de traitement, de l'évolution anticipée de l'entreprise, etc. Il faut souligner toutefois que les subventions sont toujours appliquées aux investissements et non aux coûts d'opération. Aussi, il peut être souhaitable de sélectionner une chaîne de traitement qui nécessite des investissements plus importants mais qui affichent des coûts d'opération inférieurs à une autre. Cette analyse économique doit également considérer la disposition éventuelle des co-produits.

Enfin, rappelons que, tout au long de cette démarche, l'entreprise doit porter attention aux aspects techniques, économiques, sociaux et environnementaux de ces solutions. La complexité et la diversité de ces aspects impliquent que des professionnels compétents soient associés de près à la démarche. Ces professionnels peuvent provenir d'horizons divers, notamment des Clubs-conseils, des syndicats de gestion, de firmes d'ingénierie, du MAPAQ, du MDDEP, etc.

3. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES RELIÉS AU TRAITEMENT

Les projets de traitement des lisiers étant très diversifiés, une analyse détaillée de la réglementation les encadrant est difficilement réalisable. Cette section présentera donc l'encadrement général qui prévaut lors de l'examen d'un dossier de traitement.

L'implantation d'unités de traitement d'effluents d'élevage est encadrée d'un point de vue réglementaire par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP). Ce Ministère encadre également les conditions qui en découlent, notamment l'étanchéité des réservoirs et des infrastructures, la qualité et la quantité des extrants solides, liquides et gazeux de même que la valorisation des produits du traitement. Cet encadrement se fait principalement par le biais de :

- La Loi sur la Qualité de l'environnement (LQE) (L.R.Q., c. Q-2) ;
- Le Règlement relatif à l'application de la Loi sur la qualité de l'environnement (RRALQE) (L.R.Q., c. Q-2, r.1.001) ;
- Le Règlement sur les exploitations agricoles (REA) (L.R.Q., c. Q-2, r.11.1) ;
- Le Guide de valorisation des matières résiduelles fertilisantes (MDDEP, 2008a).

3.1 ASSUJETTISSEMENT A UN CERTIFICAT D'AUTORISATION

En vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* et de son règlement d'application, l'implantation et l'exploitation de tout projet de traitement d'effluents d'élevage requièrent généralement l'obtention d'un certificat d'autorisation. À cet égard, trois catégories de projet sont reconnues par le Ministère selon leur niveau de développement, soit les niveaux *Recherche en laboratoire ou pilote*, *Mise à l'échelle et démonstration* et *Opérationnel*.

Les projets au stade de recherche ou pilotes ne nécessitent pas de certificat d'autorisation. Toutefois, ils doivent ne traiter qu'un faible volume d'effluents produits au lieu d'élevage, soit généralement moins de 10 %. De plus, les produits de ces traitements (boues solides ou liquides, effluents traités, etc.) doivent pouvoir être réintroduits dans la chaîne habituelle de gestion des effluents. Un tel projet doit être présenté par écrit au MDDEP qui émettra un avis de non-assujettissement si toutes les conditions sont respectées.

Tous les autres projets de traitement requièrent un certificat d'autorisation. Les projets rendus au stade de mise à l'échelle et de démonstration voient la majorité des effluents d'élevage être traités par le procédé et requièrent de plus, un protocole de suivi et de validation de la technologie.

Par ailleurs, un certificat d'autorisation peut être délivré pour une durée limitée ou il peut être permanent. Le niveau de développement du procédé, le type de technologie utilisée de même que les risques environnementaux appréhendés sont des critères déterminants dans l'établissement de cette durée. Ainsi, des projets de démonstration ou des procédés avec rejets d'effluents traités en milieu naturel se verront attribuer des certificats d'autorisation à durée limitée.

3.2 EXIGENCES EN REGARD DES PROJETS DE TRAITEMENT

Les exigences en regard d'un procédé sont déterminées au cas par cas, en fonction de la nature même du procédé (émissions gazeuses, rejets en milieu naturel, etc.) et des particularités du milieu dans lequel le procédé s'inscrit.

Une rencontre avec les représentants du MDDEP, préalablement au dépôt d'une demande de certificat d'autorisation, est absolument essentielle afin de déterminer le plus justement possible les exigences qui seront soumises au producteur. Cette rencontre devrait être préférablement jumelée à une visite du site d'implantation du procédé de traitement. Des exigences spécifiques à la localisation pourront alors être identifiées et prises en compte dans le développement du projet (ex. : établissement d'objectifs environnementaux de rejet (OER) pour le rejet d'effluent en milieu naturel).

3.3 VALORISATION DES PRODUITS DE TRAITEMENT

La valorisation des produits de traitement est généralement incluse au certificat d'autorisation lorsqu'aucun produit provenant de l'extérieur de la ferme (produit exogène) n'est introduit au traitement. Ces derniers sont typiquement des additifs tels que coagulants et floculants souvent nécessaires aux procédés de séparation de phases solide – liquide. Dans un tel cas, les produits du traitement seront considérés des matières résiduelles fertilisantes (MRF) et leur valorisation devra faire l'objet d'un certificat d'autorisation. Deux possibilités sont alors envisageables : soit les exigences en regard de ces MRF seront introduites au certificat d'autorisation délivré pour le procédé, soit un certificat d'autorisation sera requis annuellement.

Par ailleurs, tous les produits qui seront valorisés en milieu agricole devront être introduits au Plan agroenvironnemental de fertilisation (PAEF) des entreprises réceptrices. Une attention particulière devra être apportée à ces produits dont les caractéristiques sont souvent peu documentées (concentration en fertilisants, efficacité de première année, etc.).

3.4 PLAN D'URGENCE

Tous les projets de traitement soumis au MDDEP pour l'obtention d'un certificat d'autorisation doivent inclure des mesures d'urgence pour contrôler les pertes dans l'environnement aux différentes étapes de la chaîne de gestion des déjections animales advenant qu'une problématique surviendrait (en cas de panne ou de résultats différents de ceux attendus).

4. DÉFINITION DES PARAMÈTRES DES EFFLUENTS PERTINENTS AU TRAITEMENT

Afin de bien comprendre la nature des changements que le traitement apporte au lisier, un certain nombre de paramètres de base doivent être définis. Ces paramètres sont regroupés selon leur nature physique, chimique ou biologique.

4.1 PARAMÈTRES PHYSIQUES

Les paramètres physiques se rapportent aux caractéristiques de l'effluent qui ne sont pas définies sur la base de la constitution chimique des différents constituants de l'effluent. Les paramètres physiques les plus pertinents pour le traitement sont la concentration en matières solides totales (ou solides totaux) et ses différentes composantes (Figure 1), la masse volumique et la température de l'effluent.

4.1.1 Matières solides totales

Un effluent est constitué à la base d'eau et de particules solides. Les matières solides totales sont obtenues par l'évaporation et le séchage d'un échantillon d'un effluent à une température de 105°C. La concentration en matières solides totales (MST) est le rapport entre la masse de particules solides et la masse de l'échantillon avant évaporation et séchage. Elle est généralement exprimée en pourcentage (%) ou en milligramme par litre (mg/L). Ainsi, un échantillon de 1 kg de lisier, soit environ 1 L, contenant 0,05 kg de solides totaux, présente une concentration de 5 % ou de 50 000 mg/L. Le *Taux de matière sèche*, les *Solides totaux* et la *Siccité* sont des notions équivalentes à celle des matières solides totales et pourront également être employées dans le texte. Le taux d'humidité est le complément des matières solides totales, la somme des deux donnant 100 %.

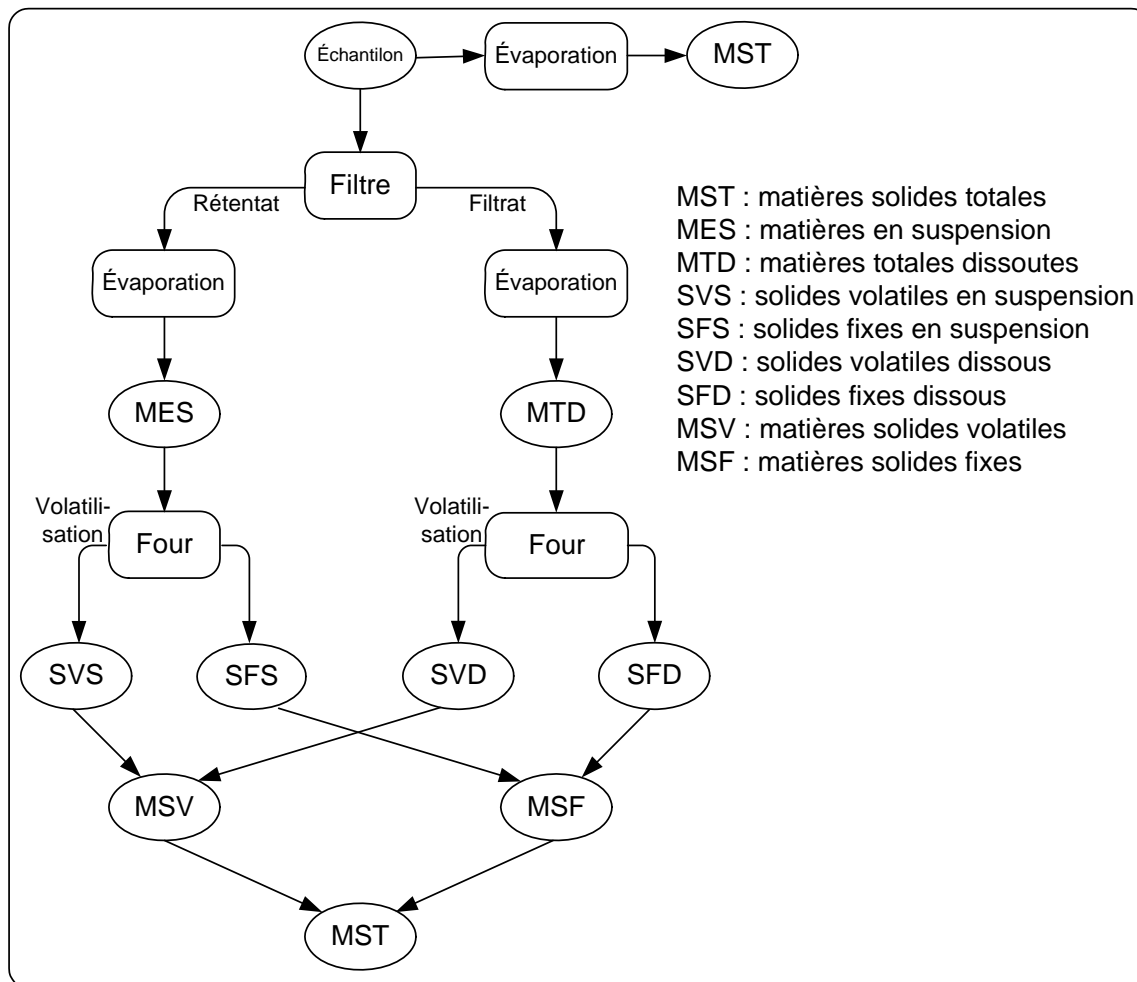
La taille des particules solides et leur aptitude à se volatiliser dans l'atmosphère sont deux caractéristiques particulièrement pertinentes au traitement. La taille des particules distingue les matières en suspension (MES) et les matières totales dissoutes (MTD). Les matières en suspension sont retenues sur un filtre dont les pores ont un diamètre standardisé de 1,0 µm. Ce rétentat, autrement appelé résidu ou gâteau, est séché à 105°C pour obtenir les matières en suspension. Les matières totales dissoutes sont obtenues par différenciation entre les matières solides totales et les matières en suspension (MTD = MST – MES). Les concentrations en MES et MTD sont également exprimées en mg/L.

La volatilité des matières solides distingue les solides volatiles et les solides fixes. Les matières solides volatiles (MSV) sont celles qui se volatilisent lorsqu'elles sont portées à une température de 550°C. Elles représentent le contenu en *Matière organique* de l'effluent. Les matières solides non volatilisées à cette température sont les matières solides fixes (MSF) autrement appelés *Matières inorganiques*, *Matières minérales* ou *Cendres*.

La concentration des MES est un des deux paramètres standards qui sont utilisés pour caractériser les effluents en regard du traitement. Les matières en suspension peuvent mener au développement de dépôt de boues et créer des conditions anaérobiques lorsque l'eau non traitée est déversée dans l'environnement aquatique. Par ailleurs, une concentration élevée des MES dans un plan d'eau peut empêcher la pénétration de la lumière et diminuer l'oxygène dissous ce qui limitera le développement de la vie aquatique et créera des déséquilibres entre diverses espèces. De plus, elles peuvent être responsables de l'asphyxie des poissons en colmatant leurs branchies. Elles peuvent aussi interférer sur la qualité d'une eau par des phénomènes d'adsorption notamment

de certains éléments toxiques et être de ce fait, une voie de pénétration de toxiques plus ou moins concentrés dans l'organisme.

Figure 1
Relation entre les différentes composantes des matières solides



4.1.2 Masse volumique

La masse volumique d'un effluent indique sa masse par unité de volume. Les effluents liquides, en particulier le lisier, ont généralement une masse volumique voisine de celle de l'eau, soit 1 000 kg/m³. Par contre, la masse volumique des effluents solides est très variable. Dans le cas des fumiers, elle peut varier de 250 kg/m³ à plus de 1000 kg/m³ pour différents types de fumiers.

Le bilan de masse effectué pour un procédé de traitement doit toujours être réalisé sur la base de la masse des produits et non sur leur volume.

4.1.3 Température

La température de l'effluent joue un rôle important sur l'évolution des effluents et sur l'efficacité des procédés de traitement. Elle agit entre autres sur la vitesse de réaction des procédés biologiques de même que sur l'équilibre de plusieurs réactions chimiques. Une température entre 25 et 35°C est généralement optimale pour l'activité microbienne. Par ailleurs, la température élevée d'un effluent :

- favorise le développement des microorganismes, ce qui augmente la vitesse des réactions et réduit la durée d'un traitement de type biologique ;
- diminue la solubilité de l'oxygène dans l'effluent. Aussi, en combinaison avec l'augmentation du taux des réactions biochimiques, elle peut conduire à un déficit d'oxygène dissous dans l'effluent ;
- favorise la formation du gaz ammoniac à partir des ions ammonium d'un effluent, ce qui augmente les pertes d'azote par volatilisation ;
- améliore l'efficacité des agents coagulants et/ou flocculant lorsqu'ils sont utilisés.

4.2 PARAMÈTRES CHIMIQUES

4.2.1 Matière organique

La matière organique est formée de substances fabriquées par les être vivants, riches en atomes de carbone, hydrogène, oxygène et azote. Les substances caractéristiques les plus communes de la matière organique sont les glucides (sucres), les protéines et les lipides. Elle contient aussi une certaine quantité de minéraux (matière inorganique) notamment du calcium, du magnésium, du fer et du soufre. À la différence de la matière minérale, la matière organique est généralement biodégradable. Ses constituants peuvent donc être décomposés par des microorganismes tels que bactéries, champignons ou algues.

Plusieurs méthodes ont été développées pour mesurer le contenu en matière organique d'un effluent. La première est la mesure des matières solides volatiles (MSV) par volatilisation au four à 550°C. Toutefois, des mesures plus appropriées ont été mises au point dans un contexte de traitement de l'effluent. Ainsi, la demande biochimique en oxygène et la demande chimique en oxygène permettent de mieux estimer le pouvoir polluant d'un effluent.

La demande biologique en oxygène (DBO) est la quantité d'oxygène nécessaire aux microorganismes pour dégrader la matière organique biodégradable lorsque présente dans l'eau ou un effluent comme le lisier. La DBO₅ se réfère à la quantité d'oxygène requise sur une période de cinq jours et s'exprime en mg O₂/L. La DBO₅ peut être aussi élevée que 10 000 mg O₂/L pour un lisier comparativement à 1 mg/L pour un échantillon d'eau provenant d'une rivière non polluée (Sevrin-Reyssac et al., 1995).

La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder complètement la matière organique, biodégradable et non biodégradable, présente dans un échantillon. Elle est déterminée à l'aide d'un oxydant puissant tel que le dichromate de potassium. L'unité de mesure est également le mg O₂/L. La DCO est toujours supérieur à la DBO₅ car la demande pour la matière organique non biodégradable est incluse.

En pratique le rapport DBO_5 / DCO est de l'ordre de 0,25 à 0,40 selon la nature de l'effluent et son niveau de dégradation.

4.2.2 pH

Le pH est la mesure de l'acidité d'un effluent. Il varie avec l'inverse de la concentration en ions hydrogène (H^+) de l'effluent. Une solution dite neutre a un pH de 7 alors que l'effluent est acide si son pH est inférieur et basique s'il est supérieur. Le pH d'un effluent influence sensiblement les réactions chimiques qui s'y produisent de même que le taux de survie de la majorité des microorganismes. Le contrôle du pH s'avère essentiel pour le fonctionnement de plusieurs procédés biologiques ou chimiques.

4.2.3 Azote

Les protéines sont composées typiquement à 16 % d'azote (FPPQ, 2006). Aussi, l'azote contenu dans le lisier provient essentiellement des protéines ingérées par le porc dont l'azote n'a pu être assimilé. On le retrouve sous plusieurs formes regroupées généralement en forme organique et en forme minérale.

L'azote total (N_T) du lisier regroupe toutes les formes d'azote, organique et minéral. L'azote organique est celui qui est demeuré intégré aux différents tissus des particules organiques du lisier, majoritairement des protéines. Les formes minérales comprennent les formes réduite et oxydée de l'azote. On retrouve principalement l'azote ammoniacal (gaz ammoniac $N-NH_3$ et ammonium $N-NH_4^+$), le nitrite ($N-NO_2^-$) et le nitrate ($N-NO_3^-$).

L'azote total mesuré par la méthode Kjeldahl (N_{TK}) comprend l'azote organique et l'azote ammoniacal. Il exclut donc l'azote sous forme oxydée ($N-NO_2^-$ et $N-NO_3^-$). Toutefois, pour des effluents très chargés en matière organique, les conditions anaérobies prévalent et les formes oxydées de l'azote sont absentes. L'azote organique, peu soluble, est principalement associé à la fraction solide du lisier alors que l'azote minéral, très soluble, est plutôt associé à la fraction liquide du lisier.

4.2.4 Phosphore

Le phosphore est un élément minéral essentiel au développement des os et à plusieurs fonctions physiologiques du porc (FPPQ, 2006). Les apports de phosphore dans les aliments sont sous forme organique, principalement d'origine végétale, et sous forme minérale (phosphate monocalcique et dicalcique). Le phosphore d'origine végétale est généralement peu disponible, soit entre 15 % et 50 %, et est responsable d'environ 65 % du phosphore contenu dans le lisier. Le phosphore est peu soluble et est associé principalement à la fraction solide du lisier.

4.2.5 Soufre et hydrogène sulfuré

Le soufre est essentiel à la synthèse des protéines, en particulier pour certains acides aminés tels que la méthionine et la cystine. Lors de la dégradation de ces acides aminés en conditions anaérobies, entreposage en fosse par exemple, le soufre réagit avec l'ion hydrogène présent dans le lisier pour former l'hydrogène sulfuré (H_2S). L'hydrogène sulfuré est un gaz très toxique et nauséabond (odeur d'œuf pourri). Son oxydation biologique ou chimique entraîne la formation d'acide sulfurique très corrosif qui dégrade les équipements métalliques et les infrastructures en béton.

4.2.6 Métaux lourds

Les métaux rencontrés plus spécifiquement en production porcine sont le fer, le cuivre, le manganèse et le zinc. Ils constituent des oligo-éléments pour les animaux et sont requis pour leur bonne croissance. Leur assimilation par le porc étant généralement faible, la majorité de ces métaux se retrouve dans les déjections. Ils sont peu solubles et par conséquent, associés à la fraction particulaire du lisier.

4.2.7 Oxygène dissous

L'oxygène se retrouve dans un effluent sous une forme dissoute (dioxygène ou O₂). Sa présence permet aux microorganismes aérobies de pouvoir y vivre et se multiplier. Cependant, l'oxygène est peu soluble dans l'eau. Cette concentration varie entre autres avec la solubilité du gaz dans l'eau, la température de l'effluent et la concentration de la matière organique dans l'effluent. Par exemple, la concentration à saturation de l'oxygène dans l'eau pure diminue avec la température de 14,6 mg/L pour T = 0°C à 7,54 mg/L pour T = 30°C.

Par ailleurs, le lisier étant un effluent avec une DBO₅ très élevée, très chargé en matière organique, l'oxygène dissous dans le lisier est rapidement consommé par les microorganismes aérobies qui y subsistent de sorte que la concentration en oxygène dissous y est très faible.

Pour un procédé de traitement aérobique, la concentration en oxygène dissous peut devenir critique lorsque la température de l'effluent augmente. En effet, alors que l'activité microbienne augmente avec la température, la concentration en oxygène dissous diminue, de sorte que les conditions peuvent devenir progressivement anaérobie et générer de fortes odeurs.

4.3 PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES

Un effluent est également un milieu vivant où prolifère une grande quantité de microorganismes. Ces microorganismes se regroupent généralement en bactéries, champignons, algues, protozoaires et virus.

Les bactéries représentent le groupe le plus important et sont responsables de la majorité de la dégradation de la matière organique. Pour les fins de traitement, on distingue souvent les bactéries aérobies qui nécessitent de l'oxygène pour effectuer leur respiration et les bactéries anaérobies qui utilisent d'autres molécules telles que le nitrate, le sulfate ou le dioxyde de carbone (CO₂). Certaines bactéries peuvent fonctionner dans les deux situations et sont considérées bactéries facultatives (les bactéries anaérobies qui peuvent utiliser l'oxygène pour leur respiration sont dites aérobies facultatives et à l'inverse, les bactéries anaérobies facultatives sont des bactéries aérobies qui peuvent utiliser d'autres molécules que l'oxygène).

La qualité bactériologique de l'eau est souvent donnée en fonction de certaines bactéries ou groupes de bactéries qui agissent comme indicateurs. Parmi ces bactéries, les coliformes fécaux et plus spécifiquement *Escherichia coli* (*E. coli*) témoignent d'une contamination d'origine fécale, sans être pour autant nécessairement pathogènes.

La concentration de microorganismes dans un effluent liquide est exprimée en UFC / 100 ml (UFC : unité formant des colonies) ou en NPP / 100 ml (NPP : nombre le plus probable). Cette concentration est exprimée en UFC / g ou en NPP / g pour des effluents solides. À titre d'exemple, un lisier brut peut contenir jusqu'à 10¹⁰ UFC / 100 ml de coliformes fécaux.

5. CARACTÉRISATION DU LISIER DE PORCS AU QUÉBEC

Les déjections de porcs comprennent une composante solide, les fèces, et une composante liquide, l'urine. Le lisier est formé à la base par le mélange de ces deux composantes. À ce mélange viennent s'ajouter les pertes d'eau des abreuvoirs, la moulée non consommée, les eaux de lavage et, dans la plupart des cas, les eaux de précipitation. Le lisier est par conséquent un effluent complexe et dont la composition est très variable (Tableau 1). Cette variabilité provient principalement des facteurs suivants :

- La catégorie d'animaux porcins : le lisier produit dans les bâtiments de porcs en engraissement est généralement plus concentrés que celui issu des maternités et des pouponnières ;
- Le type d'alimentation : la concentration de certains paramètres est affectée par les ingrédients qui ont été utilisés pour formuler les moulées ainsi que la forme sous laquelle elle est servie (solide, liquide) ;
- La gestion de l'eau de lavage et des précipitations : l'entretien du système de distribution de l'eau, le recours à des équipements de réduction d'eau d'abreuvement (trémie-abreuvoir et bol) ainsi que l'installation d'une toiture sur la fosse à lisier sont des pratiques qui réduisent sensiblement le volume de lisier produit et augmente, par conséquent, la concentration de ses composants.

Le Tableau 1 présente, à titre indicatif, les caractéristiques de quelques effluents pour lesquels des procédés de traitement sont régulièrement mis en opération. Bien que la charge organique (DCO et DBO₅) du lisier puisse être comparable à celle des boues de fosse septique, le lisier présente une charge fertilisante (N, P) près de dix fois supérieure. Ce facteur est plutôt de l'ordre de 100 en ce qui concerne tous les paramètres des eaux usées domestiques. Ceci témoigne du déficit que représente le traitement du lisier dans une optique de rejet de l'effluent traité au milieu naturel.

Par ailleurs, le lisier est un milieu qui héberge une multitude de microorganismes. Par conséquent, la composition du lisier entreposé au bâtiment ou dans la fosse évolue avec le temps. Quelques modifications importantes surviennent aux paramètres suivants :

- Matière solides totales : la présence de microorganismes anaérobies dans le lisier entraîne la dégradation de la matière organique durant son entreposage, au bâtiment et dans la fosse. Cette dégradation affecte d'abord les solides dissous, plus facilement biodégradable. Quant aux MES, elles sont graduellement dégradées en solides dissous. Ainsi, la transformation de la matière organique, principalement en dioxyde de carbone (CO₂) et en méthane (CH₄), se traduit par une perte nette de matière solide en cours d'entreposage et par conséquent, d'une réduction de la concentration des MST, des MES, de la DCO et de la DBO₅ ;
- Azote : l'azote subit plusieurs transformations dans le lisier. Lors de l'excrétion, il se retrouve à 50 % dans l'urine, sous forme d'azote uréique, et à 50 % dans les fèces, principalement sous forme organique. Dès la formation du lisier, des enzymes (uréases) contenus dans les fèces transforment en quelques jours l'azote uréique de l'urine en azote ammoniacal (ammonification). La proportion d'azote ammoniacal du lisier peut passer ainsi de 50 % à plus de 70% de l'azote total (minéral et organique).

En plus de l'azote de l'urine, il y a une minéralisation de l'azote des protéines contenu dans les fèces. Cette minéralisation est toutefois plus lente. Par conséquent, il y a une augmentation graduelle de la concentration en azote ammoniacal du lisier. Ces transformations de l'azote organique en azote minéral sont plus rapides lorsque la température du lisier est élevée en raison d'une activité plus intense des microorganismes.

L'azote ammoniacal se retrouve en équilibre entre sa forme ionique ammonium (NH_4^-) et l'ammoniac gazeux (NH_3) en solution dans le lisier. L'équilibre se déplace vers la formation d'ammoniac gazeux avec une augmentation de la température ou du pH du lisier. À l'inverse, l'équilibre se déplace vers la formation d'ammonium (NH_4^-) avec une diminution de la température ou du pH (acidification du lisier).

Équilibre entre les formes ammonium et ammoniac de l'azote : $\text{NH}_4^- \leftrightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$

Le gaz ammoniac diffuse dans le lisier pour se volatiliser à la surface. Ce phénomène est d'autant plus rapide que la concentration d'ammoniac dans le lisier est élevée, que la superficie d'échange entre le lisier et l'air est grande et que la vitesse de l'air à la surface du lisier est élevée.

Cette dynamique de l'azote dans le lisier explique que les pertes d'azote sous forme d'ammoniac augmenteront avec une augmentation de la température et du pH du lisier et avec son degré d'agitation. À l'inverse, les pertes seront minimisées si le lisier est maintenu froid, en conditions acides et qu'il n'est pas agité.

- **Phosphore** : le phosphore est principalement sous forme inorganique et est associé majoritairement aux particules solides du lisier (Figure 2) (Coillard, 1996). Il y a peu de modification entre les formes organique et minérale, les transformations biologiques d'une forme à l'autre étant équivalentes.
- **Potassium** : le potassium provient des urines. Il est essentiellement sous forme dissoute dans le lisier et ce, en tout temps.
- **Stratification du lisier** : les particules solides du lisier, en raison de leur masse volumique plus élevée que celle du lisier, ont tendance à sédimenter au fond de la fosse au cours de l'entreposage. Ces particules entraînent avec elles les éléments qui sont sous forme particulaire, notamment le phosphore et les métaux. À l'inverse, les éléments sous forme solubles, telles que le potassium et l'azote ammoniacal (forme ionique NH_4^-) demeurent répartis uniformément dans la masse de lisier. Ce déplacement des particules solides conduit à la stratification du lisier dans la fosse. La Figure 3 présente la concentration moyenne d'éléments particuliers (matière sèche, phosphore et azote organique) et d'éléments solubles (N- NH_4^- et potassium) dans un lisier de porcs d'engraissement obtenu lors de la vidange d'une fosse. La fraction 1 est obtenue en début de vidange et la fraction 6 en fin de vidange. Il faut remarquer la grande variation de la concentration pour les éléments particuliers et, à l'inverse, la faible variation pour les éléments solubles.

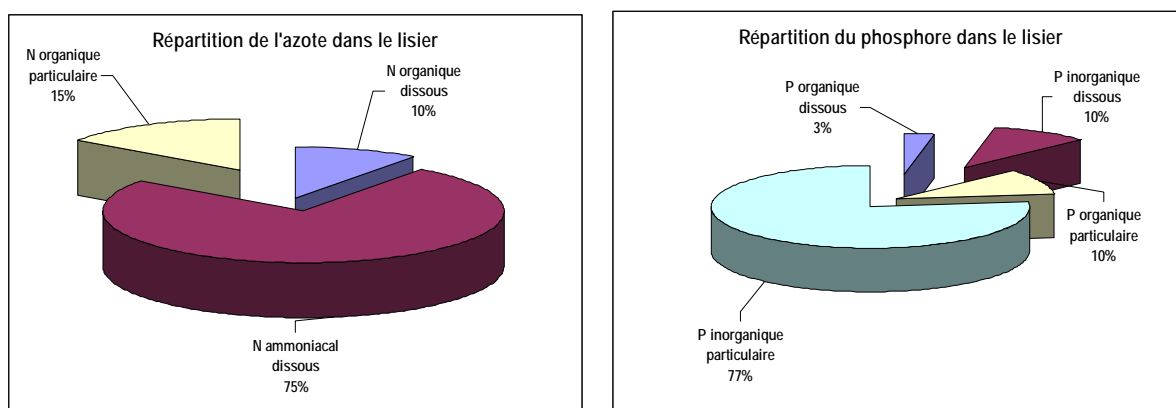


Figure 2
Répartition de l'azote et du phosphore dans un lisier brut âgé

Tableau 1
Quelques caractéristiques typiques de différents effluents

Paramètre		Lisier brut ¹		Boues de	Eaux usées
		Maternité	Engraissement	fosse septique ²	municipales ³
MS	(mg/L)	26 100	41 800	34 106	390
N _{tot}	(mg/L)	2 880	4 010	588	20
N _{NH4}	(mg/L)	1 840	2 260	97	12
P	(mg/L)	850	2 340	210	4
K	(mg/L)	1 225	2 400	-	-
DCO	(mg/L)	24 500	35 100	31 900	250
DBO ₅	(mg/L)	8 900	12 700	6 480	110
MES	(mg/L)	-	-	12 862	120

¹ Seydoux et al., 2005; ASABE, 2008.

² EPA, 1994.

³ Tchobanoglous et al., 2003.

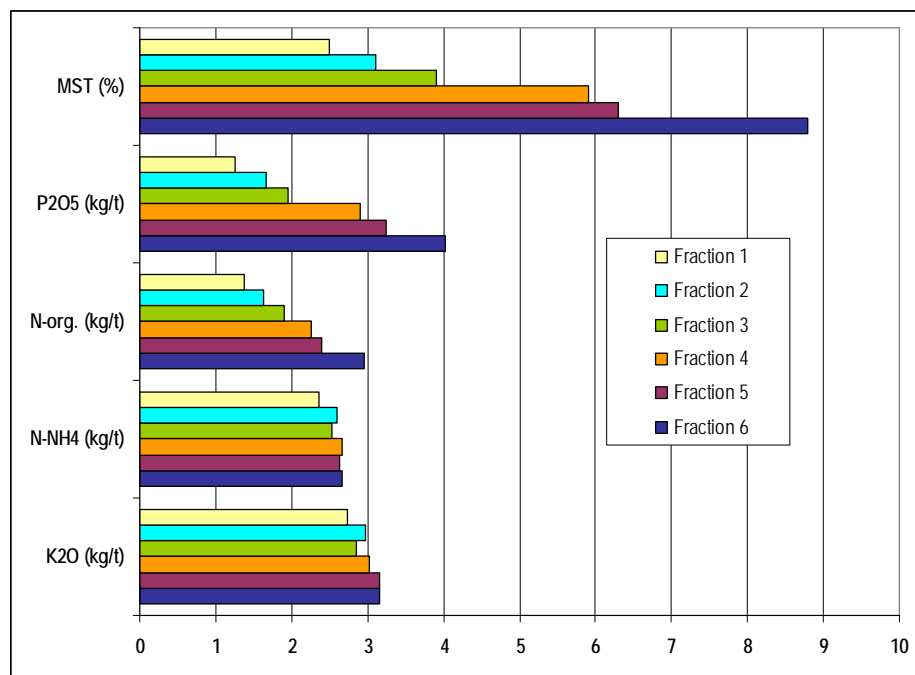


Figure 3
Concentration de différents paramètres du lisier selon la fraction de la fosse prélevée (fraction 1 : début de vidange; fraction 6 : fin de vidange) (adapté de Seydoux et al., 2005).

6. CLASSIFICATION DES PROCÉDÉS DE TRAITEMENT

Il existe différentes façons de regrouper les procédés de traitement afin de rendre leur présentation plus claire et logique. Cette classification peut se baser par exemple sur :

- le mode d'action du procédé ;
- les objectifs de traitement visés;
- le mode d'organisation;
- les étapes constituant la chaîne de traitement.

6.1 LE MODE D'ACTION

Le mode d'action est déterminé selon les processus fondamentaux qu'implique le procédé. Bien que plus d'un processus puisse être impliqué dans un procédé, on peut généralement les classer comme étant des procédés physico-chimiques, biologiques ou thermiques.

Les procédés physico-chimiques utilisent des principes d'action physique (filtration, sédimentation, flottation) en combinaison ou non avec des actions chimiques (coagulation, floculation, réactions chimiques). Les procédés rencontrés le plus couramment pour le traitement du lisier sont les suivants :

- La séparation mécanique ;
- L'isolation sous lattes ;
- La décantation, naturelle ou par centrifugation ;
- Flottation avec air dissous ;
- Précipitation physico-chimique.

Les procédés biologiques utilisent l'action de microorganismes pour dégrader la matière organique du lisier. Ces microorganismes peuvent être de type aérobie (nécessitent la présence d'oxygène) ou de type anaérobie (en absence d'oxygène). Ces procédés peuvent également être regroupés selon le support des microorganismes :

- Culture bactérienne en suspension (boues activées, lagunage, etc.);
- Culture bactérienne fixée (lits bactériens, biofiltres, etc.);
- Compostage (solide).

Les procédés thermiques utilisent la chaleur pour concentrer, par évaporation, les matières solides du lisier et pour stériliser les co-produits.

6.2 OBJECTIFS DE TRAITEMENT

Les procédés de traitement peuvent être classés en fonction de leurs objectifs de traitement. Selon la problématique à résoudre, les procédés peuvent consister à :

- L'extraction de l'azote seul, du phosphore seul ou des deux éléments ;
- L'élimination de l'azote ;
- La conservation d'un maximum de fertilisants ;
- La désodorisation du lisier.

6.3 MODE ORGANISATIONNEL

Le mode organisationnel peut être considéré pour caractériser un procédé de traitement. On peut trouver un mode d'organisation :

- Individuel : le système de traitement ne dessert qu'un seul site d'élevage et les co-produits sont destinés à la ferme uniquement ou à un centre de traitement indépendant (ex. : site de compostage) ;
- Semi-collectif : le système de traitement dessert quelques sites d'élevage, généralement à proximité l'un de l'autre et les co-produits sont destinés à ces mêmes fermes uniquement ou à un centre de traitement indépendant ;
- Collectif décentralisé : le traitement du lisier brut est fait sur une base individuelle avec centralisation de la gestion des co-produits, généralement les co-produits concentrés ;
- Collectif centralisé : le lisier brut est transporté en totalité vers une usine de traitement ;
- Unité mobile : le traitement est effectué à la ferme par une unité mobile qui se déplace d'un site d'élevage à l'autre. Les co-produits peuvent être gérés à la ferme ou le plus vraisemblablement, le lisier traité est entreposé sur place pour un épandage ultérieur à la ferme et la fraction concentrée exportée vers un centre régional de traitement ou de conditionnement, ou pour son épandage.

6.4 ÉTAPES DE LA CHAÎNE DE TRAITEMENT

Selon le niveau désiré d'épuration du lisier, le traitement peut nécessiter plus d'une étape. À chacune de ces étapes, les procédés auront généralement des modes d'action différents qui permettront le traitement de différents paramètres du lisier. On distingue les étapes suivantes :

- Le traitement primaire vise surtout à éliminer les particules les plus grossières du lisier, essentiellement les matières solides en suspension (MES). Il affecte généralement peu les matières dissoutes et les matières colloïdales. Des équipements de séparation de phases et de décantation sont surtout utilisés à cette étape ;
- Le traitement secondaire vise à traiter principalement la matière organique dissoute et les matières colloïdales. Cette étape est généralement réalisée par un procédé biologique ;
- Le traitement tertiaire permet le traitement d'éléments spécifiques généralement dissous (azote, phosphore, sels tels que potassium, désinfection à l'ozone ou UV, etc.). Les équipements utilisés sont spécifiques aux éléments à traiter.

Enfin, le traitement du lisier brut génère des co-produits. La nomenclature de ces différents co-produits varie selon le procédé ou la technologie qui les génère. On retrouve ainsi :

- Pour le lisier traité : surnageant, filtrat, lisier séparé, etc. ;
- Pour les co-produits liquides : boue, concentrât, solution concentrée, etc. ;
- Pour les co-produits solides : refus de tamis, fraction solide, gâteau, rétentat, précipité minéral, etc.

PROCÉDÉS PHYSICO-CHIMIQUES

Les procédés physico-chimiques visent de façon générale à extraire les matières en suspension et, dans une moindre mesure, les matières colloïdales de l'effluent à traiter. Cet effluent est le plus souvent le lisier brut même, mais pourrait être aussi des boues soutirées d'un procédé biologique par exemple. Ces procédés physico-chimiques génèrent typiquement deux co-produits à partir d'un effluent :

- une fraction concentrée, le plus souvent solide, contenant plus spécifiquement les éléments particulaires (non solubles) de l'effluent tels que le phosphore, l'azote organique, le magnésium, le calcium et des métaux. Plusieurs appellations désignent cette fraction : refus de tamis ou gâteau (séparation mécanique), décanat (décantation naturelle ou centrifuge), boues (flottation et précipitation);
- une fraction liquide diluée contenant plus spécifiquement les éléments solubles de l'effluent tels que l'azote sous forme ammoniacale ou de nitrate, le potassium, le phosphore soluble, le sodium et les chlorures. Cette fraction liquide est autrement appelée surnageant (décantation naturelle, flottation, précipitation), centrat ou centrifugat (décantation centrifuge).

Deux principes fondamentaux sont mis en application par les procédés physico-chimiques. Le premier est la filtration, soit l'utilisation d'un milieu poreux à travers duquel l'effluent doit circuler. Ce principe met en jeu les dimensions et formes des particules solides de l'effluent ainsi que celles des ouvertures du milieu poreux. On retrouve dans cette catégorie les procédés de séparation mécanique et l'isolation sous latte.

Le second principe recourt à la différence de masse volumique entre les particules solides de l'effluent et l'eau (liquide) de cet effluent. Ce principe est utilisé par les procédés de décantation naturelle, de décantation centrifuge et de précipitation alors que la masse volumique des particules solides est supérieure à celle du milieu liquide. La flottation recourt au même principe mais en diminuant artificiellement la masse volumique des particules pour les faire flotter et les récupérer par la partie supérieure du flottateur.

7. SÉPARATION MÉCANIQUE

7.1 PRINCIPE DE TRAITEMENT

Les équipements de séparation mécanique utilisent des éléments poreux tels que des tamis, des toiles ou des membranes pour retenir les éléments les plus grossiers du lisier. Certains équipements sont conçus pour n'exercer aucune contrainte mécanique sur le lisier alors que d'autres appliquent une pression sur le lisier.

7.2 ASPECTS TECHNIQUES

Il existe plusieurs types de séparateurs mécaniques qui utilisent différentes techniques; l'écoulement du lisier à travers l'élément poreux peut se faire sans contrainte par la seule force gravitationnelle alors qu'une contrainte (vis, rouleau, force centrifuge, pression hydrostatique, etc.) peut également être appliquée pour améliorer les performances du séparateur (débit plus élevé, taux de MST plus élevé, etc.) (Tableau 2 et Figure 5).

Les caractéristiques de l'effluent détermine en partie la technique à préconiser (Figure 4). Malgré le nombre élevé de technologies, seules quelques unes sont utilisées pour le traitement du lisier, soit principalement le tamis stationnaire, la presse à vis, la presse à rouleaux et les filtres presses. D'autre part, la centrifugation étant un procédé de décantation, elle est traitée au chapitre 9.

Tableau 2
Différentes techniques de séparation mécanique

Sans contrainte appliquée	Tamis stationnaire
	Tamis vibrant
	Tamis rotatif
	Tamis courroie
Avec contrainte appliquée	Presse à vis sans fin
	Presse à rouleaux
	Presse à rouleaux avec courroie
	Rouleau presseur perforé
	Tamis centrifuge
	Filtre rotatif sous vide
	Filtre à plaques
Pressoir rotatif	
Filtration membranaire	

Quant à la filtration membranaire, elle représente un cas particulier de séparation mécanique qui se déroule entièrement en phase liquide sous l'action d'une différence de pression entre les deux côtés d'une membrane. La membrane est une barrière qui permet le passage de certaines particules entre deux milieux qu'elle sépare et qui en interdit d'autres. La filtration membranaire regroupe plusieurs procédés qui visent des particules dont le diamètre diminue quand on passe de la microfiltration, à l'ultrafiltration, à la nanofiltration et puis à l'osmose inverse (Figure 4). Bien que l'application de cette technologie au traitement du lisier brut ait déjà fait l'objet de travaux au Québec (Consumaj, 2000), les difficultés rencontrées ont mis un terme à son développement. Elle ne sera donc pas traitée dans ce guide. Toutefois, on doit mentionner le recours à l'osmose inverse comme technique de polissage de l'effluent dans un procédé de traitement avec rejet au milieu naturel en raison de sa capacité à retenir les éléments dissous tels que le potassium, l'azote ammoniacal (NH_4^+), et les sels en général de même que les microorganismes, incluant les virus.

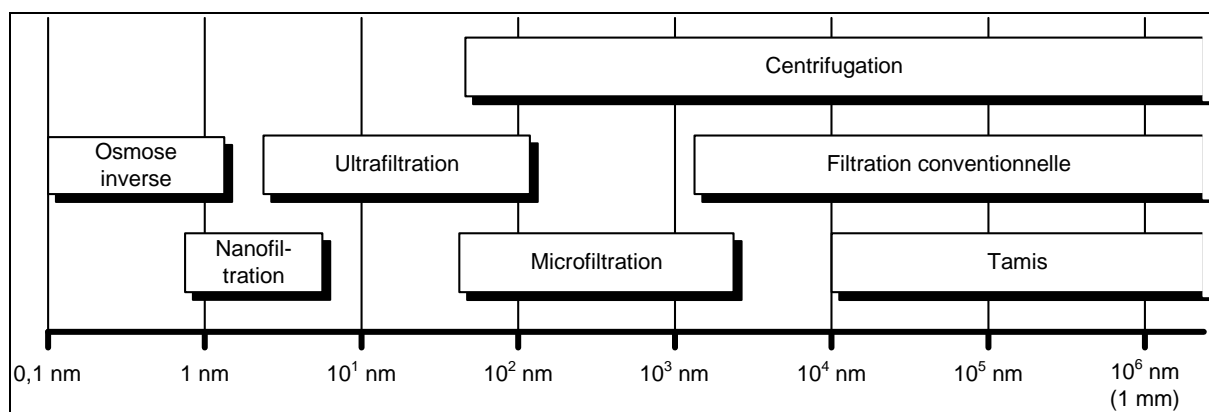


Figure 4
Procédé de traitement généralement préconisé selon le diamètre des particules de l'effluent.

Le principe de séparation étant de retenir les particules solides du lisier par des ouvertures, l'efficacité de ces équipements varie principalement avec les caractéristiques du lisier, en particulier la taille et la forme des particules solides et sa teneur en MST ainsi qu'avec la forme et les dimensions des ouvertures de l'élément séparateur. De façon générale,

- Le **taux de capture** des MST dans la fraction solide augmente avec la diminution du diamètre des ouvertures du tamis et avec le taux de MST du lisier ;
- Le taux de MST (siccité) de la fraction solide augmente avec l'augmentation du diamètre des ouvertures ;
- Le taux de capture de l'azote ammoniacal ($N-NH_4^+$) et du potassium, éléments sous forme dissoute, et des particules colloïdales est faible ; ce taux est du même ordre de grandeur que le ratio de la masse de la fraction solide sur la masse de lisier brut ;
- L'efficacité de séparation diminue avec l'âge du lisier. En effet, durant l'entreposage du lisier, les bactéries anaérobies sont actives et entraînent sa dégradation. Celle-ci se traduit par une réduction de la matière sèche et de la taille des particules réduisant ainsi l'efficacité réelle de la séparation. Aussi, il est préférable de séparer le lisier dans son état le plus frais possible ;
- La séparation implique la gestion de deux co-produits ;
- L'utilisation de **coagulants** (alun, chaux, chlorure ferrique, polymères, etc.) et de **floculants** (polymères) pour certains types de séparateurs permet d'améliorer leurs performances : augmentation du taux de capture des éléments et/ou augmentation du débit de traitement pour un même taux de capture :
 - Le dosage de ces produits est basé sur le taux de MST : une quantité de 5 à 15 kg de polymère est ajoutée par tonne de MST du lisier brut, soit 250 à 750 g / m³ de lisier ayant un taux de MST de 5 %.



Figure 5
Quelques techniques de séparation de lisier : (a) tamis statique incliné; (b) presse à vis;
(c) filtre rotatif sous vide; (d) presse à rouleaux.

7.3 PERFORMANCES

Il est difficile de présenter les performances attendues d'une façon générale pour l'ensemble des techniques de séparation car celles-ci varient de façon importante avec la teneur en MST du lisier, les ajustements des équipements et le débit de traitement. Le Tableau 3 présente des performances typiques obtenues par quelques projets.

Certains constats généraux se dégagent de ces données :

- La masse de la fraction solide, sa teneur en solides totaux et le taux de capture des solides augmentent avec la teneur en solides totaux du lisier brut ;
- Le taux de capture du potassium est équivalent à la masse de la fraction solide (en pourcentage) ;
- Lorsqu'il est possible d'apporter des ajustements au séparateur, il est essentiel de faire des essais avec les différentes configurations (dimension des ouvertures, pas de la vis, pression appliquée sur le gâteau, débit, etc.) afin d'en obtenir les performances optimales.

Compte tenu de la grande variabilité des performances des séparateurs selon les conditions de leur opération et leur coût, il est essentiel de réaliser des essais sur le lisier particulier de l'entreprise pour en connaître les performances.

7.4 ASPECTS ECONOMIQUES

Lorsque utilisée comme seul traitement, l'investissement requis pour la séparation comprend le séparateur lui-même, le bâtiment de service, les périphériques (pompes, canalisations, contrôle, entrée électrique) de même que les infrastructures d'entreposage. Pour une entreprise existante, la fosse à lisier est utilisée pour entreposer la fraction liquide alors qu'une annexe doit être prévue si la fraction solide doit être entreposée sur le site. Selon le coût de l'équipement, les investissements requis sont de l'ordre de \$ 100 000 à \$ 150 000 pour une ferme porcine de 2000 porcs en inventaire (environ 5 000 m³ de lisier par année).

Les frais d'opérations comprennent principalement l'énergie électrique, la main-d'œuvre, l'entretien des équipements et l'achat d'additifs, le cas échéant. Le coût de la disposition de la fraction solide peut être très variable selon la situation de l'entreprise, en partant de sa vente possible à son coût de traitement (compostage, séchage et granulation). En excluant la disposition de la fraction solide et le recours aux additifs, les coûts d'opération sont généralement de l'ordre de \$ 1,50 à \$ 2,50 / m³.

Tableau 3
Performances typiques de quelques séparateurs.

Équipement	Lisier brut		Fraction liquide		Fraction solide					
	MST	Masse	MST	Masse	MST	Taux de capture				
	(%)	(% lisier brut)	(%)	(% lisier brut)	(%)	MST (%)	N _{TK} (%)	N _{NH4} (%)	Phosphore (%)	Potassium (%)
Séparateur à vis ^{1,2} FAN	1,90	96	1,48	4	12,4	26		12	7	4
	7,86	92	6,17	8	27,9	28		21	9	8
	9,73	90	7,2	10	33,5	33		9	13	10
	8,42	89	5,63	11	28,2	36	12,4		20	
Séparateur à vis ¹ REIME ⁴	9,74	89	7,09	11	31,1	35		11	13	11
	9,73	87	7,12	13	27,6	36		13	16	13
	9,73	76	7,05	24	18,5	45		25	25	24
	7,86	95	6,44	5	32,3	23		10	7	6
Tamis incliné ¹	1,82	97	1,55	3	11,7	17		4	3	3
	7,86	87	6,06	13	19,8	33		19	16	13
Tamis tangentiel ³	3,75	95	2,49	5	25,5	37,3	21,1	11,5	27,3	26,7

¹ Debruyckere et al., 1995.

² Dallaire, 2000.

³ Picher, 2010.

⁴ Essais avec différents ajustements de l'ouverture du tamis (0,5 et 1,0 mm) et du pas de la vis (11 et 13 cm).

7.5 LES MODES D'ORGANISATION

La séparation mécanique peut être utilisée comme seul traitement du lisier brut ou intégrée dans une chaîne plus complexe, soit pour pré-traiter le lisier brut (généralement tamis, presse à vis ou à rouleaux) ou pour déshydrater les boues produites par ce traitement (filtre à bande, filtre presse).

La séparation comme seul traitement est installée à la ferme ou en unité mobile alors qu'intégrée à un traitement complexe, toutes les configurations sont possibles : traitement individuel, semi-collectif, collectif centralisé ou décentralisé.

7.6 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

D'un point de vue agronomique, les principaux impacts envisagés sont :

- La séparation mécanique est un procédé conservatif : tous les éléments du lisier brut se retrouvent dans un des deux co-produits.
- Les deux co-produits générés ont des caractéristiques agronomiques très différentes que la valorisation agronomique doit respecter :
 - La fraction solide (ou visqueuse) comprend les éléments non solubles tels que le phosphore, l'azote organique, le calcium, le magnésium et les métaux (cuivre, zinc, etc.) dans une plus grande concentration que dans le lisier brut. En situation de surplus de fertilisants à la ferme, généralement sur la base du phosphore, il faut envisager l'exportation de ce co-produit ;
 - La fraction liquide est épurée et comprend majoritairement des éléments solubles tels que l'azote minéral (forme ammoniacale NH_4^+) et le potassium ; son rapport N : P est généralement mieux adapté que celui du lisier brut pour répondre aux exigences des cultures pratiquées au Québec et aux taux de saturation élevés des sols en phosphore ;
 - L'augmentation conséquente de la dose d'épandage de la fraction liquide peut entraîner à long terme une surfertilisation en potassium.
- L'entreprise doit préférentiellement avoir les superficies requises pour épandre la fraction liquide, car elle est diluée, présente une faible valeur agronomique pour un coût de transport élevé.

D'un point de vue environnemental, les principaux impacts sont :

- L'utilisation de coagulant et de flocculant, généralement avec les filtres à bande ou les filtres à plaques, peut engendrer un déficit en phosphore dans la fraction liquide.
- L'utilisation d'additifs peut impliquer que les co-produits soient considérés comme des matières résiduelles fertilisantes et nécessiter qu'une autorisation soit obtenue pour leur valorisation (voir section 3.3).
- La différenciation des co-produits permet de les utiliser à meilleur escient et diminue ainsi les risques de contamination des eaux de surface ou souterraine.

8. ISOLATION SOUS LATTES

8.1 OBJECTIFS DU PROCÉDÉ

Selon la définition proposée pour le traitement du lisier, l'isolation sous lattes ne constitue pas comme tel un procédé de traitement car il agit en amont de la formation même du lisier, c'est-à-dire avant le mélange de l'urine et des fèces. Cette isolation vise plusieurs objectifs :

- Obtention d'une fraction solide comprenant la majorité du phosphore et des éléments particuliers ;
- Réduction des pertes d'azote par volatilisation de l'ammoniac au bâtiment ;
- Réduction des odeurs émises par le lisier.

Bien que différentes technologies basées sur ce concept soient à l'essai à l'étranger depuis plusieurs années, son développement au Québec est relativement récent.

8.2 PRINCIPE DE TRAITEMENT

L'intérêt de l'isolation sous lattes réside dans le fait que les éléments particuliers, notamment le phosphore, se retrouvent principalement dans les fèces. L'isolation permet de gérer séparément les liquides (urine, eau d'abreuvoir et de lavage) et les solides (fèces, aliments) produits au bâtiment avant leur mélange, évitant ainsi la formation même du lisier. En plus de favoriser la séparation mécanique de ces deux fractions, l'isolation sous lattes retarde la transformation de l'urée contenue dans l'urine en ammoniac. En effet, les enzymes (uréase) requises pour effectuer cette transformation sont essentiellement contenues dans les fèces. Cette caractéristique de la technologie entraîne une réduction des pertes d'azote par volatilisation de l'ammoniac et par conséquent, une meilleure conservation de l'azote.

Par ailleurs, en évitant le mélange de la matière organique avec les liquides, sa dégradation en conditions anaérobies est moins intense et elle se traduit par une réduction de la formation de gaz responsables des odeurs.

8.3 ASPECTS TECHNIQUES

L'isolation sous latte nécessite l'installation de dispositifs mécaniques dans le bâtiment sous la partie lattée du plancher des parcs. Deux technologies ont été plus spécifiquement étudiées au Québec, soit le dalot en « V » et la courroie perforée.

La technologie avec dalot en « V » (Figure 6) comprend le dalot lui-même, configuré en forme de « V » évasé, une gouttière au fond du dalot, à la pointe inférieure du « V », pour canaliser les liquides et une gratte qui épouse la forme du dalot pour en extraire les solides. Alors que les liquides s'écoulent en continu dans la gouttière, la gratte est actionnée une fois par jour (fréquence variant de quelques fois par jour à une fois par semaine). Cette technologie peut s'appliquer pour des longueurs de dalot équivalentes à celles des systèmes conventionnels de nettoyage avec gratte.

La technologie avec courroie comprend, en plus du dalot lui-même, un convoyeur à courroie disposé directement sous les lattes (Figure 7). La courroie en polypropylène couvre toute la largeur du dalot et est légèrement inclinée

pour permettre l'écoulement des liquides. La densité et le diamètre des perforations de la courroie sont variables. Pour les essais réalisés au Québec, de trois à cinq rangées d'ouvertures sur une largeur de courroie de 2,13 m ont été utilisées. Quant au dalot, il peut être avec écoulement gravitaire en continu ou muni d'un système de vidange (pull-plug).

L'opération de ces deux technologies nécessite qu'un convoyeur à fumier solide soit installé à une des extrémités du dalot pour l'évacuation de la fraction solide. Les fractions solides et liquides sont dirigées vers des structures d'entreposage étanches pour un épandage ultérieur ou, le cas échéant, vers des systèmes de traitement plus poussé, par exemple l'aération ou la biofiltration de la fraction liquide et le compostage de la fraction solide.

Bien que la technique d'isolation sous latte puisse s'adapter à des bâtiments existants, c'est une technologie surtout adaptée pour de nouveaux bâtiments. Elle implique une conception particulière des dalots et du système d'évacuation de la fraction solide.

Compte tenu de son mode de fonctionnement, l'isolation sous latte est essentiellement un traitement fixe à la ferme.

8.4 PERFORMANCES

Pour des porcs en engraissement et dans des conditions d'élevage semblables en laboratoire, différents systèmes d'isolation sous latte ont montré des taux de capture équivalents (IRDA, 2006a), soit de l'ordre de 83 % pour les solides totaux, 92 % pour le phosphore, 49 % pour l'azote organique, 29 % pour l'azote ammoniacal et 41 % pour le potassium. La fraction solide présentait une teneur en matière sèche de l'ordre de 35 % et représentait 21 % du volume total des déjections.

Le Tableau 4 présente le taux de capture de certains paramètres obtenu lors de deux projets de démonstration au Québec sur des fermes commerciales, soit un système avec grappe en «V » et un système avec courroie. Le taux de capture du calcium, du magnésium et des métaux (cuivre, fer, manganèse et zinc) a été supérieur à 80 % pour le système avec grappe et supérieur à 90% pour le système avec courroie. Le taux de capture est donc très élevé pour tous les éléments particuliers du lisier et est plus faible et plus variable pour les éléments solubles (potassium, azote ammoniacal, etc.).

Le taux d'enlèvement de la charge organique est également élevé, soit de l'ordre de 75% pour la DBO₅. Par ailleurs, bien que le taux de matière sèche de la fraction solide soit élevé, sa masse volumique est équivalente à celle du lisier, soit autour de 1 000 kg/m³.

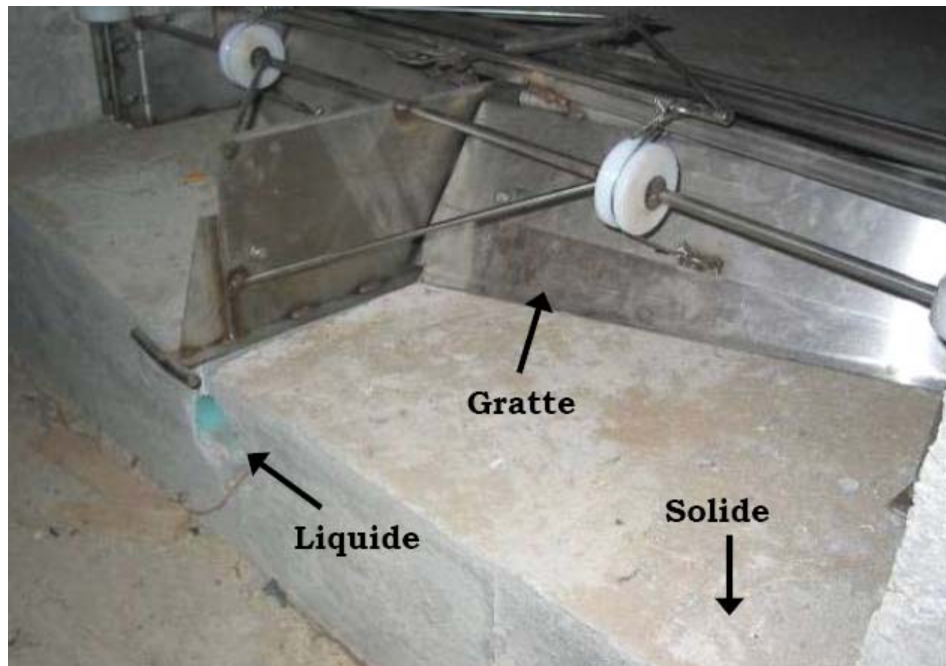


Figure 6
Isolation sous lattes avec dalot en « V ».



Figure 7
Isolation sous lattes avec courroie perforée.

Tableau 4
Taux de capture de certains paramètres physico-chimiques.

Paramètre	Taux de capture (%)	
	Dalot en « V » ¹	Courroie perforée ²
Solides totaux	81	85
Matière organique	80	93
Azote total	54	31
Azote ammoniacal (N-NH ₄)	29	9
Phosphore total	77	94
Potassium	47	25

¹ Données provenant de porcs à l'engraissement (Guimont et al., 2007)

² Données provenant de truies en gestation (Dufour et al., 2005)

8.5 ASPECTS ÉCONOMIQUES

Bien que mieux adapté à de nouveaux bâtiments, le concept d'isolation sous lattes n'a été appliqué au Québec qu'à des bâtiments rénovés. Dans ce cas, les travaux ont consisté principalement à modifier les dalots pour y ajouter la gratte ou la courroie et à y installer un convoyeur et construire une structure d'entreposage pour la fraction solide. L'investissement requis s'est élevé à 150 \$/place porc pour le système avec gratte en « V » et à 250 \$/place truie en gestation pour le système avec courroie.

Les coûts d'opération sont essentiellement liés à l'entretien de ces nouvelles infrastructures et aux coûts de disposition des fractions solides et liquides. Ces coûts varient considérablement selon la situation de l'entreprise quant à son bilan agronomique.

8.6 IMPACTS AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

L'isolation sous latte génère deux co-produits dont les caractéristiques sont très différentes. La fraction solide contient la majorité des éléments particuliers (azote organique, phosphore, calcium, magnésium, métaux) en plus grande concentration que le lisier brut alors que les éléments solubles se retrouvent dans la fraction liquide (azote ammoniacal, potassium) en concentration relativement similaire à celle d'un lisier brut. La valorisation de ces deux fractions doit donc tenir compte de ces caractéristiques, la fraction liquide étant plutôt associée à un engrais azoté (azote ammoniacal) ayant une efficacité de l'ordre de 90 % à 100 % et la fraction solide, à un engrais phosphaté. La fraction solide étant très concentrée en phosphore, de très faibles doses d'épandage peuvent être requises, ce qui peut présenter certaines difficultés. Malgré sa teneur élevée en MST, la fraction solide est peu structurée et nécessite l'utilisation d'un épandeur à fumier semi-liquide (pâteux).

L'isolation sous lattes a démontré une réduction des émissions d'ammoniac de l'ordre de 50 % par rapport à une gestion conventionnelle avec vidange de lisier. Toutefois, la réduction des émissions d'odeurs et de gaz à effet de serre n'a pu être démontrée.

Tableau 5
Concentration de quelques éléments dans les co-produits de l'isolation sous latte.

Paramètre	Dalot en « V »		Courroie perforée	
	Fraction liquide	Fraction solide	Fraction liquide	Fraction solide
N _{tot} (kg/t)	5,9	14,7	1,85	11,36
N _{NH4} (kg/t)	3,8	3,2	1,50	1,85
P ₂ O ₅ (kg/t)	1,09	10,9	0,077	17,40
K ₂ O (kg/t)	2,06	6,0	0,86	3,94

¹ Données provenant de porcs à l'engraissement (Guimont et al., 2007)

² Données provenant de truies en gestation (Dufour et al., 2005)

9. DÉCANTATION

9.1 PRINCIPE DE TRAITEMENT

À la différence de la séparation mécanique qui retient les éléments solides au moyen d'éléments perforés (tamis, toile), la décantation procède par différence de densité entre les particules solides du lisier et le lisier lui-même. Les particules solides, plus denses que le lisier, sont entraînées par une force motrice (gravité, force centrifuge), ce mouvement étant en partie contrecarré par la force de frottement entre le lisier et les particules en mouvement. De façon générale, la vitesse de décantation des particules :

- Augmente avec leur diamètre : l'augmentation de la masse découlant de l'augmentation du diamètre est plus importante que celle de la force de frottement ;
- Augmente avec la différence entre la masse volumique des particules et celle du lisier : les matières minérales étant généralement plus denses que les matières organiques, elles décantent plus rapidement ;
- Diminue avec la viscosité du lisier : un effluent plus visqueux réduit la vitesse de sédimentation. La viscosité diminue généralement avec la température du lisier : la vitesse de sédimentation est donc plus élevée quand le lisier est chaud.

Pour le traitement des lisiers, on distingue la décantation naturelle et la décantation centrifuge.

La *décantation naturelle* constitue plutôt un mode de gestion qu'un traitement. La décantation est produite sous l'action de la force gravitationnelle qui permet aux particules plus denses de se déposer graduellement au fond de la fosse durant la période d'entreposage, entraînant avec elles les éléments particuliers du lisier. Cette pratique est communément appelée « gestion de fond de fosse ».

La *décantation centrifuge* permet d'accélérer artificiellement la décantation des particules du lisier en augmentant de façon très importante la force motrice qui entraîne la décantation des particules (Figure 9). Cette force est créée en entraînant le lisier dans un mouvement circulaire où il subit une force centrifuge pouvant atteindre typiquement de 3000 à 4000 fois celle de la gravité (g), faisant augmenter dans un même rapport, la vitesse de sédimentation des particules.

9.2 ASPECTS TECHNIQUES

9.2.1 Décantation naturelle

L'entreposage du lisier pendant une longue période permet aux particules les plus grossières de sédimenter au fond de la fosse et d'entraîner avec elles les éléments particuliers tels que l'azote organique, le phosphore, le calcium, le magnésium et les métaux (ex. : Cu, Zn). Aussi, les principaux éléments auxquels il faut apporter une attention particulière sont les suivants :

- La Figure 8 présente la variation typique de la composition d'un lisier entreposé pendant plusieurs mois en fonction de la hauteur du lisier dans la fosse. Les résultats représentent la moyenne d'analyses provenant de 11 fosses (FERTIOR, 1996). Cette figure indique que la concentration des éléments particuliers (ST et

- P) augmente sensiblement vers le fond de la fosse alors que celle des éléments dissous ($N-NH_4$ et K) demeure relativement constante sur tout le profil. Quant à l'azote total (NTK), il comprend une fraction soluble ($N-NH_4$) et une fraction particulaire (azote organique); son comportement est donc proportionné.
- La boue décantée est liquide et elle représente un volume important de l'ordre de 30 % du lisier brut entreposé. La démarcation entre la boue et le surnageant n'est pas nette mais plutôt progressive.
 - Afin de maximiser la sédimentation des particules de lisier, celui-ci doit être entreposé avec le minimum de perturbation. Lorsque c'est possible, les pratiques suivantes sont alors recommandées :
 - Protéger la fosse du vent (haies brise-vent) ;
 - Alimenter le lisier frais provenant du bâtiment par le fond de la fosse ;
 - Installer une toiture sur la fosse.
 - Lors des périodes d'épandage, le lisier doit être repris sans brassage préalable et sans recirculation durant le pompage.
 - Lorsque c'est possible, disposer d'un puits de pompage permanent, incorporé ou adjacent à la fosse d'entreposage, qui limitera la perturbation du lisier décanté lors de la reprise.
 - La gestion du lisier peut être envisagée comme celle de deux produits : les boues décantées et le surnageant. Dans cette optique, les boues (lisier de fond de fosse) sont d'abord reprises pour être valorisées (ou exportées), le surnageant demeuré dans la fosse est alors homogénéisé avant sa reprise.
 - La force gravitationnelle étant l'unique force motrice causant la décantation, seules les particules les plus grossières ont le temps de décanter. Les particules les plus fines telles que les colloïdes ne décantent que très lentement et sont facilement remises en suspension par une perturbation du lisier.
 - Les performances de la décantation naturelle sont très variables d'une ferme à l'autre et dépendent entre autres du type d'élevage, de l'alimentation (solide ou liquide, présentation de l'aliment et équipements) et de la gestion des eaux (abreuvement, lavage, etc.).

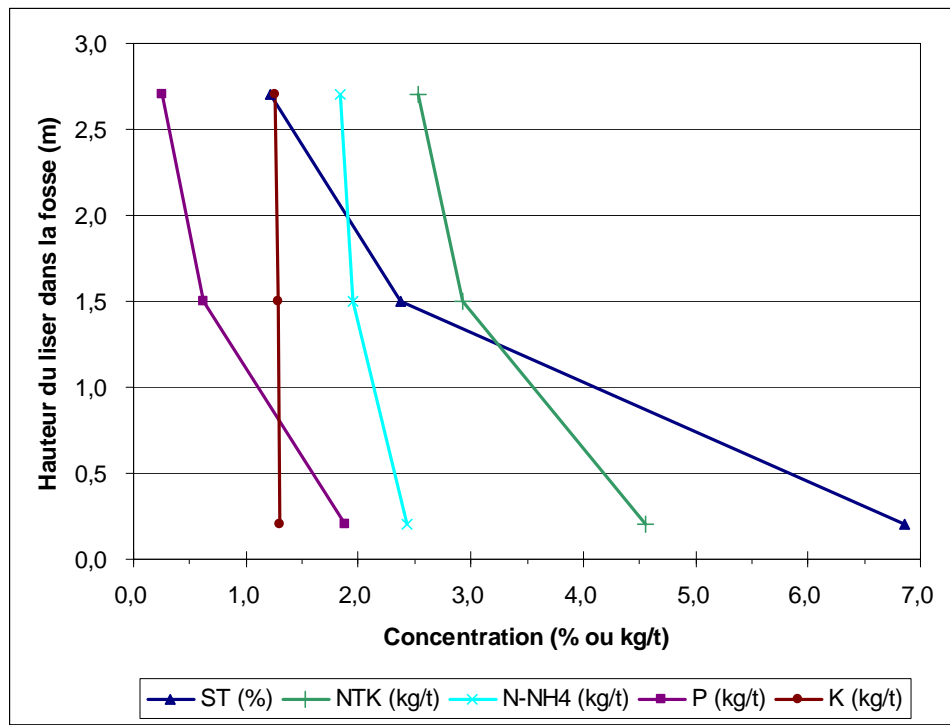


Figure 8
Variation de quelques paramètres du lisier en fonction de la profondeur dans une fosse
(source : Fertior, 1996).

9.2.2 Décantation centrifuge

Il existe plusieurs configurations possibles de décanteurs centrifuges. Toutefois, elles sont toutes constituées à la base d'un cylindre généralement horizontal, conique à une extrémité, et d'une vis convoyeuse à l'intérieur (

Figure 10), ces deux éléments tournant à grande vitesse. Dès que le lisier est introduit à l'intérieur du cylindre (10) via le tube d'alimentation (1), il est immédiatement entraîné vers la paroi par la force centrifuge et forme un anneau liquide dont l'épaisseur est contrôlée par des plaquettes ajustables (12). Les particules solides décantent à travers cette couche de lisier vers la paroi interne du cylindre (2). Afin de les extraire, la vis convoyeuse (3) tourne à une fréquence légèrement différente de celle du cylindre extérieur et transporte ces solides vers l'extrémité conique où elles quittent le cylindre au bout le plus étroit (8). Le lisier décanté (centrat) est évacué par surverse au-dessus des plaquettes (12).

Selon le modèle de décanteur, des ajustements sont possibles permettant d'optimiser ses performances. Les trois principaux paramètres internes d'opération sont les suivants :

- Le réglage de *l'épaisseur de l'anneau liquide* découle d'un compromis entre la siccité du solide extrait et le taux de capture des MES du lisier. Ainsi, un anneau de faible épaisseur permet une plus grande plage d'essorage des particules vers l'extrémité fine du cylindre et entraîne une plus grande siccité du solide extrait. À l'inverse, un anneau liquide plus épais augmente le temps de résidence du lisier dans le cylindre et

réduit la plage d'essorage des particules, ce qui favorise un meilleur taux de capture des MES au détriment de la siccité du solide extrait.

- La vitesse de sédimentation des particules varie avec le carré de la *vitesse de rotation du cylindre*. Par conséquent, l'augmentation de la vitesse de rotation permet un meilleur taux de capture des MES et un meilleur essorage des particules, donc une plus grande siccité du solide extrait.
- La *vitesse relative* (ou différentielle) entre le cylindre et la vis convoyeuse permet d'extraire plus ou moins rapidement les solides du lisier. Elle doit être d'autant élevée qu'il y a de matière solide à extraire. Par ailleurs, une grande vitesse relative améliore le taux de capture des MES mais diminue le temps d'essorage des solides et donc la siccité de la fraction solide extraite. À l'inverse, une faible vitesse relative augmente le temps d'essorage et produit un solide d'une siccité plus élevée au détriment du taux de capture des MES.

Le choix d'un décanteur centrifuge et l'ajustement de ses paramètres d'opération sont déterminés à partir du volume et des caractéristiques du lisier à traiter de même que des objectifs de traitement visés. Un décanteur muni d'un cylindre d'un diamètre intérieur de 250 mm à 300 mm opéré à une vitesse de 4000 à 5000 tr/min a généralement la capacité de traiter de 1,0 à 6,0 m³/h de lisier et répond généralement aux besoins d'une ferme.

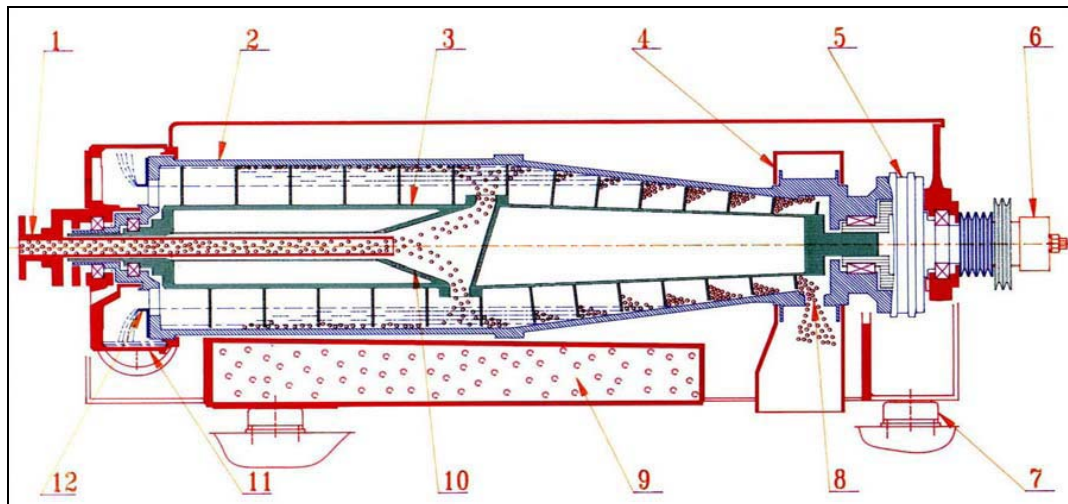
Le Tableau 6 présente quelques résultats typiques des performances de décanteurs centrifuges pour le traitement de lisiers présentant des teneurs en matière sèche variant de 0,9 % à 13 %. La siccité de la fraction solide varie globalement de 25 % pour les lisiers les moins concentrés à 40 %. Cette fraction solide représente de 2 % à 16 % de la masse de lisier brut et présente une masse volumique très variable de 400 à 800 kg/m³ (IRDA, 2006b). Le taux de capture des solides totaux se situe généralement entre 40 % et 50 % alors que celui des éléments particuliers est plutôt de l'ordre de 65 % à 70 % pour le phosphore et de près de 80% pour le magnésium. Le potassium étant très soluble, il se retrouve dans une même concentration dans les fractions solide et liquide. Son taux de capture est donc équivalent à la proportion massique de la fraction solide. L'azote du lisier se retrouve sous une forme soluble (N-NH₄) et non soluble (azote organique). Aussi, le taux de capture se situe entre ceux du potassium et du phosphore.

De façon générale, l'efficacité du décanteur centrifuge est supérieure à celle des autres séparateurs mécaniques. Par ailleurs, l'ajout de coagulants et de flocculants au lisier brut augmente le taux de capture des différents éléments du lisier en permettant l'extraction d'une partie de la matière colloïdale du lisier. Cette amélioration de la capture des MES se fait généralement au détriment de la siccité de la fraction solide. Selon les objectifs de traitement, leur utilisation peut être justifiable et ce, malgré leur coût.

Pour un fonctionnement optimal du décanteur, des essais doivent être réalisés. Un débit fixe d'alimentation d'un lisier dont les caractéristiques sont les plus constantes possibles permettront une opération optimale de cet équipement.



Figure 9
Décanteur centrifuge de marque Pieralisi.



Légende : 1) Tube d'alimentation; 2) Bol cylindro-conique; 3) Vis de convoyage; 4) Carter sédiments;
5) Réducteur; 6) Limiteur de couple; 7) Amortisseur; 8) Sortie sédiments; 9) Bâti monobloc;
10) Distributeur; 11) Carter effluent; 12) Plaquettes de réglage du niveau hydraulique interne

Figure 10
Coupe longitudinale schématique d'un décanteur centrifuge à axe horizontal avec alimentation à contre-courant
(source : Moatamri, 2003).

Tableau 6
Performances types de la décantation centrifuge.

Type de lisier / Source	Taux de matière sèche (%)			Proportion du lisier brut (% b.m.)		Taux de capture dans la fraction solide (%)					
	LB ¹	FL ¹	FS ¹	FL ¹	FS ¹	ST	N _{bt}	P	K	Ca	Mg
Lisier maternité											
Consumaj ²	0.9	0.6	25	98	2	48	n.d.	53	n.d.	n.d.	n.d.
IRDA ³	1.8	1.2	36	98	2	32	11	65	3	45	79
Lisier engraissement											
IRDA ⁴	3	2	31	96	4	50	27	58	8	50	65
IRDA ⁵	6	4	38	93	7	42	14	69	5	55	84
Consumaj ⁶	10	6	34	87	13	43	n.d.	69	n.d.	n.d.	n.d.
IRDA ⁷	13	8	39	84	16	48	20	68	15	41	89

¹ LB : lisier brut; FL : fraction liquide; FS : fraction solide.

² Consumaj, 2003. Équipement : ALDEC 406.

³ IRDA, 2006b. Moulée fabriquée à la ferme; moyenne de 4 essais; équipement : Asserva-300.

⁴ IRDA, 2006b. Moulée cubée; moyenne de 5 essais; équipement : Asserva-300.

⁵ IRDA, 2006b. Moulée fabriquée à la ferme; moyenne de 11 essais; équipement : Asserva-300.

⁶ Consumaj, 2003. Équipement : ALDEC 406.

⁷ IRDA, 2006b. Moulée fabriquée à la ferme; moyenne de 3 essais; équipement : Asserva-300.

9.3 ASPECTS ÉCONOMIQUES

La décantation naturelle ne nécessite aucun investissement particulier, étant plutôt une pratique de gestion qui peut être mise en place avec les installations et les équipements existants. Un investissement peut toutefois être consenti pour améliorer la gestion de la reprise, soit par la construction d'un puits de pompage à l'intérieur de la fosse et l'installation d'une pompe submersible.

Les avantages économiques de cette pratique se présentent essentiellement pour les entreprises dont les besoins en fertilisants sont inférieurs à leur production. La décantation naturelle permet alors d'exporter à plus faible coût les boues liquides qui contiennent le phosphore et les éléments particuliers en plus grande concentration que le lisier brut. L'ampleur de ces gains sera fonction en grande partie de l'efficacité de la décantation naturelle avec le lisier spécifique de la ferme et de la distance de transport des boues chez le receveur.

L'installation d'un décanteur centrifuge nécessite la construction d'un bâtiment pour abriter les équipements ainsi qu'une structure d'entreposage des solides (sauf si ils sont destinés à un centre de traitement autorisé). Le coût total des immobilisations varie de \$ 190 000 à \$ 300 000, dont \$ 130 000 à \$ 200 000 pour les équipements, centrifugeuse et périphériques, et \$ 60 000 à \$ 100 000 pour les infrastructures, bâtiment et entreposage des solides (IRDA, 2006; Consumaj, 2003). Des subventions couvrant 70 % des immobilisations jusqu'à concurrence de \$ 300 000 sont disponibles aux entreprises admissibles (MAPAQ, 2009).

L'énergie électrique consommée par la décantation centrifuge varie selon les caractéristiques du lisier, l'équipement utilisé et ses ajustements. Elle est typiquement de 2 à 3,5 kWh / m³ de lisier traité. L'opération normale de l'équipement requiert de 15 à 30 minutes de main-d'œuvre par jour.

Compte tenu de ces paramètres, le coût global d'un traitement par décantation centrifuge varie de \$ 3,00 à \$ 4,00 par m³ de lisier en considérant les subventions, et de \$ 5,50 à \$ 6,50 sans les subventions. Les coûts de la valorisation ou de l'élimination des co-produits sont par ailleurs exclus de cette estimation de même que les gains éventuels qui pourraient découler de la vente de terres ou de la réduction des coûts de transport, ceux-ci étant très variables d'une entreprise à une autre.

9.4 LES MODES D'ORGANISATION

La décantation naturelle étant un processus relativement lent, surtout pour du lisier comprenant de nombreuses particules fines, elle requiert un volume de décanteur important. Pour cette raison, elle est limitée en pratique à une application à la ferme où la fosse elle-même constitue le décanteur.

Par contre, le décanteur centrifuge peut être utilisé pour tout mode d'organisation et peut facilement être assemblé sur une unité mobile. Son utilisation à la ferme implique toutefois des coûts d'investissement relativement élevés pour une capacité qui est généralement sensiblement supérieure aux besoins d'une seule ferme. Compte tenu de ses performances, il peut être utilisé en traitement primaire ou pour la déshydratation des boues issues d'un procédé biologique.

9.5 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

Comme pour les équipements de séparation mécaniques ou l'isolation sous lattes, la décantation, naturelle ou par centrifugation, permet de générer deux produits aux caractéristiques très distinctes et pour lesquels des applications différentes sont préconisées.

Compte tenu de l'efficacité d'extraction des éléments particuliers du lisier, la fraction liquide issue de la décantation centrifuge présente des ratios N_{tot}/P et K/(Ca+Mg) de l'ordre de 8 et 2,7 respectivement comparativement à 3,5 et 1 pour le lisier brut. De plus, l'ajout éventuel de coagulants/floculants accentuerait ces écarts. Une attention doit donc être apportée lors de la valorisation de ce co-produit afin d'éviter sur certaines cultures les carences en phosphore, calcium et magnésium (Martin et Léveillé, 2007). Les éléments fertilisants étant majoritairement dissous, leur efficacité est généralement supérieure à celle du lisier brut. Suite à l'utilisation de coagulants/floculants, les co-produits seront considérés comme des MRF; leur valorisation sera donc sujette à l'obtention d'un certificat d'autorisation.

La fraction solide, compte tenu de ses caractéristiques, se prête bien au compostage. Elle peut également être valorisée directement au champ tout en considérant une plus faible biodisponibilité de ses fertilisants.

10. FLOTTATION

10.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

La flottation est un procédé de séparation solide-liquide qui est généralement utilisée pour l'enlèvement des MES d'un effluent ou pour épaissir les boues extraites d'un système de traitement biologique. Elle permet l'enlèvement plus complet et plus rapide des particules fines ou peu denses que la sédimentation. Dans le contexte du traitement de lisier de porcs au Québec, la flottation est utilisée en traitement primaire et est intégrée dans une chaîne de traitement plus complète.

Par opposition à la décantation, la flottation s'applique généralement à des particules dont la masse volumique réelle ou apparente (flottation assistée) est inférieure à celle du liquide qui les contient. Si la différence de masse volumique est naturellement suffisante pour la séparation, la flottation est dite naturelle. Si cette différence n'est pas suffisante ou que les solides sont plus denses que le liquide, la flottation est assistée. Des fines bulles de gaz sont générées dans l'effluent et se fixent aux particules solides en leur permettant de flotter jusqu'en surface. Ces solides sont alors extraits par le dessus du flottateur à l'aide d'un racleur.

Deux technologies de flottation sont utilisées au Québec :

- Flottation à air dissous : un système d'injection d'air sous pression génère les fines bulles d'air dans le lisier (procédé SEQUENCIA) ;
- Flottation biologique : utilise les gaz déjà en solution dans le lisier ainsi que ceux générés par la digestion anaérobie (CO_2 , CH_4) du lisier pour faire flotter les solides du lisier (procédé LISOX) (Figure 11 et Figure 12).

La **coagulation** et la **floculation** des particules fines du lisier (colloïdes) permettent d'améliorer les performances de séparation de ces équipements. Ces produits agglomèrent les petites particules en floccs offrant ainsi une plus grande surface de contact avec l'air (ou les gaz de digestion), ce qui permet de les alléger suffisamment pour qu'elles puissent monter en surface.

10.2 ASPECTS TECHNIQUES

- Le Tableau 7 présente les taux de capture de différents paramètres pour les deux technologies de flottation présentes au Québec.
- La flottation prise séparément permet un très haut taux de capture des MES (plus de 90 % avec utilisation de polymères), des solides et des éléments particuliers (phosphore, azote organique, etc.).
- Les performances de déshydratation sont relativement faibles : le volume de boues est important et leur siccité varie de 3 % à 12 %. Une déshydratation subséquente de ces boues est donc indiquée pour en faciliter la gestion.



Figure 11
Vue générale d'un flottateur à air dissous (source :
Horizon Environnement Technologies).



Figure 12
Vue des racleur sur le dessus du flottateur
(source : Horizon Environnement Technologies).

- Un tamisage du lisier brut en amont du flottateur permet d'enlever les particules grossières du lisier (tamis) qui ne pourraient être retirées par flottation et réduit les besoins en produits coagulants / flocculant.
- Des coagulants et/ou des flocculants sont utilisés afin d'améliorer le taux de capture des MES et des éléments particulaires et d'augmenter la capacité (débit) de traitement de l'équipement. La nature et le dosage des produits coagulants et/ou flocculants que requiert la flottation sont déterminés au cas par cas à partir des caractéristiques spécifiques du lisier à traiter. Les produits utilisés en agriculture sont principalement des polymères organiques à charge positive (cationiques). Leur dosage est fonction des ST et varie typiquement de 5 g à 10 g pour chaque kilogramme de matière sèche à traiter.
- Le temps de résidence des effluents dans le flottateur est de l'ordre de quelques heures, ce qui permet un système relativement compact.

Tableau 7
Performances attendues des procédés de flottation du lisier de porcs.

Paramètre	Taux de capture (%) ¹				
	Flottation air dissous ²			Flottation biologique ⁶	
	Flottation seule ³	Flottation avec séparation ⁴	Procédé complet ⁵	Flottation seule ³	Procédé complet ⁷
Masse totale	50	17	19	16	15
Solides totaux	77	63	66	66	77
Azote total	62	39	40	47	40
Azote ammoniacal (N-NH ₄)	49	19	n.a.	20	15
Phosphore total	84	75	75	81	82
Potassium	48	17	17	48	47
MES	n.d.	n.d.	n.d.	94	95

¹ Taux de capture mesuré sur la base de l'intrant à l'étape mentionné. Pour le procédé complet, l'intrant est le lisier brut.

² Procédé SEQUENCIA - Moyenne de trois essais sur des lisiers avec ST de 3,5 %, 1,4 % et 1,3 % (IRDA, 2005).

³ Ne considère que l'unité de flottation, sans séparation des boues extraites.

⁴ La séparation utilisée est de type filtration gravitaire (IRDA, 2005).

⁵ Le procédé complet comprend le tamisage du lisier brut, la flottation du lisier tamisé, la filtration gravitaire des boues de flottation et le traitement aérobie du lisier séparé par flottation (IRDA, 2005).

⁶ Procédé LISOX.

⁷ Le procédé complet comprend le tamisage du lisier brut, la flottation du lisier tamisé et la filtration sur tamis des boues de flottation et des boues de tamisage.

10.3 ASPECTS ÉCONOMIQUES

L'installation de ce procédé nécessite minimalement un équipement de tamisage du lisier brut, une unité de flottation comprenant le système de dosage de polymères, un équipement de déshydratation des boues de flottation de même qu'un système d'alimentation en air dissous (sauf pour la flottation biologique). Tous ces équipements doivent être abrités dans un bâtiment chauffé. Un entreposage du produit solide doit également être considéré si celui-ci n'est pas exporté immédiatement. Un investissement, avant subvention, de l'ordre de \$ 300 000 à \$ 400 000 est requis pour le traitement annuel de 5 000 m³ de lisier, incluant les équipements, le bâtiment et la structure d'entreposage des solides.

Outre les frais fixes, les principaux coûts d'opération sont liés à :

- L'achat de polymères, soit de 1 à 2 \$/m³ pour un dosage de 5 à 10 g de polymère par kg de solide et pour un coût de polymère de 7,50 \$/kg.
- L'énergie pour le chauffage des bâtiments, l'opération des pompes à lisier et l'alimentation en air dissous (sauf pour la flottation biologique).
- La main-d'œuvre, le suivi et l'entretien des immobilisations.
- La gestion des produits de séparation.

10.4 LES MODES D'ORGANISATION

Le procédé de flottation est utilisé seulement à la ferme au Québec (procédés SEQUENCIA et LISOX). Il pourrait toutefois être intégré dans d'autres chaînes de traitement, soit comme traitement primaire ou pour l'épaississement des boues issues d'un procédé biologique, pour d'autres modes d'organisation (collectif, centralisé, etc.).

10.5 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

- Étant dissoute dans le lisier, la forme minérale de l'azote est peu affectée par le procédé de flottation. Elle représente donc la très grande proportion de l'azote du lisier traité, soit de 80 % à plus de 90 %. Le lisier traité affiche un coefficient apparent d'utilisation de l'azote plus élevé que celui du lisier (Chantigny et al., 2004).
- Le taux très élevé de capture des solides et des éléments particuliers génère une fraction liquide dont le rapport N_{tot} / P est plus proche des besoins moyens des cultures au Québec.
- Les éléments solubles demeurant en majorité dans le lisier traité, il faut prévoir l'impact à long terme d'une utilisation possible de dose massive de lisier traité sur une même parcelle, notamment pour le potassium.
- En raison de l'utilisation de produits exogènes (coagulant et floculant), les boues produites sont considérées comme des matières résiduelles fertilisantes (MRF) ; leur valorisation au champ nécessite donc un certificat d'autorisation du MDDEP. Ces produits étant généralement organiques, ils contiennent toutefois très peu de métaux qui pourraient éventuellement s'accumuler dans les sols.

11. PRÉCIPITATION

11.1 PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

En théorie, il est possible de faire précipiter l'ensemble des solides en suspension et des solides dissous d'un effluent par l'ajout de différents produits (polymères, réactifs acides ou basiques, etc.). Toutefois, la quantité de solides contenus dans le lisier par rapport à des eaux usées urbaines rend difficile et coûteux leur précipitation. Aussi, dans le contexte du traitement de lisier où la gestion de l'azote et du phosphore est prioritaire, l'application de la précipitation physico-chimique au traitement des lisiers vise essentiellement l'extraction de composés solubles, principalement l'azote ammoniacal (ammonium NH_4^+ , forme dissoute de l'azote dans un lisier brut) et le phosphore sous forme soluble (PO_4^{3-} , orthophosphate).

Ce procédé est donc appliqué à un lisier qui a subi un prétraitement poussé ayant permis l'extraction de la majorité des solides en suspension et des différents éléments particuliers, soit typiquement, la décantation centrifuge qui permet l'extraction de plus de 90% des MES et du phosphore lorsque des flocculants sont utilisés.

La précipitation des composés solubles du lisier est provoquée par des réactions chimiques entre ces composés et des réactifs chimiques qui sont ajoutés. Ces réactions produisent des composés insolubles plus denses que le lisier qui sédimentent au fond du réacteur. Le solide alors extrait constitue un engrais minéral azoté et phosphaté.

Ce procédé, tel qu'appliqué au lisier de porcs, a été développé en France, à l'origine pour l'extraction de l'azote minéral (NH_4^+) puis pour le phosphore dissous. Ce procédé a été mis au point par l'Association pour la valorisation des déjections animales (procédé AVDA).

11.2 ASPECTS TECHNIQUES

Bien que le procédé de précipitation soit théoriquement simple, sa mise au point demeure complexe en raison du grand nombre de produits que contient le lisier, de la variabilité de ses caractéristiques (pH, température, etc.) et du nombre de réactifs qu'il est possible d'utiliser pour effectuer la précipitation. Après analyse de différentes combinaisons de réactions de précipitation, celle du phosphate ammoniaco-magnésien a été retenue (Brionne et Martin, 1994). Ce précipité est aussi connu sous le nom de struvite et il constitue un fertilisant, peu utilisé, mais dont les caractéristiques agronomiques sont connues. Sa formulation chimique est $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$.

Afin d'obtenir ce produit de précipitation, du phosphate soluble et du magnésium doivent être ajoutés au lisier séparé. Différentes sources sont disponibles telles que l'acide phosphorique (H_3PO_4) et des phosphates de potassium comme source de phosphore et des chlorure (MgCl_2), sulfate (MgSO_4), carbonate (MgCO_3) et oxyde (MgO) de magnésium. L'acide phosphorique et l'oxyde de magnésium ont démontré la meilleure efficacité globale d'extraction de l'azote ammoniacal et de la DCO et ont été retenus pour ce procédé (Brionne et Martin, 1994).

Ce procédé physico-chimique non-destructif vise la récupération d'un maximum de fertilisants en s'attaquant séquentiellement aux composantes organique et minérale du lisier. Afin de pouvoir réaliser la précipitation de façon la plus économique possible, les étapes de traitement suivantes sont requises :

- Séparation de phases poussée par presse à bande ou centrifugation ;

- Co-précipitation de l'ammoniac et du phosphore de la fraction liquide du lisier séparé avec de l'acide phosphorique et de la magnésie ;
- Décantation du précipité phosphate ammoniaco-magnésien ;
- Séparation par presse à bande ou centrifugation du précipité minéral.

Les Tableau 8 et Tableau 9 présentent respectivement la répartition et la concentration de certains paramètres dans chacun des co-produits issus de la précipitation chimique. Le procédé requiert typiquement 14,9 kg d'acide phosphorique et 8 kg d'oxyde de magnésium pour traiter 1 m³ de lisier brut dont la phase liquide obtenue de la séparation de phases contient environ 2 kg d'azote ammoniacal. La quantité d'acide phosphorique et de magnésium est fortement conditionnée par la quantité d'azote ammoniacal contenu dans la phase liquide.

Le précipité minéral (struvite) est extrait du lisier puis déshydraté pour être utilisé comme fertilisant. Il est à noter qu'il contient plus de phosphore que le lisier brut en raison de l'ajout de l'acide phosphorique. Par ailleurs, bien que la charge du lisier traité (L2) soit très faible, elle demeure trop élevée pour que celui-ci soit rejeté au milieu naturel sans une épuration complémentaire.

Ce procédé étant de nature chimique, les équipements sont compacts et son efficacité est stable et indépendante des conditions climatiques

Tableau 8
Répartition de différents composants du lisier dans les co-produits
de la précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien pour le procédé AVDA (Coillard, 1996).

Paramètre	Unité	Lisier brut ¹	Séparation de phases poussée ²		Précipitation azote ammoniacal ³	
			Solide (S1)	Liquide (L1)	Solide (S2)	Liquide (L2)
Q	(kg)	1 000	177	971	84	909
ST	(kg)	46	42	4	28	2
N _{TK}	(kg)	4,9	2,9	2,0	1,4	0,6
	(%)	(100)	(59)	(41)	(29)	(11)
N-NH ₄ ⁺	(kg)	4,2	2,4	1,8	1,3	0,4
	(%)	(100)	(57)	(43)	(31)	(10)
P	(kg)	1,0	1,0	0,1	3,9	0,0
	(%)	(100)	(95)	(5)	(390)	(2)
K	(kg)	3,3	0,8	2,6	1,0	1,6
	(%)	(100)	(23)	(78)	(30)	(48)

¹ Les données entre parenthèses indiquent la proportion de ce paramètre par rapport au lisier brut.

² Comprend l'utilisation de 150 L d'une solution de polymère à un taux de 10 g / kg ST et une dilution de 3 g / L.

³ Ajout de réactifs : 14,9 kg d'acide phosphorique (H₃PO₄) et 8 kg d'oxyde de magnésium (MgO).

Tableau 9
Concentration de différents composants du lisier dans les co-produits
de la précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien pour le procédé AVDA (Coillard, 1996).

Paramètre	Unité	Lisier brut	Séparation de phases poussée ¹		Précipitation azote ammoniacal ²	
			Solide (S1)	Liquide (L1)	Solide (S2)	Liquide (L2)
ST	(%)	5	24	0,4	33	0,2
N _{TK}	(kg / tm)	4,9	16,4	2,1	16,7	0,6
N-NH ₄ ⁺	(kg / tm)	4,2	13,6	1,9	15,5	0,5
P	(kg / tm)	1,0	5,4	0,1	46,5	0,0
K	(kg / tm)	3,3	4,2	2,7	11,9	1,7

¹ Comprend l'utilisation de 150 L d'une solution de polymère à un taux de 10 g / kg ST et une dilution de 3 g / L.

² Ajout de réactifs : 14,9 kg d'acide phosphorique (H₃PO₄) et 8 kg d'oxyde de magnésium (MgO).

11.3 ASPECTS ÉCONOMIQUES

La réalisation de la précipitation chimique du lisier brut implique d'abord une séparation de phases poussée puis l'ajout au lisier prétraité de réactifs chimiques, notamment de l'acide phosphorique et de la magnésie dans le cas du procédé AVDA. Par conséquent, c'est un procédé dont les coûts sont généralement élevés, soit plus de 20 \$/m³.

Le recours à ce procédé est donc pertinent essentiellement pour les entreprises dont le volume en excédent à la ferme est limité et pour lesquelles la régularisation de leur situation d'un point de vue réglementaire impliquerait des coûts (investissement et opération) importants.

11.4 LES MODES D'ORGANISATION

Compte tenu de la nature chimique du procédé de précipitation physico-chimique, les équipements sont généralement très compacts. D'autre part, les coûts élevés associés à ce traitement, notamment pour les réactifs, limitent aux excédents de la ferme les volumes qu'il peut être intéressant de traiter. Par conséquent, le mode organisationnel le mieux adapté est l'unité mobile de traitement qui saura répondre aux besoins spécifiques de chaque producteur.

11.5 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

Le procédé de précipitation physico-chimique est un procédé conservatif, de sorte que l'ensemble des éléments fertilisants contenus dans le lisier brut se retrouvent dans les co-produits. Ces derniers sont très différenciés : un produit solide, essentiellement de nature organique, issus de la séparation de phases poussée, un engrais minéral et un lisier très épuré pouvant être appliqué par irrigation essentiellement à une dose hydraulique.

La valorisation de ces co-produits doit tenir compte de leurs caractéristiques. Toutefois, l'efficacité agronomique de ces co-produits demeure à être validés, particulièrement pour le solide issu de la séparation de phases. Le co-produit minéral, le phosphate ammoniaco-magnésien (ou struvite) est un engrais connu en agriculture bien qu'il soit peu répandu étant généré surtout dans les usines de traitement des eaux usées lors de l'étape de déphosphatation de l'effluent.

D'un point de vue environnemental, le procédé implique la gestion et la manipulation de plusieurs produits distincts, notamment des coagulants pour la séparation de phases poussée (polymère cationique), de la magnésie (MgO) et de l'acide phosphorique (H_2PO_4). Par conséquent, les risques pour l'environnement et pour la santé humaine sont à considérer en cas de déversement accidentel.

D'autre part, le recours à des produits exogènes (polymères, magnésie et acide phosphorique) qualifiera les co-produits comme des MRF, ce qui implique qu'un certificat d'autorisation soit être obtenu auprès du MDDEP pour la valorisation agronomique de ces co-produits.

PROCÉDÉS BIOLOGIQUES

Les procédés biologiques sont généralement utilisés afin d'éliminer les composés carbonés (matière organique) sous forme soluble (charge ou pollution organique) pour lesquels les solutions par voies physiques ou physicochimiques sont souvent peu efficaces, très coûteuses ou difficiles à mettre en place.

Pour ces procédés, la matière organique est éliminée en partie sous forme gazeuse, soit principalement dioxyde de carbone (CO₂) et vapeur d'eau (H₂O) pour les procédés aérobies et en biogaz, mélange de méthane (CH₄) et de dioxyde de carbone (CO₂), pour les procédés anaérobies et en partie également par la croissance de nouvelles cellules (biomasse microbienne essentiellement). Cette biomasse est extraite par la suite dans les boues biologiques par des procédés de séparation (séparation mécanique, décantation, flottation, etc.). Les procédés biologiques constituent, à ce titre, un traitement secondaire, soit le traitement des solides dissous d'un effluent.

Comme pour l'ensemble des procédés de traitement, il est possible de regrouper les procédés biologiques selon certaines de leurs caractéristiques. Par exemple, on distingue :

- les **procédés avec culture libre en suspension** où les microorganismes sont maintenus en suspension dans l'effluent à traiter par opposition aux **procédés avec culture fixée** où les microorganismes sont fixés sur des supports organiques ou synthétiques ;
- les **procédés aérobies** pour lesquels les microorganismes, principalement des bactéries, responsables de la dégradation du lisier requièrent la présence d'oxygène pour leur croissance alors que les **procédés anaérobies** recourent à des microorganismes qui se développent en milieu dépourvu d'oxygène ;
- selon la température à laquelle les bactéries spécifiques au procédé se développent :
 - basse température (5 à 25°C) (**procédé psychrophile**),
 - température intermédiaire (25 à 45°C) (**procédé mésophile**),
 - température élevée (plus de 45°C) (**procédé thermophile**) ;
- les procédés en phase liquide ou en phase solide ;
- selon le régime d'alimentation de l'effluent, soit alimentation en **continu**, en **semi-continu** ou en **discontinu** (cuvée, « batch »).

Les procédés aérobies

Les procédés aérobies exigent qu'une quantité suffisante d'oxygène soit fournie aux microorganismes responsables de la dégradation de la matière organique. Pour les procédés aérobies en phase liquide (boues activées, lagunage), cette quantité représente minimalement 1 mg O₂ / L. Cette concentration en oxygène dissous représente moins de 7 % de saturation pour un effluent à une température de 0°C alors qu'elle en représente près de 15 % pour un procédé mésophile (voir section 4.2.7). Cet oxygène est fourni par des aérateurs mécaniques tels que des diffuseurs fines bulles, des aérateurs de surface, des venturi ou des injecteurs ou par simple diffusion dans le cas du lagunage.

Pour les procédés en phase solide (compostage), le contenu de l'oxygène dans l'air interne du compost doit être maintenu minimalement à 5 %, mais préférablement à 10 %, ce qui représente respectivement 25 % et 50 % du contenu en oxygène de l'air atmosphérique. L'aération est apportée mécaniquement, à l'aide de soufflante à

pression statique élevée, par retournement des andains de compostage ou par diffusion passive de l'oxygène dans le compost.

Dans les procédés aérobies, l'énergie contenue dans la matière organique dissoute de l'effluent est utilisée à (Tableau 10) :

- 60 % pour la croissance de nouveaux micro-organismes (biomasse) qui seront extraits par la suite sous forme de boues biologiques ;
- 40 % en dégagement de chaleur : la croissance des micro-organismes aérobies est un processus exothermique et s'accompagne d'un dégagement important de chaleur.

Plusieurs classes de procédés aérobies sont exploitées selon les caractéristiques des effluents à traiter :

- Boues activées et procédé extensif de lagunage naturel ou de lagunage aéré (étangs aérés) : procédé avec culture libre, avec ou sans recirculation des boues et avec aération continue ou séquentielle ;
- Biofiltration, lit ruisselant, disque biologique : culture fixée avec aération continue ;
- Compostage : culture fixée avec aération continue, séquentielle ou par diffusion passive.

Procédés biologiques anaérobies

Ces procédés nécessitent un potentiel d'oxydoréduction inférieur à -250 mV. La transformation de l'énergie contenue dans la matière organique dissoute de l'effluent est différente de celle des procédés aérobies (Tableau 10) :

- 10 % va à la croissance de nouveaux micro-organismes (biomasse) ;
- 90 %, à la production du méthane (CH_4);
- Le dégagement de chaleur est négligeable.

Comme pour les procédés aérobies, plusieurs classes de procédés anaérobies sont en exploitation :

- Réacteur mélangé, à lit de boues, bassin de méthanisation : culture libre, avec recirculation ou non des boues;
- Réacteur UASB (up-flow anaerobic sludge blanket), filtre anaérobie, lit fluidisé.

Tableau 10
Comparaison de l'utilisation de l'énergie de la matière organique pour les procédés biologiques

Produit du métabolisme	Procédé aérobie	Procédé anaérobie
Croissance biomasse	60 %	10 %
Chaleur	40 %	Négligeable
Méthane	Négligeable	90 %

12. BOUES ACTIVÉES

Les procédés aérobies de type boues activées sont les plus courants pour le traitement du lisier. Ils représentent actuellement plus de 75 % des systèmes de traitement de lisier en France (Dénitral, Bio-Armor, Technolyse, Val Epure, etc.) et quelques systèmes ont été installés au Québec (Biofertile).

12.1 OBJECTIFS DU PROCÉDÉ

Les principaux objectifs de ces procédés appliqués au traitement du lisier sont :

- La réduction de la charge organique (DBO₅ et DCO), principalement dissoute, dans un lisier brut ou prétraité ;
- La réduction de la charge azotée par volatilisation d'azote ;
- La réduction des pathogènes, et
- La réduction des odeurs du lisier.

Lorsqu'ils sont intégrés à une chaîne de traitement, des réductions plus poussées de ces paramètres sont généralement obtenues de même qu'une réduction de paramètres non volatils tels que le phosphore, le calcium, le magnésium et les métaux (cuivre et zinc notamment).

12.2 PRINCIPE DE TRAITEMENT

Les procédés biologiques s'attaquent principalement aux solides dissous qui ne peuvent être éliminés par des procédés mécaniques contrairement aux MES. La matière organique dissoute sert alors de nourriture aux microorganismes, principalement des bactéries. Les boues activées, qui sont des procédés de culture libre en suspension, permettent de maximiser le contact entre les microorganismes et cette matière organique, ce qui permet une dégradation plus rapide et plus complète de l'effluent. Environ le tiers de la matière organique de l'effluent sert à la production d'énergie, les deux tiers restant, qui servent à la croissance bactérienne, se retrouvent sous forme de boues en excès.

Le procédé de boues activées est généralement intégré à une chaîne plus complète de traitement dont les composantes varient selon les objectifs de traitement fixés. La Figure 13 présente un exemple de chaîne de traitement basée sur un procédé de boues activées complété par une séparation de phases du lisier brut, la déshydratation de l'effluent après traitement aérobie et le polissage de l'effluent avant son rejet au milieu naturel.

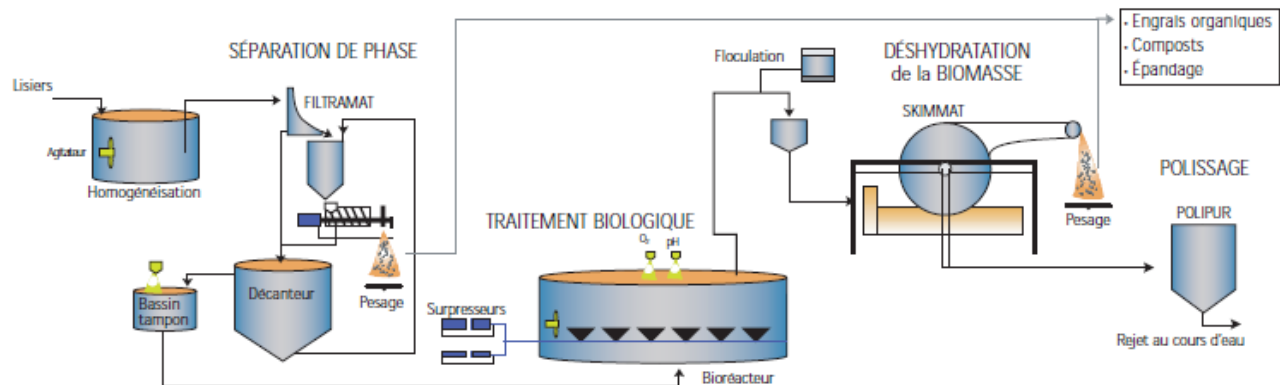


Figure 13
Schéma de procédé de Biofertile^{MD} C (source : Envirogain)

12.3 ASPECTS TECHNIQUES

Plusieurs aspects techniques sont à considérer dans l'exploitation d'un procédé de boues activées, la majorité découlant de la nécessité de répondre aux besoins des microorganismes aérobies responsables de la dégradation de l'effluent.

- Les microorganismes profitent d'une croissance optimale lorsque la proportion relative DBO₅ : N : P de l'effluent est d'environ de 100 : 5 : 1. Dans ces conditions, l'azote et le phosphore sont incorporés dans les tissus des bactéries et sont donc extraits de l'effluent avec les boues en excès ;
- Dans le cas du lisier brut, l'azote et le phosphore sont généralement en excès par rapport à la DBO₅ (tableau 1) ; ils ne peuvent donc pas être extraits en totalité par la seule croissance microbienne ;
 - Alors que le phosphore peut être extrait par une séparation de phases poussée (ex. : centrifugation), l'azote étant principalement sous forme dissoute (NH₄⁺), il demeure en excès ;
- La concentration en oxygène dissous dans le lisier à traiter doit préférablement être maintenue entre 10 et 15 % de saturation, soit de l'ordre de 0,7 à 1,5 mg O₂/L pour un procédé mésophile ;
- L'abattement de l'azote du lisier excédentaire aux besoins des microorganismes peut se faire par un processus de nitrification – dénitrification. La nitrification consiste à l'oxydation de l'azote ammoniacal du lisier par des bactéries spécifiques qui le transforment successivement en nitrite (NO₂⁻) puis en nitrate (NO₃⁻). Cette transformation est possible lorsque les composés organiques sont éliminés et le temps de résidence des boues, suffisamment long (plusieurs jours). La dénitrification permet la transformation de ces nitrates en azote moléculaire (N₂) qui s'échappe dans l'air sous forme de bulles. Celle-ci se produit en conditions anoxiques en présence de carbone facilement assimilable. Pour cela, la dénitrification est généralement effectuée dans le bassin d'aération lors d'une phase d'arrêt des aérateurs et avec un apport de lisier frais riche en carbone assimilable ;
- La croissance lente des bactéries responsables de la nitrification nécessite qu'un temps de résidence hydraulique de plus de 3 jours soit maintenu ;
- Lorsque la concentration en oxygène dissous est trop élevée, que le carbone n'est pas facilement disponible ou que le pH est acide, la dénitrification partielle des nitrates entraîne la production d'oxyde d'azote, notamment du N₂O qui est un gaz à effet de serre puissant ;

- Un temps de résidence hydraulique inférieur à 3 jours permet difficilement de réduire la DBO₅ provenant des matières en suspension;
- Plusieurs mois sont généralement nécessaires pour que le procédé atteigne son plein potentiel (établissement de la flore, stabilisation du procédé, combinaison de procédé à optimiser, etc.).



Figure 14
Réacteur d'un procédé aérobie par boues activées Biofertile-F (source : CDPO).

12.4 PERFORMANCES

Les performances obtenues par les procédés de boues activées dépendent de plusieurs paramètres dont la composition initiale du lisier et les différents traitements complémentaires appliqués au lisier. Le Tableau 11 présente le bilan de certains paramètres des co-produits pour des procédés de boues activées pour les quatre types de filières suivants les plus susceptibles d'être utilisés pour le traitement du lisier :

- Type 1 : traitement du lisier brut ;
- Type 2 : séparateur à vis et traitement de la fraction liquide par boues activées ;
- Type 3 : décanteur centrifuge et traitement de la fraction liquide par boues activées ;
- Type 4 : séparateur à vis, traitement de la fraction liquide par boues activées et filtration par bande sous vide des boues biologiques.

Les bilans indiquent que seul l'azote est perdu au cours du traitement, ces pertes étant de l'ordre de 60 % à 70 % de l'azote du lisier brut. Par ailleurs, l'efficacité des filières sur le phosphore et les métaux est de l'ordre de 85 % à 100 % alors qu'il est inférieur à 50% dans le cas du potassium.

Le Tableau 12 indique la quantité totale de co-produits solides générés ainsi que la concentration dans ces co-produits pour certains paramètres chimiques.

Tableau 11
Proportion de certains paramètres dans les co-produits du traitement par boues activées du lisier brut
(source : Béline et al., 2003).

Paramètre	Filières de traitement										
	Type 1			Type 2			Type 3		Type 4		
	RS ¹	BB ²	SU ³	RS ¹	BB ²	SU	RS	BB ² +SU ³	RS ¹	BB ²	SU
Solides totaux	0	73,9	26,3	40,3	45,9	13,8	67,4	32,6	42,3	40,8	16,9
Azote	0	21,2	7,2	8,5	28,9	1,5	33,4	1 - 10	10,6	20,1	1,9
Phosphore	0	71,1	28,9	22,7	63,6	13,7	80,6	19,4	26,4	64,9	8,7
Potassium	0	33,5	66,5	5	38	57	7,9	92,1	4,5	11,7	83,7
Cuivre	0	87,3	12,7	8	92	0	33,5	66,5	11,9	88,1	0
Zinc	0	82,5	17,5	10,5	89,5	0	51,4	48,6	11,3	88,7	0

Les proportions sont données en pourcentage (%) des paramètres du lisier brut.

¹ RS : refus de séparation, phase solide de la séparation du lisier brut

² BB : boues biologiques, phase « solide, pâteuse ou liquide » issue de la séparation du lisier aéré

³ SU : surrageant, phase liquide issue de la séparation du lisier aéré

Tableau 12
Quantité de co-produits et concentration de certains paramètres
dans les co-produits solides du traitement par boues activées (source : Béline et al., 2003).

Paramètre	Filière de traitement				
	Type 2	Type 3	Type 4		
	RS ²	RS ²	RS ²	BB ³	RS ² + BB ³
Solides totaux ¹ (kg)	50	130	45	117	162
Solides totaux (kg/t)	380	324	336	129	186
Matière organique (kg/t)	333	248	285	78	135
Azote total (kg/t)	7,34	10,9	8,22	6,2	6,76
Azote ammoniacal (kg/t)	2,66	4,38	3,52	0,1	10,5
Phosphore (kg/t)	5,41	9,12	5,85	6,55	6,36
Potassium (kg/t)	2,5	2,4	2,3	2,3	2,3
Cuivre (g/t)	54	96	48	140	114
Zinc (g/t)	119	194	109	342	277

¹ Solides totaux obtenus pour le traitement de 1 m³ de lisier brut

² RS : refus de séparation, phase solide de la séparation du lisier brut

³ BB : boues biologiques, phase « solide, pâteuse ou liquide » issue de la séparation du lisier aéré

12.5 ASPECTS ÉCONOMIQUES

Les coûts d'immobilisation d'un procédé par boues activées dépend d'une part de la capacité de l'unité mais également des performances désirées. L'objectif d'un rejet au milieu naturel du lisier traité implique l'implantation d'équipements de traitement primaire, tertiaire et de polissage en plus du procédé aérobie par boues activées. Peu de données économiques sont actuellement disponibles pour le Québec mais elles corroborent celles plus exhaustives provenant de la France (Poilvet, 2004). L'investissement requis pour une station avec rejet au milieu naturel serait de l'ordre de 500 000 à 600 000 \$ avant toute subvention pour une capacité de traitement de 20 m³/j (\pm 7 500 m³/an), soit un coût unitaire relié aux investissements d'environ 10 \$/m³ traité.

Quant aux coûts d'opération ils sont de l'ordre de 5 \$/m³ traité, répartis principalement entre l'énergie électrique, la main-d'œuvre et l'entretien.

12.6 LES MODES D'ORGANISATION

Presque tous les modes d'organisation sont possibles, du traitement à la ferme au traitement semi-collectif ou centralisé. Toutefois, en raison du temps de résidence hydraulique du lisier dans le réacteur et du volume alors requis, il n'est pas possible d'avoir des unités mobiles pour ces procédés.

12.7 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

D'un point de vue agronomique, les principaux impacts envisagés sont :

- Une perte importante de l'azote du lisier brut (de l'ordre de 70 %) sous forme majoritairement de N₂ si le procédé est bien maîtrisé;
- L'azote conservé est principalement sous forme organique ;
- Possibilité d'exporter un volume limité de boues contenant plus de 90 % du phosphore du lisier pour des chaînes de traitement du type 4 ;
- La forte concentration en phosphore et en métaux du refus de séparation et des boues déshydratées peut nécessiter de très faibles doses pour leur valorisation par épandage ;
- Les boues digérées peuvent constituer la base de fabrication d'engrais organo-minéraux (EOM) dont la biodisponibilité du phosphore est augmentée.

D'un point de vue environnemental, les principaux impacts sont :

- Une extraction trop poussée des MES et du phosphore en amont du traitement aérobie peut diminuer l'efficacité du procédé ;
- Réduction des risques de contamination des eaux de surface et/ou souterraines par la stabilisation de l'azote et la dégradation de la matière organique ;
- Les boues et le lisier traité sont stabilisés et désodorisés si le niveau d'aération et le temps de résidence hydraulique sont suffisants ;
- Les boues sont considérées des matières résiduelles fertilisantes. La concentration des métaux dans les boues peuvent dépasser les teneurs limites pour leur épandage sur des cultures ;
- Les boues biologiques peuvent être déshydratées pour être compostées ou séchées et granulées sans reprise d'odeur ;
- Risque de production de GES (principalement N₂O) si le procédé n'est pas bien contrôlé.

13. BIOFILTRATION

La biofiltration est un procédé biologique de traitement des eaux et de l'air. Longtemps utilisé pour le traitement d'eaux usées domestiques, ce procédé a été adapté pour le traitement d'effluents plus chargés tel que le lisier de porcs.

13.1 OBJECTIFS DU PROCÉDÉ

Les principaux objectifs de traitement visés par la biofiltration sont :

- L'élimination de la charge organique, principalement dissoute, par voie aérobie ;
- La réduction de la charge azotée par transformation de l'azote principalement sous forme moléculaire ;
- La réduction des pathogènes et des odeurs du lisier ;
- La réduction des odeurs de l'air de ventilation des bâtiments d'élevage.

13.2 PRINCIPE DE TRAITEMENT

Le procédé de biofiltration est un procédé de filtration lente à biomasse fixée. Bien qu'elle puisse se réaliser en conditions anaérobies, son utilisation pour le traitement du lisier est de type aérobie. L'élément central, le biofiltre, est un bassin contenant soit un matériau filtrant organique multicouche de faible granulométrie (copeaux et sciure de bois, tourbe, écorce) soit une couche de matériau granulaire (de type sable, charbon actif, argile, billes de polystyrène, etc.). Ce matériau est également appelé le lit filtrant. Le biofiltre est généralement ouvert à l'air libre. L'effluent à traiter est distribué à la surface du biofiltre par un réseau de canalisations puis percole jusqu'à la base du biofiltre. L'aération est réalisée en insufflant de l'air par l'intermédiaire d'un plénum à la base du biofiltre (Figure 15). Ce plénum est aménagé de façon à accumuler un certain volume d'effluent qui aura percolé et qui se déverse via une conduite de trop plein. Dans son application pour le traitement du lisier, l'air de ventilation peut provenir des bâtiments d'élevage.

La biofiltration recourt à plusieurs principes pour éliminer la charge de l'effluent liquide et éventuellement les contaminants provenant de l'air de ventilation :

- la filtration retient mécaniquement les matières particulaires en suspension au fur et à mesure qu'elles traversent le lit ;
- l'adsorption retient les éléments plus fins sur la surface du matériau filtrant par l'action de forces électriques entre molécules ;
- le *biofilm* qui se constitue à la surface du matériau filtrant héberge des microorganismes qui participent à l'élimination des éléments solubles de l'effluent ainsi qu'à la dégradation (hydrolyse puis assimilation) des matières particulaires qui se sont déposées à la surface du matériau par filtration ;
- l'élimination de l'azote se fait par le processus de nitrification - dénitrification.

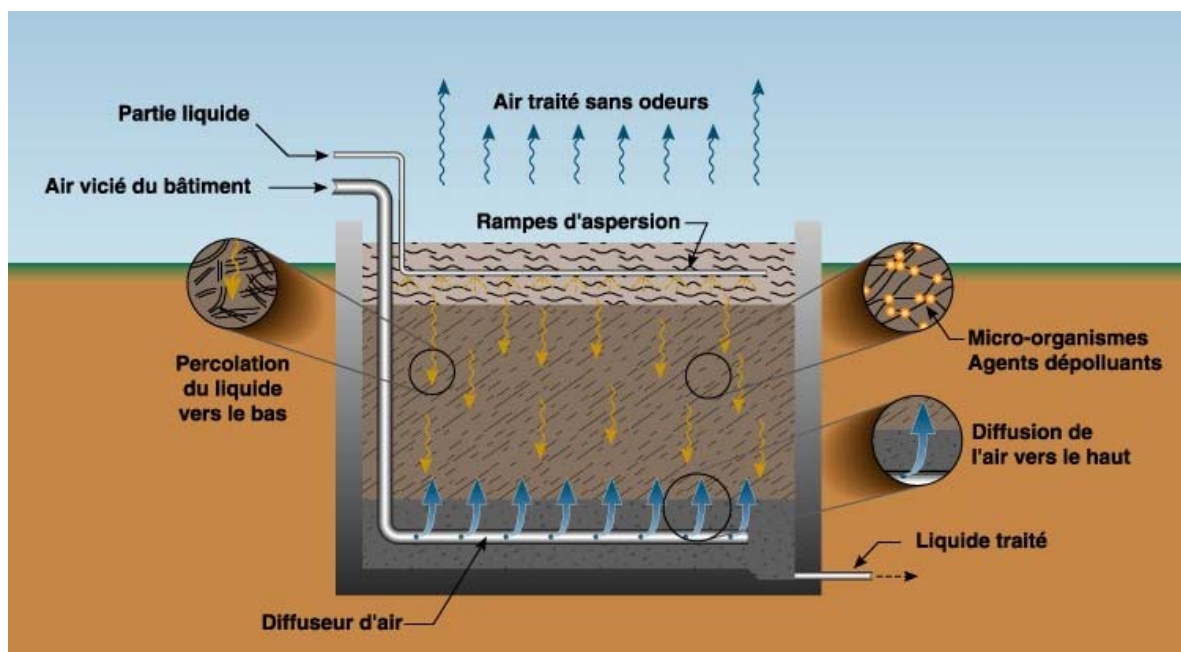


Figure 15

Principe de fonctionnement d'un biofiltre pour le traitement de l'air et d'un effluent (Source : Biosor).

13.3 ASPECTS TECHNIQUES

- La filtration des matières en suspension de même que le développement non contrôlé de microorganismes peuvent entraîner le colmatage de la partie supérieure du biofiltre. Le lisier doit donc subir un prétraitement (décantation naturelle, filtration, décantation centrifuge ou flottation) afin de réduire les MES à moins de 2000 mg/L ;
- La profondeur du biofiltre doit être suffisante pour que le temps de contact entre l'effluent et le lit filtrant puisse permettre le traitement de l'azote du lisier, principalement sous forme ammoniacal. Ce traitement se fait par le processus de nitrification – dénitrification, la nitrification se réalisant entièrement durant la percolation de l'effluent à travers le lit filtrant en conditions aérobies alors que la dénitrification se produit dans le plénum sous le lit filtrant dans des conditions anoxiques ;
- Afin de contrôler certains paramètres de l'effluent, il est possible d'utiliser deux unités de biofiltration en série ;
- L'aération nécessaire au maintien de conditions aérobies dans le lit filtrant est généralement réalisée mécaniquement. En raison de la résistance du lit filtrant au passage de l'air, des ventilateurs centrifuges (à cage d'écureuil) sont requis développant une pression statique de l'ordre de 750 à 1250 Pa (3 à 5 pouces d'eau) ;
- Avec le temps, le lit filtrant se compacte et se dégrade, particulièrement pour les lits de nature organique, ce qui favorise l'augmentation de la pression statique et se traduit par une réduction globale de l'aération et de l'efficacité du biofiltre ;
- L'entretien du biofiltre comprend notamment :

- La scarification superficielle du lit filtrant, une ou deux fois par année, afin de réduire le colmatage et favoriser l'aération ;
- La décompaction plus profonde du lit filtrant ;
- Le remplacement du matériau, principalement s'il est de nature organique ; ce remplacement est rendu nécessaire par la décomposition progressive du matériau et aussi par sa saturation en différents éléments tels que le phosphore et les métaux ;
- La durée de vie estimée des matériaux filtrants organiques est de l'ordre de 5 ans ;
- L'aération des biofiltres à l'aide de l'air de ventilation des bâtiments d'élevage permet de traiter les contaminants tels que l'ammoniac (NH_3), l'hydrogène sulfuré (H_2S) et les odeurs ; le besoin des biofiltres en aération correspond à environ le débit de ventilation d'hiver ou de 10 % à 20 % du débit de ventilation d'été ;
- Le volume utile de biofiltre requis (volume du lit filtrant) est de l'ordre de 60 m^3 pour chaque m^3 de lisier traité par jour; ce volume est toutefois dépendant du traitement primaire retenu.

13.4 PERFORMANCES

Les performances épuratoires sont à deux niveaux : traitement du lisier et traitement de l'air de ventilation des bâtiments d'élevage.

13.4.1 Traitement du lisier

Le bilan massique d'un système de traitement du lisier avec biofiltration est présenté au Tableau 13 pour un volume unitaire de lisier brut de 1 m^3 (1 000 kg). Le procédé comprend d'abord un prétraitement par décantation naturelle qui génère une boue d'un volume équivalent à environ 20 % du volume de lisier brut. Le surnageant subit une préfiltration, percole à travers deux biofiltres disposés en série (primaire et de polissage) puis est rejeté au milieu naturel par l'intermédiaire d'un champ d'épuration conventionnel (Figure 16).

La boue décantée contient environ 30 % de l'azote total du lisier brut et 60% du phosphore total. Par ailleurs, la réduction du phosphore dans le lisier décanté et filtré se fait essentiellement par accumulation dans le lit filtrant des biofiltres. Ceci est également vrai pour les éléments non volatils tels que les métaux (cuivre, zinc, etc.) et le potassium et conduit progressivement à la saturation du lit filtrant des biofiltres et réduit d'autant l'efficacité de traitement de ces paramètres. Un renouvellement du lit filtrant devient alors inévitable. La réduction de la DBO_5 , des MES et de N_{TK} est associée dans un premier temps à une accumulation dans le lit filtrant. Ces composés sont progressivement dégradés sous forme de composés gazeux (CO_2 , N_2 et oxydes d'azote).

Le Tableau 14 présente le **taux d'enlèvement** de quelques paramètres du lisier associé au prétraitement (décantation – préfiltration), à la biofiltration primaire et secondaire et à l'ensemble du procédé. Le prétraitement est particulièrement efficace pour les éléments non solubles (MES et le phosphore total) mais limité pour la DBO_5 et l'azote total dont une proportion importante est sous forme soluble. Ces éléments sont pris en charge par la biofiltration de sorte que le taux d'enlèvement pour l'ensemble du procédé est de 90 % et plus pour la grande majorité des paramètres.

13.4.2 Traitement de l'air

Le biofiltre est généralement la seule unité d'une chaîne à traiter l'air de ventilation des bâtiments d'élevage. Les performances épuratoires attendues sont présentées au Tableau 15 pour quelques paramètres documentés. Il est à noter que cette efficacité peut ne pas être perceptible en été alors que les biofiltres ne traitent que de 10 % à 20 % de l'air de ventilation des bâtiments.

Tableau 13
Bilan massique de certains paramètres pour la biofiltration de 1 000 kg de lisier (tiré de MDDEP, 2006a et 2006b).

Paramètre	Lisier brut	Décantation – Préfiltre		Biofiltre primaire	Biofiltre secondaire
		Boue	Lisier décanté filtré		
Quantité (kg)	1 000	190	810	810	810
DBO ₅ (kg)	8,54	3,77	4,77	0,05	0,013
MES (kg)	12,54	11,25	1,29	0,05	0,004
N _{TK} (kg)	2,20	0,63	1,45	0,16	0,061
P _{tot} (kg)	0,58	0,35	0,15	0,08	0,057

Tableau 14
Taux d'enlèvement pour différentes étapes de la biofiltration des lisiers et pour l'ensemble du procédé (tiré de MDDEP, 2006a et 2006b).

Paramètre	Décantation – Préfiltre	Biofiltre primaire	Biofiltre secondaire	Global
DBO ₅ (%)	44,0	98,9	75,7	99,8
MES (%)	89,7	96,4	91,7	99,9
N _{TK} (%)	33,9	88,9	62,4	96,6
P _{tot} (%)	73,3	50,0	26,0	87,8

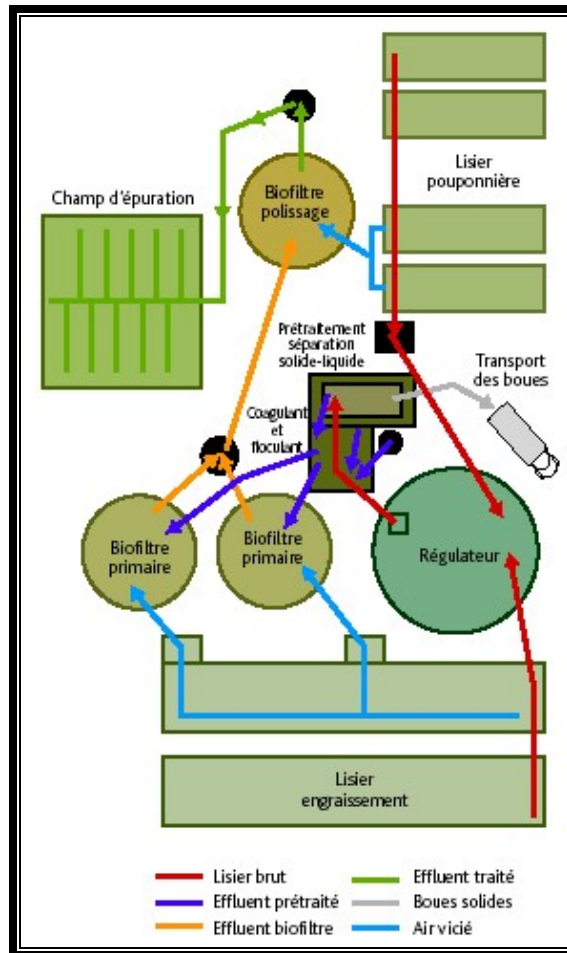


Figure 16

Schéma d'écoulement d'un procédé de traitement de lisier par biofiltration (source : Biosor^{MD}).

Tableau 15
Rendement épuratoire pour l'air de ventilation des biofiltres
(MDDEP, 2006a et 2006b).

Paramètre	Rendement épuratoire ¹ (%)
Ammoniac (NH ₃)	89 à 97
Hydrogène sulfuré (H ₂ S)	96 à 99
Odeurs	75 à 97

¹ Données de deux projets

13.5 ASPECTS ÉCONOMIQUES

- Un pré-traitement poussé (décantation centrifuge, flottation, etc.) peut être requis si le lisier brut est concentré ou s'il décante difficilement ;
- La biofiltration d'un effluent chargé comme le lisier requiert généralement des biofiltres disposés en série ;
- Le rejet de l'effluent au milieu naturel nécessite l'ajout d'un traitement tertiaire (par exemple : champ d'épuration) ;
- Les coûts d'immobilisation sont de l'ordre de \$ 775 000 pour le traitement de 10 000 m³/an, avant subvention, récupération d'infrastructure, vente d'actifs ou autre ;
- Il est possible de récupérer les fosses existantes (par exemple pour réaliser la décantation naturelle ou comme structure d'un biofiltre) si un traitement avec rejet au milieu naturel du lisier traité est réalisé ;
- L'entretien annuel ou semestriel des lits filtrants et leur renouvellement à tous les cinq ans doivent être considérés ;
- L'aération des biofiltres se fait à une pression statique élevée et représente la principale dépense énergétique, soit de l'ordre de 10 à 20 kWh / m³ ;
- Les coûts d'opération, outre l'amortissement et les frais de financement, sont de l'ordre de 7,00 \$/m³ et sont principalement imputables à la consommation énergétique (20 %), l'entretien des biofiltres (10 %) et leur renouvellement (65 %).

13.6 LES MODES D'ORGANISATION

En raison de l'importance des infrastructures que requiert la biofiltration et des besoins de polissage avant le rejet au milieu naturel de l'effluent traité, ce procédé, comme élément central du traitement, est principalement destiné à la ferme. Toutefois, la biofiltration pourrait être insérée dans une chaîne de traitement centralisé où elle constituerait l'unité de polissage.

13.7 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

D'un point de vue agronomique, les principaux impacts envisagés sont :

- Perte importante de l'azote (près de 75 %) et de la matière organique du lisier ;
- Possibilité d'exporter un volume limité de boue contenant plus de 50 % du phosphore du lisier ;
- La boue peut être gérée comme un lisier concentré en phosphore : de faibles doses peuvent devoir être appliquées.

D'un point de vue environnemental, les principaux impacts sont :

- Réduction des risques de contamination des eaux de surface et souterraines particulièrement par l'azote et la matière organique ;
- Élimination des odeurs du lisier décanté et d'une fraction de l'air de ventilation des bâtiments ;
- Réduction des superficies d'épandage requises ;
- Une attention doit être portée à la gestion du lit filtrant lors de son renouvellement en raison de la forte concentration de métaux et de phosphore qu'il peut contenir ;

14. COMPOSTAGE

Le compostage est un procédé qui peut être utilisé pour le traitement du lisier brut ou pour le traitement de solides de lisier ou de boues. Dans le cadre du présent guide, seule l'application à du lisier brut a été retenue.

14.1 OBJECTIFS DU PROCÉDÉ

Le compostage du lisier brut vise principalement :

- La stabilisation des solides du lisier ;
- La réduction des odeurs et des pathogènes du lisier ;
- La production d'un amendement pour les sols.

14.2 PRINCIPE DE TRAITEMENT

Le compostage est un procédé biologique aérobie de dégradation de résidus organiques. Il conduit à la formation d'un produit solide stabilisé, hygiénique et riche en composés humiques, le compost, ainsi que de composés gazeux, principalement du dioxyde de carbone (CO_2), de la vapeur d'eau (H_2O) et, selon les intrants, d'ammoniac (NH_3). Les réactions impliquées dans le processus de compostage peuvent être schématisées globalement par la Figure 17. Le compostage fait appel à un grand nombre de microorganismes dont les espèces évoluent progressivement des bactéries vers les champignons. L'intensité du compostage varie également au cours de cette période.

Par conséquent, plusieurs phases distinctes sont observées (Figure 19) durant le compostage :

- Zone A : les composés les plus biodégradables tels que sucre et amidon sont dégradés par des bactéries mésophiles et provoquent une montée rapide de la température du mélange ;
- Zone B : la phase thermophile voit les bactéries mésophiles remplacées par des bactéries thermophiles. Durant cette phase thermophile, la température peut atteindre 80°C ;
- Zone C : la synthèse des composés humiques se fait durant la phase de maturation.

14.3 ASPECTS TECHNIQUES

On reconnaît généralement quatre types de technologies de compostage dont les principales caractéristiques sont présentées au Tableau 16. Les rares sites de compostage de lisier de porcs au Québec sont principalement de type « piles statiques aérées » ou « en andains retournés ». Le compostage du lisier comporte plusieurs étapes illustrées à la Figure 20. Comme la teneur en eau du lisier est très élevée et qu'il est très riche en azote, il requiert, pour être composté, qu'un substrat riche en carbone et relativement sec lui soit ajouté.

L'efficacité du procédé repose sur un contrôle adéquat des paramètres critiques pour le développement de l'activité microbienne.

L'oxygène

Lors du compostage, l'oxygène est consommé par les micro-organismes pour dégrader les composés organiques qui leur servent de nourriture. Alors que l'air contient normalement 21 % d'oxygène, le contenu en oxygène peut diminuer à moins de 1 % dans un compost, inhibant ainsi l'activité elle-même de compostage. Pour maintenir l'activité, un taux minimum de 5 % d'oxygène est requis, préférablement de 10 %. Le compost doit donc être aéré et comporter une porosité suffisante. L'aération peut se faire par simple diffusion passive de l'air à travers le matériel, par son retournement ou par aération forcée. La consommation d'oxygène est le meilleur indicateur de l'intensité de l'activité de compostage. Des matériaux structurants tels que des écorces sont souvent requis pour augmenter la porosité efficace du compost et améliorer son oxygénation.

Pour la technologie de compostage en andain, le contrôle du taux d'oxygène est réalisé par le retournement des andains. Un total de 3 à 4 retournements espacés de 20 à 30 jours est généralement adapté pour le compostage du lisier. Pour les technologies avec aération forcée, le départ et l'arrêt de l'aération sont déterminés soit par des températures de consignes (minimum et maximum) du compost ou par une séquence prédéfinie (exemple : 4 minutes d'aération par heure) (Mazé et al., 1996). Le contrôle de l'aération par la teneur en oxygène du compost est appliqué pour des mélanges à faible teneur en eau, ceci afin de réduire au minimum les pertes d'humidité. Le débit est alors ajusté pour maintenir un niveau minimal d'oxygène dans le compost.

L'humidité

L'eau est également nécessaire à tous les micro-organismes qui interviennent dans le compostage. Une teneur minimale est donc requise. Par ailleurs, la teneur en eau maximale est celle qui permet de maintenir une porosité efficace du compost suffisante pour son aération. Le taux optimal d'humidité varie selon les substrats, généralement entre 50 et 65 %. Ce taux est plus élevé pour les matériaux structurants (sciure, paille, ...) et plus bas pour les matériaux peu structurants (boues, lisier de volaille, ...). De façon générale, une teneur en eau de l'ordre de 60 % en début de compostage est considérée comme étant souhaitable pour l'ensemble des substrats.

La teneur en eau du compost subit deux influences dont les effets sont opposés. La respiration des micro-organismes dégage de la vapeur d'eau, ce qui favorise l'augmentation de la teneur en eau du compost. À l'inverse, la montée en température et l'aération du compost entraînent l'évacuation d'une quantité importante d'eau sous forme de vapeur et donc, une réduction de la teneur en eau du compost. Ainsi, l'assèchement de la masse du compost sera d'autant plus rapide que l'aération sera forte (retournement fréquent), que la température sera élevée et que le matériau sera poreux. Aussi, un compost en andains perdra peu d'humidité, cette perte étant compensée en partie par la vapeur d'eau produite par le procédé de compostage.

En optimisant les séquences d'aération, il est possible de faire plusieurs apports de lisier sur un même substrat durant le compostage. Selon Mazé et al (1996), une tonne de matière sèche de substrat peut permettre le compostage de 4 à 8 tonnes de lisier.

La composition du mélange

Les micro-organismes ont également besoin de nutriments dans des proportions définies, principalement le carbone, l'azote et le phosphore. Le carbone fournit l'énergie aux micro-organismes alors que l'azote est essentiel à la synthèse des protéines de ces micro-organismes. De façon générale, les micro-organismes consomment jusqu'à 30 fois plus de carbone que d'azote. En conséquence, un rapport Carbone/Azote de l'ordre de 30 à 35 est généralement recommandé pour des matériaux moyennement biodégradables soit un contenu en azote d'environ 1,5 % sur base sèche (Mustin, 1987). Lorsque le substrat est facilement biodégradable (engrais

vert), le rapport C/N initial devrait être d'environ 25 (2,0 % d'azote) et de près de 70 pour les substrats difficilement biodégradables tels que la sciure (0,7% d'azote).

Si le carbone est en excès, la décomposition est lente car limitée par la croissance des micro-organismes en déficit d'azote. Par conséquent, la température du compost ne s'élève pas autant ni aussi rapidement qu'en conditions optimales. Un excès d'azote provoque sa libération sous forme d'ammoniac dans l'atmosphère, causant une odeur désagréable, mais ne limite toutefois pas le procédé.

Quant au phosphore, un rapport N/P du mélange variant entre 2 et 5 est recommandé afin d'obtenir une teneur en phosphore de 1,0 % sur base sèche.

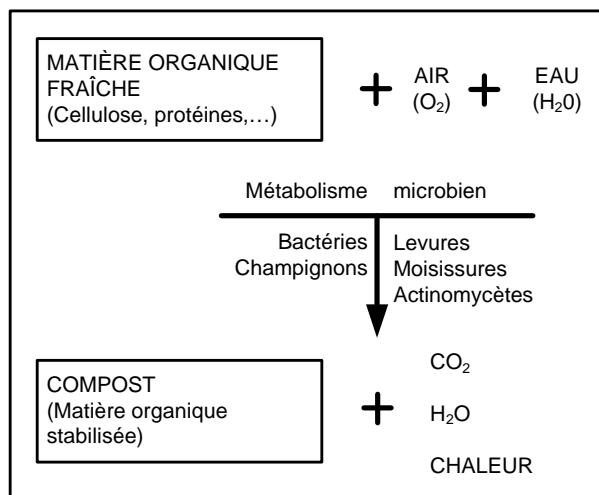


Figure 17 Réactions impliqués dans le procédé de compostage (Potvin, 1988).

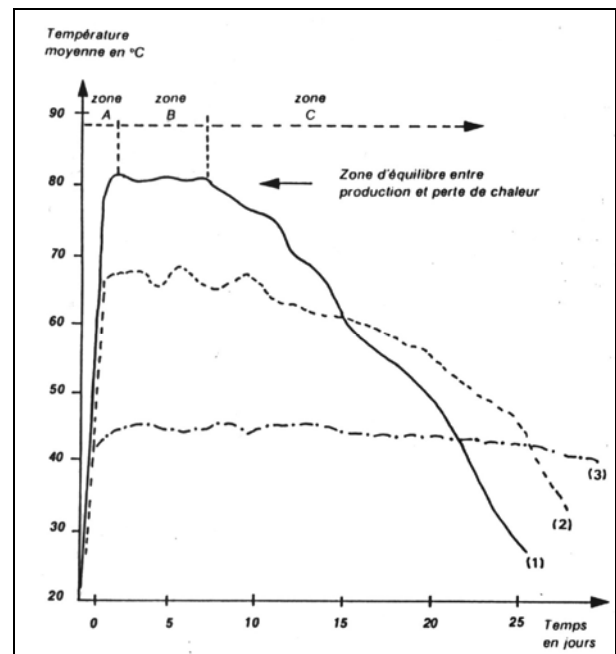


Figure 19 Évolution de la température du compost selon la biodégradabilité du substrat (Mustin, 1987).

- Courbe 1 : Substrat très fermentescible
- Courbe 2 : Substrat moyennement fermentescible
- Courbe 3 : Substrat peu fermentescible
- Zone A : La production de chaleur est active et supérieure aux pertes
- Zone B : La production de chaleur est équivalente aux pertes
- Zone C : Les pertes thermiques sont prépondérantes

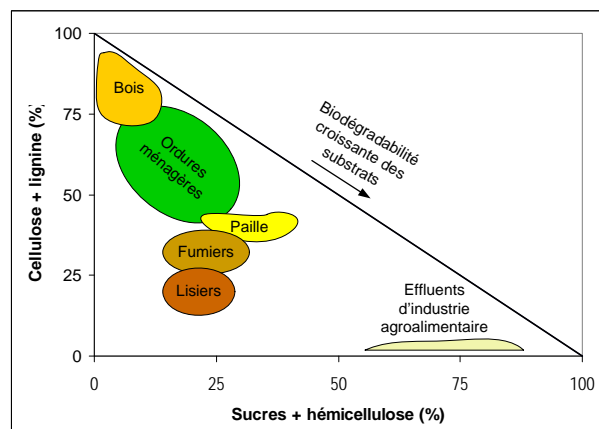


Figure 18 Biodégradabilité de quelques substrats (Mustin, 1987).

La température

La dégradation de la matière organique par voie aérobie entraîne un dégagement thermique important contrairement à la fermentation anaérobie où l'énergie est contenue dans les co-produits tels que le méthane. La montée en température du compost est donc le résultat de l'activité microbienne et non un paramètre ajustable du compostage. Lorsque les conditions ne sont pas limitantes (oxygène, humidité, nutriments), le taux d'augmentation ainsi que la température maximale atteinte varient selon la biodégradabilité du substrat (Figure 18 et Figure 19). Des matériaux facilement biodégradables conduiront à une augmentation rapide de la température et à une température maximale élevée. À l'inverse, des matériaux difficilement biodégradables produiront une augmentation lente et une température maximale plus basse.

La température atteinte doit permettre l'hygiénisation des substrats, une dégradation rapide et une humification active : une température de 65°C est optimale (Mustin, 1987). On reconnaît toutefois qu'une température maintenue à plus de 40°C pendant 5 jours, dont 4 heures à plus de 55°C permet de réduire significativement le niveau de pathogènes, soit d'un facteur 100 les bactéries pathogènes et d'un facteur 10 les virus pathogènes. Pour une réduction 10 fois plus importante, la température doit atteindre plus de 55°C pendant 3 jours consécutifs (USEPA, 2003).

Masse et volume du compost

L'activité microbienne combinée à l'aération du mélange permettent de réduire de façon importante le volume, la masse totale de même que la masse sèche du mélange. La diminution du volume du substrat est liée à son tassement après mélange avec le lisier mais aussi à sa décomposition. Cette réduction est de l'ordre de 25 à 30 % après la phase thermophile et de 40 à 50 % après maturation du compost. La diminution de la masse totale est due en partie à la décomposition du substrat en différents gaz mais également à l'évaporation de l'eau. Le taux de réduction de la matière sèche est de l'ordre de 15 à 20 % après la phase thermophile et de 35 à 40 % après maturation du compost. Les réductions de volume et de masse totale sont plus importantes pour des substrats facilement biodégradables (plus de 50 %) et moins importantes pour des substrats difficilement biodégradables (environ 25 % à 40 %) (Maze et al., 1996).

Autres éléments à retenir :

- Il peut être souhaitable de fractionner en 2 ou 3 apports le lisier au substrat afin d'améliorer le rapport lisier composté : substrat consommé ;
- Le traitement des odeurs, généralement par biofiltration de l'air, peut être nécessaire si des voisins sont localisés à proximité. Ces odeurs sont particulièrement importantes lors du retournement des andains (ou des cellules), lorsque le mélange n'est pas suffisamment homogène (zone en conditions anaérobies dans le mélange) ou que le rapport C :N du mélange est inférieur à 15 ;
- La teneur en eau très élevée du lisier implique l'ajout d'un volume de substrat au moins égal à celui du lisier ; il faut généralement lui prévoir un entreposage.

Tableau 16
Caractéristiques des principales technologies de compostage (Recyc-Québec, 2008).

Technologie	Complexité	Facteurs économiques	Durée du traitement	Contrôle des odeurs	Autres particularités
Andains retournés mécaniquement (système ouvert)	Faible : méthode simple qui requiert peu d'équipements	Coûts d'investissement et d'opération relativement faibles Grande superficie requise pour le compostage et le traitement du lixiviat	8 à 10 mois (incluant maturation)	Risque d'odeurs particulièrement lors du retournement d'andains	Flexibilité en termes de quantité et de variabilité des intrants Technologie éprouvée Performance réduite en hiver Possibilité de recouvrement des andains
Piles statiques avec aération forcée (système ouvert ou fermé)	Moyen : requiert un équipement permettant d'injecter de l'air et un système de traitement du lixiviat (site ouvert)	Investissement plus élevé qu'en andains Coût supplémentaire si en bâtiment couvert avec traitement de l'air (biofiltre)	4 à 9 mois (incluant maturation)	Risque moins élevé qu'en andains	L'absence de retournements réduit les coûts d'opération et d'entretien Toutefois, la technologie exige un substrat homogène et l'absence de retournement peut ralentir la dégradation.
Silos-couloirs avec aération forcée sous bâtiment (système fermé)	Élevé : requiert des équipements de retournement robotisés, un système d'aération forcée et le traitement de l'air (biofiltre)	Investissement et coûts d'opération plus élevés que les systèmes ouverts Coûts d'entretien élevé en raison de la corrosion des équipements et du bâtiment	2 à 4 semaines pour le compostage actif et 4 à 6 semaines pour la maturation	Le milieu fermé et le traitement de l'air par biofiltre assure un contrôle optimal des odeurs	Procédé efficace combinant aération forcée et agitation mécanique Aucun lixiviat Déroulement du procédé à l'année Grand volume d'air à traiter, ce qui augmente les coûts d'opération
Bioréacteurs (système fermé)	Élevé : requiert des modules de traitement sophistiqués, un système d'aération contrôlée et le traitement de l'air (biofiltre)	Investissement et coûts d'opération plus élevés que les systèmes ouverts	2 à 3 semaines pour le compostage actif et 4 à 6 semaines pour la maturation	Le confinement des matières et le traitement de l'air par biofiltre assure un contrôle optimal des odeurs	Aucun lixiviat Déroulement du procédé à l'année L'absence d'agitation peut ralentir la dégradation. Faible volume d'air à traiter, ce qui réduit la taille et les coûts du biofiltre

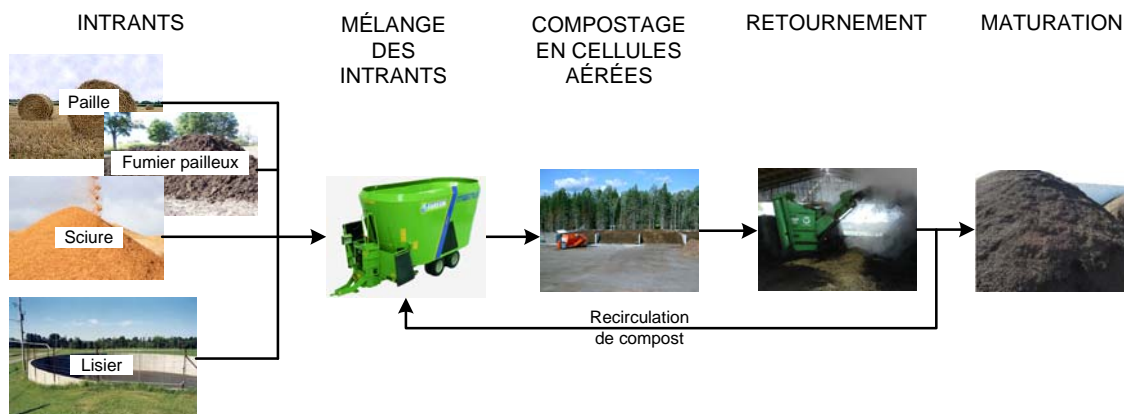


Figure 20
Les étapes du procédé de compostage du lisier de porcs.

14.4 PERFORMANCES

Le compostage requiert l'ajout de différents substrats. Le Tableau 17 présente des caractéristiques typiques de substrats couramment utilisés pour le compostage du lisier de porcs au Québec. La quantité de substrat requise varie principalement avec sa teneur en matière sèche et avec la technologie de compostage utilisée.

Tableau 17
Caractéristiques types des substrats le plus couramment employés.

Paramètre	Sciure		Écorce	Paille d'orge hachée	Fumier de volaille
	Sèche	Humide			
Solides totaux (% b.h.)	90	(50-60)	60	90	76
Matière organique (% b.s.)	98		> 80	95	> 80
Azote total (% b.s.)	0,1 (0,04 – 0,20)		(0,28 – 0,61)	(0,1 - 0,82)	4,59
Phosphore (% b.s.)	0,04 (0,0069 – 0,046)		(0,03 – 0,12)	(0,07 - 0,18)	1,97
Potassium (% b.s.)	0,10 (0,03 – 0,12)		(0,15 – 0,62)	1,50	1,67
C/N	500 (200 – 1000)		200 (100 – 800)	120 (80 – 150)	8,67
Capacité d'absorption (kg eau / kg b.s.)	3,0 (2,70 – 3,35)		1,34	4,50	n.d.
Masse volumique (kg/m ³)	170 (150 – 190)	250	205	(17 – 40)	330

Sources diverses : Gasser, 2008; Fleming et MacAlpine, 1999; Mazé et al., 1996; Potvin et Bernard, 1991; Potvin et Cloutier, 1989.

Note : les données entre parenthèses indique la fourchette de valeurs souvent rencontrées.

Le Tableau 18 indique le type et la quantité de substrat utilisé pour quelques projets ainsi que les caractéristiques des composts obtenus, ces derniers ayant généralement subi une phase de maturation. De façon générale, le volume de substrat requis varie de 1 à 2 fois le volume de lisier à composter sauf pour la paille hachée (Fleming et MacAlpine, 1999) dû à sa très faible masse volumique. La réduction du volume, de la masse humide et de la masse sèche est très importante pour le compost à base de paille en raison de sa biodégradabilité plus élevée que celle des substrats ligneux.

La teneur en eau des composts produits varie de 60 à 70 % alors que la teneur en azote est de l'ordre de 1 % sur base humide.

Tableau 18
Évolution du compost et valeur de différents paramètres pour le compostage de 1 000 kg de lisier de porcs obtenus pour quelques projets.

Paramètre	Fleming et MacAlpine (1999)	Mazé et al. (1996)	Biomax (2001)	UQAR (1999)
Technique de compostage	Silo couloir	Piles statiques aérées	Piles statiques aérées	Piles statiques aérées
Substrat				
Type	Paille	Sciure + écorce	Litière poulet, sciure et écorce	Sciure
Volume (m ³)	6,67	1,32	1,92	1,50
Masse (kg)	200	280	675	375
Compost				
Volume (m ³)	0,43	0,73	1,07	1,00
Réduction volume (%)	93	44	44	33
Masse (kg)	285	430	500	560
Réduction masse (%)	76	66	70	59
Matière sèche (%)	41	34	42	30
Azote total (%)	1,15	0,77	1,01	0,47
Phosphore total (%)	0,56	0,40	0,20	0,20
Potassium total (%)	1,45	n.d.	0,37	0,29
C/N	12,8	10,3	13,5	29,8

14.5 ASPECTS ÉCONOMIQUES

L'analyse économique d'un dossier de compostage doit considérer les éléments suivants :

- Une quantité très importante de substrat est requise ; on doit donc assurer un approvisionnement en qualité et en quantité suffisantes, à un prix connu à moyen ou long terme;
- La gestion de l'eau au bâtiment doit être optimisée afin de réduire ces besoins en substrat ;

- L'achat du substrat, le cas échéant, peut représenter une proportion importante des coûts d'opération ;
- La gestion du procédé implique la manutention d'un volume important de matériel d'où un coût de main-d'œuvre et de machinerie à considérer ;
- Il faut prévoir un entrepôt afin de conserver la qualité du substrat avant son utilisation et assurer un minimum d'autonomie face à des retards de livraison ;
- Les coûts du compostage peuvent être partiellement amortis par la vente du compost. Ici aussi on doit assurer un écoulement fiable et à un prix connu à moyen ou long terme ;
- Les coûts d'immobilisation pour le compostage en piles statiques avec aération forcée de 10 000 m³ de lisier avec de la sciure seraient de l'ordre de \$ 250 000 à \$ 300 000 (coût 2010) ;
- L'approvisionnement en substrat peut représenter plus de 50 % des coûts d'opération du compostage du lisier, ces derniers étant de l'ordre de 10 à 15 \$/m³.

14.6 LES MODES D'ORGANISATION

Compte tenu de la quantité requise de substrat et de la durée nécessaire pour réaliser le compostage, ce procédé implique des infrastructures de grandes dimensions. Aussi, le compostage du lisier brut est un procédé fixe destiné essentiellement à la ferme. Toutefois, les caractéristiques des solides issus de procédés de séparation de lisier brut ou d'extraction de boues biologiques conviennent très bien à un traitement par compostage. Dans une telle application, ce procédé pourrait être de type semi-collectif ou collectif.

14.7 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ET AGRONOMIQUES

D'un point de vue agronomique, les principaux impacts envisagés sont :

- L'apport d'une quantité importante d'humus stable (amendement) provenant majoritairement du substrat carboné requis par le procédé ;
- La perte d'une quantité importante d'azote contenu dans le lisier brut (variant de 20 à 50 % selon la technique utilisée et la composition du mélange initial).

D'un point de vue environnemental, les principaux impacts sont :

- L'azote perdu se retrouve sous forme diatomique (N₂) non polluante mais également sous forme ammoniacale (NH₃) et d'oxydes d'azote (N₂O, NO, NO₂). Les émissions d'oxydes d'azote se produisent lorsque les conditions pour réaliser le cycle de nitrification – dénitrification ne sont pas optimales (mélange non homogène et/ou mal oxygéné.). Ces composés gazeux sont impliqués dans la formation du smog, des pluies acides ou de l'effet de serre. L'ammoniac et les oxydes d'azote (NO et NO₂) sont dans la liste des Principaux polluants atmosphériques de Environnement Canada (2009) ;
- Les importants volumes de substrat et de compost produit impliquent beaucoup de transport ;
- Par la transformation de la matière organique en dioxyde de carbone et en vapeur d'eau, le compostage permet une réduction de 30 à 50 % de la masse totale et du volume des intrants (lisier et substrat), selon le degré de biodégradabilité du substrat ;
- Le compost produit dégage généralement peu d'odeurs (selon le degré de maturité atteint) et réduit les risques éventuels de contamination des eaux souterraines et des eaux de surface en améliorant la qualité des sols.

15. PROCÉDÉS DE DIGESTION ANAÉROBIE

La digestion anaérobie est aussi appelée fermentation anaérobie, méthanisation ou biométhanisation.

15.1 OBJECTIFS DU PROCÉDÉ

La digestion anaérobie vise d'abord la dégradation de la charge organique du lisier (DBO et DCO) en absence d'oxygène. Toutefois, ce procédé permet également de :

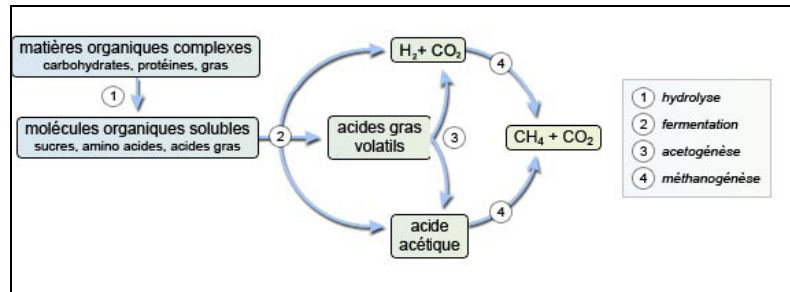
- Réduire les odeurs du lisier;
- Réduire le niveau des pathogènes du lisier ;
- Augmenter la biodisponibilité de certains nutriments ;
- Générer du biogaz ;
- Réduire la production de gaz à effet de serre lorsque le biogaz est collecté et utilisé en remplacement de combustible fossile.

15.2 PRINCIPE DE TRAITEMENT

Alors que la dégradation de la matière organique par voie aérobie conduit principalement à la formation de dioxyde de carbone (CO_2) et d'eau (H_2O), la voie anaérobie conduit plutôt à la formation de méthane (CH_4) et de dioxyde de carbone (CO_2). La biométhanisation est un procédé qui dégage peu de chaleur. Ainsi, elle transfère jusqu'à 90 % de l'énergie contenue dans la matière organique vers les molécules de méthane. Le procédé de biométhanisation est très complexe et doit être réalisé à l'intérieur d'un réacteur hermétique, le biodigesteur. On distingue quatre phases successives de traitement (Figure 21).

L'hydrolyse permet de dégrader, à l'aide d'enzymes, les molécules organiques complexes (glucides, lipides et protéines) en des molécules simples (sucres, acides aminés et acides gras). L'hydrolyse de la cellulose et des lipides est parfois lente et peut limiter le taux global de dégradation par le procédé de méthanisation. La fermentation transforme ces molécules simples en alcools et acides organiques de même qu'en hydrogène et dioxyde de carbone. Ces produits de fermentation sont pas la suite transformés en acétate d'une part, et en dioxyde de carbone et hydrogène d'autre part. Cette phase, l'acétogénèse, permet une croissance rapide des bactéries spécifiques et n'est donc pas limitative pour le taux de dégradation. Cette activité intense requiert le brassage de l'effluent et peut se dérouler sur une large gamme de températures (3 à 70°C) avec un optimum autour de 30°C. Finalement, la méthanogénèse entraîne la formation de méthane et de dioxyde de carbone. Cette dernière phase est anaérobie stricte et implique que l'agitation du lisier ne soit pas trop vigoureuse. Les bactéries qui procèdent à cette phase ont une croissance plus lente que les bactéries acidogènes et sont sensibles à la température de fonctionnement et au pH.

La biométhanisation peut s'effectuer à différentes températures, exigeant pour chacune un ensemble de microorganismes spécifiques. Le traitement à une température plus élevée est plus rapide et nécessite des installations de plus petite taille. Toutefois, le contrôle des paramètres d'opération est plus sensible et le procédé consomme une plus grande proportion du biogaz produit.



Source : Bio-Terre Systems inc.

Figure 21
Schéma simplifié du procédé de méthanisation.

Le méthane (50 à 70 % v/v) et le dioxyde de carbone (30 à 45 % v/v) sont les principaux composés du biogaz. L'hydrogène sulfuré (H₂S), l'ammoniac (NH₃) et l'azote (N₂) s'y retrouve également mais en faible quantité. Il est à noter que le gaz naturel est un mélange de gaz qui contient essentiellement du méthane, soit à plus de 95 %.



(a)



(b)

Figure 22
(a) Vue de trois bioréacteurs; (b) Vue de la torchère.

15.3 ASPECTS TECHNIQUES

Deux procédés ont été proposés au Québec. Le procédé danois Biorek est un procédé de traitement qui recourt à la digestion anaérobie mésophile (35°C). Le procédé de Bio-Terre Systems, développé au Québec, est plutôt un procédé psychrophile (20°C à 25°C) avec alimentation discontinue. Pour cette dernière application, le procédé nécessite un minimum de deux bioréacteurs. Le cycle complet dure alors 28 jours, soit 14 jours pour le remplissage d'un bioréacteur avec du lisier brut et 14 jours de digestion sans apport supplémentaire de lisier.

Quelques aspects techniques à considérer sont les suivants :

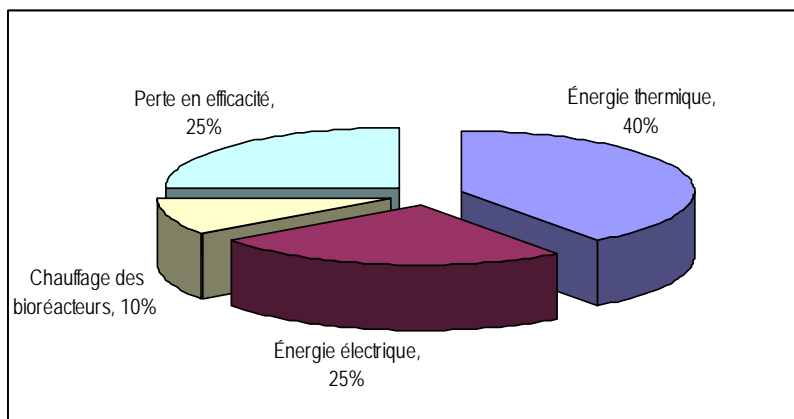
- Le taux de production de méthane est fonction de l'abattement de la charge organique (Burton et Turner, 2003). Le volume de méthane produit peut être estimé par l'équation suivante :

$$V_{CH_4} (m^3) = 0,35 * (DCO_i - DCO_f) * V_{lisier} (m^3) / 1000$$

où DCO_i et DCO_f sont les demandes chimiques en oxygène avant et après digestion anaérobie du lisier.

- Le procédé produisant peu de chaleur, les bioréacteurs doivent être isolés thermiquement et chauffés;
- L'utilisation sous forme thermique est la plus efficace, jusqu'à 90 % de l'énergie contenue dans le biogaz pouvant être récupérée. La Figure 23 présente la répartition de l'énergie du biogaz lorsque la cogénération est effectuée;
- Le démarrage du bioréacteur nécessite une longue période de temps ou, de préférence, un ensemencement avec des bactéries spécifiques ;
- Pour un procédé en discontinu, au moins 10% du volume d'effluent de la cuvée doit être conservé dans le bioréacteur afin d'inoculer la cuvée suivante ;
- L'entreposage d'un gaz requiert un grand volume ou qu'il soit comprimé. Le biogaz est donc préférablement consommé dès sa production. Pour un procédé en discontinu, la production de biogaz sera régulé par un nombre élevé de bioréacteurs, chacun à un stade différent de leur cycle ;
- L'utilisation du biogaz à la ferme nécessite un traitement minimum de désulfuration. Le soufre, en présence de l'humidité provenant de la combustion du biogaz, présente des risques importants de corrosion prématurée des équipements (brûleurs ou moteurs). Des brûleurs adaptés à la combustion du biogaz sont toutefois requis.

Figure 23
Répartition de l'énergie produite par cogénération du biogaz.



15.4 PERFORMANCES

Le lisier traité et le biogaz sont les deux co-produits générés dans l'application la plus simple du procédé. Le lisier traité contient essentiellement la même quantité de fertilisants (azote, phosphore, potassium, etc.) que le lisier brut et présente un volume presque équivalent. Par contre, la digestion anaérobie conduit à un abattement de la charge organique (DCO) et des solides totaux (ST) de l'ordre de 80 % et 70 % respectivement ainsi qu'à une réduction significative des odeurs du lisier et des microorganismes pathogènes, notamment coliformes totaux, *E. Coli*, salmonelles, *Cryptosporidium* et *Giardia* (Côté et al., 2006).

Pour une ferme en surplus de fertilisants, les boues décantées dans le digesteur peuvent être vidangées de deux à trois fois par année. Une fois déshydratées à l'aide d'un décanteur centrifuge ou par filtration avec polymère, les boues représentent de 2 à 3 % de la masse de lisier brut et contiennent près de 50 % du phosphore (Tableau

19). L'azote, minéralisé par la méthanisation, et le potassium se retrouvent sous forme dissoute et demeurent dans le lisier traité.

Le rendement espéré en méthane à partir d'un lisier d'engraissement ayant une DCO de 35 000 mg/L est de l'ordre de 10 m³ CH₄ / m³ de lisier (15 m³ biogaz à 65 % de CH₄). Toutefois, un lisier avec 10 % de solides totaux peut présenter une DCO de près de 100 000 mg/L et a la capacité de produire jusqu'à 25 à 30 m³ CH₄ / m³ de lisier.

Tableau 19
Répartition de certains paramètres entre les boues déshydratées et le lisier traité par digestion anaérobie en proportion du lisier brut.

Paramètre	Boues déshydratées	Lisier traité
Masse (%)	2	98
Azote total (%)	10	90
Phosphore (%)	48	52
Potassium (%)	10	90

15.5 ASPECTS ÉCONOMIQUES

Le coût d'investissement pour l'installation d'une unité de biométhanisation à la ferme pour une ferme porcine naisseur - finisseur produisant 5 000 porcs par année serait, avant subvention, d'environ 350 000 \$ (Laflamme, 2007). La puissance totale générée par une telle unité serait de l'ordre de 40 à 80 kW, selon les caractéristiques du lisier traité. La taille des digesteurs étant fonction du volume de lisier à traiter, un lisier plus concentré permet de réduire sensiblement le coût d'investissement pour une même ferme. Des efforts importants doivent donc être consentis à réduire le volume de lisier produit au bâtiment. D'autre part, des économies d'échelle appréciables sont attendues pour un tel procédé.

Un biogaz contenant 70 % de méthane a un pouvoir calorifique de l'ordre de 23,75 MJ/m³ ou 6,59 kWh/m³, soit l'équivalent d'environ un litre de propane. La valorisation du biogaz est optimale lorsqu'il est utilisé pour combler des besoins thermiques (chauffage de bâtiments ou d'eau, séchage de grains et de fourrages). Pour une telle application, chaque mètre cube de lisier pourrait produire une chaleur équivalant à la combustion de 12 à 30 litres de propane liquide (Tableau 20) représentant une valeur de 6 à 16 \$. Toutefois, le biogaz étant produit à un rythme régulier toute l'année, il est difficile d'utiliser toute l'énergie sous forme thermique à la ferme à moins d'avoir un utilisateur à proximité (serre, séchoir). Si le volume de biogaz produit est important, il est possible de produire de l'électricité (cogénération). Pour une telle application, une partie importante de l'énergie sera récupérable sous forme thermique suite à la combustion du biogaz. La valeur économique d'un mètre cube de lisier serait alors de l'ordre de 5 à 12 \$. Si le biogaz ne peut être utilisé, il doit être brûlé dans une torchère, le biogaz étant difficilement entreposé.

Tableau 20
Production de méthane et d'énergie par la méthanisation d'un mètre cube de lisier
pour deux lisiers de charge organique différente.

Solides totaux (%)	DCO (mg/L)	Production de méthane ¹ (m ³)	Production d'énergie							
			Totale ¹ (kJ)	Thermique seulement ²			Cogénération ³			Total (\$) ⁴
				(kJ)	(L propane)	(\$) ⁴	Thermique (kJ)	Électrique (L propane)	Électrique (kWh)	
4	40 000	11,2	380 240	325 105	13,6	7,34	151 533	6,3	26	5,33
10	100 000	28,0	950 600	812 763	34,0	18,34	378 833	15,9	66	13,33

¹ Production totale de méthane par m³ de lisier, exprimée en m³ et en équivalent énergétique (kJ).

² Considère une utilisation de 10% du méthane pour chauffer les bioréacteurs et une efficacité de 95% du méthane résiduel.

³ Il est considéré que 10% du méthane sont utilisés pour chauffer les bioréacteurs, 40% et 25% sont convertis respectivement en énergie thermique et en énergie électrique et 25% sont perdus en efficacité.

⁴ Basé sur un prix de 0,539 \$ / L propane et 0,073 \$ / kWh électrique (octobre 2009).

Malgré ses nombreux avantages, la rentabilisation des projets de méthanisation à la ferme passe par :

- la co-digestion du lisier de porcs avec des résidus agroalimentaires (abattoirs, fabrique d'aliments, etc.) afin :
 - d'améliorer le rendement énergétique des bioréacteurs (rapport C : N amélioré et valeur énergétique plus élevée)
 - l'imposition d'une tarification pour la prise en charge de ces résidus ;
- la possibilité de vendre au réseau l'énergie non consommée à la ferme ;
- l'obtention de subvention à l'investissement ou à la production d'énergie verte ;
- la vente éventuelle de crédits de carbone.

15.6 LES MODES D'ORGANISATION

La digestion anaérobie, compte tenu du volume des bioréacteurs, doit être réalisée à des installations fixes. Ce procédé s'adapte aussi bien à un traitement individuel que collectif. Il profite d'économies d'échelle d'une part pour le procédé lui-même et, d'autre part, pour la gestion du biogaz (désulfuration, torchère, co-génération).

15.7 IMPACTS AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

D'un point de vue agronomique, les principaux impacts envisagés sont :

- L'augmentation du taux d'infiltration du lisier digéré dans le sol par réduction de sa viscosité ;
- La réduction conséquente des pertes d'azote par volatilisation de l'ammoniac (Chantigny et al., 2004) ;
- L'augmentation du coefficient apparent d'utilisation de l'azote du lisier digéré (Chantigny et al., 2004) ;
- En situation de surplus à la ferme, l'extraction des boues et leur déshydratation permet d'exporter près de 50 % du phosphore dans un volume équivalent à environ 2 à 3 % du volume de lisier brut. Le lisier digéré et séparé présente alors un rapport N : P mieux adapté aux cultures ;

- La réduction du taux de matière organique du lisier peut atteindre près de 80 %. Cette perte de matière organique n'est pas toujours souhaitable, certains sols et pratiques culturales favorisant la consommation de cette matière organique ;
- Le volume de lisier traité demeure presque équivalent à celui du lisier brut, une perte par évaporation d'eau de moins de 5 % étant généralement observée.

Au point de vue environnemental, les principaux impacts envisagés sont :

- La réduction des risques de contamination des eaux de surface et des eaux souterraines obtenue par une combinaison de l'augmentation du taux d'infiltration du lisier digéré dans le sol, la réduction de sa teneur en matière organique et la réduction du nombre de micro-organismes pathogènes;
- La réduction des odeurs à l'entreposage et à l'épandage du lisier digéré ;
- Pour une ferme naisseur – finisseur de 200 truies produisant 4000 porcs par année et utilisant en totalité le biogaz en remplacement de combustible fossile, la réduction des émissions de GES pourrait atteindre 50 %, soit près de 300 tonnes de CO₂ éq (IRDA – BPR, 2005) ;
- La réduction des pertes d'azote sous forme d'ammoniac, reconnu comme un des principaux contaminants atmosphériques (Environnement Canada, 2009) ;
- La digestion anaérobie du lisier présente un bilan énergétique très positif supérieur à 10 (MAAARO, 2007). Ce bilan indique le rapport entre l'énergie contenue dans le produit fini et l'énergie fossile utilisée à sa production.

16. CHAÎNES DE TRAITEMENT

Les chaînes de traitement sont une combinaison de procédés qui permettent d'atteindre les objectifs de traitement visés par l'entreprise. La majorité de ces chaînes de traitement sont présentées dans les fiches techniques sur les technologies de traitement produites par le Groupe de travail « Transfert technologique » de la Table filière porcine (FPPQ, 2009). Le Tableau 21 présente les principales chaînes de traitement qui sont ou ont été en opération au Québec pour le traitement du lisier de porcs. Les traitements ne comprenant qu'un seul procédé ne sont pas indiqués (ex. : séparateur FAN, décanteur centrifuge Asserva ou Alfa-Laval).

Tableau 21
Liste des principales chaînes de traitement de lisier en application au Québec

CHAÎNE DE TRAITEMENT	TRAITEMENT PRIMAIRE	TRAITEMENT SECONDAIRE	TRAITEMENT TERTIAIRE	POLISSAGE
BERLIE-FALCO	Aucun	Traitement par boues activées du lisier brut Soutirage de boues à la base d'un décanteur ou possibilité de déshydrater le lisier traité par centrifugation	Aucun : entreposage et épandage du surnageant de la décantation ou de la fraction liquide de la centrifugation	
BIOFERTILE-F	Séparation mécanique par tamis tangentiel et presse à vis	Boues activées avec soutirage de boues	Filtre à lit ruisselant avec soutirage de boues	Traitement électro-chimique Entreposage et épan-dage de la fraction liquide
		Filtration sous pression du mélange de la fraction solide de la séparation mécanique et des boues biologiques provenant du procédé de boues activées et du filtre à lit ruisselant		
BIOFERTILE-S	Aucun	Traitement par boues activées du lisier brut Aucun soutirage de boues activées Essorage du lisier traité par filtration passive sur Geotube, avec ajout de polymère, comprenant des cycles de gel et dégel	Aucun : entreposage et épandage de la fraction liquide	

CHÂÎNE DE TRAITEMENT	TRAITEMENT PRIMAIRE	TRAITEMENT SECONDAIRE	TRAITEMENT TERTIAIRE	POLISSAGE
BIOMAX	Mélange du lisier brut avec un substrat carboné	Procédé de compostage en piles statiques avec aération forcée	Aucun : entreposage et épandage du compost	
BIOSOR LISIER	Décantation naturelle, flottation à air dissous ou centrifugation	Biofiltre à lit organique	Biofiltre à lit synthétique	Champ d'épuration et rejet au milieu naturel
BIOTERRE SYSTEMS	Aucun	Digestion anaérobie Soutirage des boues et déshydratation par centrifugation ou filtration, avec polymère	Aucun : entreposage et épandage de la fraction liquide	
ÉCOGESPRO	Aucun	Lagunage avec aération	Lagunage avec aération	Fossé d'oxydation
		Extraction des boues des lagunes (fréquence non connue)		Entreposage et épandage du lisier traité
LISITECH	Précipitation avec poussières de roche cornéenne et polymère	Ultrafiltration	Osmose inverse	
LISOX	Séparation mécanique par tamis tangentiel	Flottation biologique avec ajout de polymère Essorage par tamis rotatif du mélange des boues de flottation et de la fraction solide de séparation mécanique	Aucun : entreposage et épandage de la fraction liquide	
NORSK-HYDRO	Précipitation avec sous-produits d'électrolyse et de fonderie	Déshydratation des boues de précipitation par centrifugation	Aucun : entreposage et épandage du surnageant de la précipitation	

CHÂINE DE TRAITEMENT	TRAITEMENT PRIMAIRE	TRAITEMENT SECONDAIRE	TRAITEMENT TERTIAIRE	POLISSAGE
SEQUENCIA	Séparation mécanique par presse à rouleaux	Flottation à air dissous par diffuseur fines bulles et ajout de polymère Essorage gravitaire des boues de flottation Un traitement biologique aérobie peut être effectué sur le surnageant de la flottation	Aucun : entreposage et épandage de la fraction liquide	
URECO	Séparation par tamis rotatif	Évaporation entretenue par recompression mécanique de vapeur	Distillation azéotropique	

17. RÉFÉRENCES

- ASABE, 2008. ASABE Standards 2008. Standards Engineering Practices Data. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Béline, F., M.-L. Daumer et F. Guiziou. 2003. Performances des principales filières de traitement aérobie du lisier de porcs. Journées de la Recherche Porcine, 35 :29-34.
- BIOMAX, 2001. Données tirées de la fiche « Compostage » produite par le Groupe de travail « Transfert technologique » du Plan agroenvironnemental de la production porcine. Site : <http://www.leporcduquebec.gc.ca/fr/fppq/pdf/Compostage-Fiche-specifique-A.pdf>
- BPR, 1990. Analyse de la situation des surplus de lisiers et proposition d'une structure de gestion. Région Chaudière – Appalaches. Ministère de l'Environnement du Québec et Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Mai 1990.
- BPR, 1995a. Analyse de la problématique des surplus d'engrais de ferme pour un groupe de municipalités du bassin versant de la rivière Chaudière. Diagnostic et avenues de solutions possibles. COOP Fertior.
- BPR, 1995b. Analyse de la problématique des surplus d'engrais de ferme pour un groupe de municipalités du bassin versant de la rivière L'Assomption. Diagnostic pour le sous-bassin des rivières de L'Achigan et Saint-Esprit et avenues de solutions possibles. COGEO Lanaudière.
- Brionne, É. et G. Martin, 1994. Valorisation de l'azote ammoniacal du lisier de porc par précipitation du phosphate ammoniaco-magnésien. Journées des recherches porcines en France, 26 : 135-140.
- Burton, C. H. et C. Turner, 2003. Manure Management. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture. Silsoe Research Institute. UK.
- CAN/BNQ, 2005a. Amendements organiques – Composts. CAN/BNQ 0413-200 2005-01-21. Bureau de normalisation du Québec.
- CAN/BNQ, 2005b. Amendements organiques - Composts - Détermination du taux de respiration - Méthode respirométrique. CAN/BNQ 0413-220 2005-01-21. Bureau de normalisation du Québec.
- Chantigny, M. H., G. Bélanger, D. Côté et D. Massé, 2004. Les sous-produits liquides de traitement des lisiers. Porc Québec, octobre 2004.
- Consumaj, 2000. Vitrine technologique – Rapport technico-économique annuel 1999-2000. Purin Pur – Procédé de traitement de lisier.
- Consumaj, 2003. Le décanteur centrifuge à la ferme. Porc Québec, décembre 2003.

- Coillard, J. , 1996. La gestion des lisiers de porc associant le traitement en zones d'excédents structurels. Forum sur le traitement des lisiers en Chaudière – Appalaches. Fertior. 25 septembre 1996.
- Côté, C., D.I. Massé et S. Quessy, 2006. Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries. *Bioresource Technology* 97 :686-691.
- Dallaire, R., 2000. Envirotech 2000 – Projet de démonstration et d'essais : résultats de la 1^{ère} année. Journée d'information en agroenvironnement. Valorisation et traitement des fumiers : où en est-on ?. Sainte-Maire-de-Beauce, 20 janvier 2000.
- Debruyckere, M., R. Verschoore, G. Neukermans et M. Colanbeen, 1995. Comite voor Onderzoek van Mestverwerkingstechnieken. Université de Gand.
- Dufour, V., F. Pouliot, B. Leclerc, S. Godbout, L.-A. Larose et M. Trahan, 2005. Évaluation technique et économique d'un système d'isolement des fèces avec courroie sous les lattes dans un bâtiment porcin commercial québécois. Centre de développement du porc du Québec. Rapport final. Mai 2005.
- Environnement Canada, 2009. Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999). Site consulté : http://www.ec.gc.ca/RegistreLCPE/the_act/default.cfm
- EPA, 1994. Guide to Septage Treatment and Disposal. United State Environmental Protection Agency. EPA/625/R-94/002. September 1994.
- FERTIOR, 1996. Détermination à la ferme de la valeur fertilisante en phosphore des lisiers. Projet réalisé dans le cadre de l'entente Canada – Québec pour le développement de l'agroalimentaire, 14p.
- Fleming, R. et M. MacAlpine, 1999. Development of a Farm-Scale System to Compost Liquide Pig Manure. The Composting Council of Canada 9th annual Composting Conference, Toronto, Novembre 1999. Site consulté : http://www.ridgetownc.uoguelph.ca/research/documents/fleming_compost.PDF
- FPPQ, 2002. Fermes en surplus – Analyse des solutions. Fiche technique No.1. Fédération des producteurs de porcs du Québec. 8p.
- FPPQ, 2006. Bilan alimentaire en production porcine. Guide technique. FPPQ – MAPAQ – CDAQ. Mars 2006. 66p.
- FPPQ, 2009. Rapport d'évaluation des technologies de traitement du lisier de porc. Groupe de travail « Transfert technologique » du Plan agroenvironnemental de la production porcine.
- Gasser, M.-O., 2008. Capacité d'absorption en eau de matériaux destinés aux litières d'élevage. Rapport interne préliminaire. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Mars 2008.
- Godbout, S., M.-J. Turgeon, M. Belzile, 2006. Séparation des lisiers de porcs au bâtiment – trois technologies à l'épreuve. Porc Québec. Juin 2006, p.42-45.

- Guimont, H., F. Pelletier, S. Godbout et D. Massé, 2007. Évaluation technique et économique d'un système d'isolement des fèces avec grattes en « V » dans un engraissement commercial. CDPQ – IRDA – La COOP Fédérée et AAC. 151p.
- Haug., R. T., 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. 717 p.
- IRDA, 2005. Évaluation du procédé de traitement du lisier SEQUENCIA. Rapport final – CORPAQ – Programme de recherche et d'adaptation technologiques sur le traitement des fumiers.
- IRDA, 2006a. Évaluation technico-économique d'un système de séparation solide/liquide des déjections à la source dans un bâtiment porcin et les impacts sur l'environnement – Volet II. Rapport final. Programme de recherche et d'adaptation technologique sur le traitement des fumiers. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. Projet no. 603045. Mars 2006.
- IRDA, 2006b. Installation et essais à la ferme d'un système de séparation solide-liquide du lisier de porcs complété par la stabilisation et l'entreposage de la fraction solide – Rapport final. Programme de recherche et d'adaptation technologique sur le traitement des fumiers. Projet CORPAQ # 703015. Projet IRDA # 140127. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement.
- IRDA – BPR, 2005. Réduction des émissions de gaz à effet de serre : faisabilité de l'implantation d'une chaîne de gestion des lisiers au Québec. Rapport déposé au MDDEP. 94 p.
- Larouche, J.P., Y. Martineau, F. Pelletier et F. Léveillé, 2005. Évaluation par bilan massique du procédé Sequencia de traitement de lisier. Agrosol 16(2) :145-154.
- LGL, 1990a. Analyse de la situation des surplus de la région de la Yamaska. Ministère de l'Environnement du Québec.
- LGL, 1990b. Analyse de la situation des surplus de la région de l'Assomption. Ministère de l'Environnement du Québec.
- MAAARO, 2007. Rendement énergétique d'un digesteur anaérobie de ferme. Site du Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario. www.omafra.gov.on.ca/french/engineer/facts/enyields.htm
- MAPAQ, 2009. Prime-Vert. Programme en vigueur depuis le 1^{er} avril 2009. Publication no 09-0013. Site du Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec : <http://www.mapaq.gouv.qc.ca/Fr/Productions/md/Programmes/primevert.htm>
- Martin, D.-Y., F. Léveillé, C. Landry et R. Carrier, 2006. Installation et essais à la ferme d'un système de séparation solide-liquide du lisier de porcs complété par la stabilisation et l'entreposage de la fraction solide. Rapport final – Projet CORPAQ # 140127. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. 100 pp.
- Martin, D.-Y., 2006. Évaluation d'un séparateur décanteur centrifuge pour la séparation du lisier de porcs – Description et rendement de l'équipement. Porc Québec, octobre 2006. p.33-35.

- Martin, D.-Y. et F. Léveillé, 2007. Évaluation des performances d'un séparateur-décanteur centrifuge pour la séparation du lisier de porcs – Valorisation des sous-produits. *Porc Québec*, juin 2007, p.45-49.
- Mazé, J., D. Melec et O. Théobald, 1996. Le compostage du lisier de porc sur différents supports carbonés et selon deux modes d'aération. *Journées de la recherche porcine en France 28* : 231-240.
- MDDEP, 2006a. Adaptation, démonstration et optimisation du BIOSOR^{MD}-Lisier dans une derme de grande taille de type « naisseur ». Fiche technique. ENV/2006/002. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.
- MDDEP, 2006b. Adaptation, démonstration et optimisation du BIOSOR^{MD}-Lisier dans une derme de type « finisseur pouponnière-engraissement ». Fiche technique. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.
- MDDEP, 2008a. Guide sur la valorisation des matières résiduelles fertilisantes – Critères de référence et normes réglementaires. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.
- MDDEP, 2008b. Lignes directrices pour l'encadrement des activités de compostage. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec. 47 pages.
- Meunier, N., M. Chartier, G. Mercier et J.-F. Blais, 2009. Solid/Liquid Separation of Pig Manure by Biological Flotation: Pilot-Scale Study. *Journal of Environmental Engineering* 135(9): 869-875.
- Moatamri, N., 2003. De l'analyse du pilotage d'un décanteur centrifuge à son instrumentation. Thèse École Nationale Supérieure des Industries Agricoles et Alimentaires (ENSIA). 233p.
- Mustin, M., 1987. *Le compost – Gestion de la matière organique*. Éditions François Dubusc, 75015 Paris. 954 p.
- Pelletier, F., 2000. Revue de littérature sur les séparateurs à lisier. Centre de développement du porc du Québec. 50p.
- Picher, S., 2010. HET Corporation, Communication personnelle.
- Potvin, D. 1988. Vers une utilisation raisonnée des ressources. Colloque tenu à la Faculté des sciences de l'Agriculture et de l'Alimentation, Université Laval, 22-23 février 1988.
- Potvin, D. et R. Cloutier, 1989. Le compostage au Québec : problématique technique et inventaire des matériaux. Centre de recherche PREMIER. Rapport déposé auprès du Centre québécois de valorisation de la biomasse. 223 p.
- Potvin D. et Y. Bernard, 1992. Évaluation du potentiel d'utilisation de divers types de litières à la ferme. Symposium sur la recherche et le développement en gestion environnementale des effluents d'élevage. Ministère de l'Environnement du Québec. 9 et 10 septembre 1992.
- Pouliot, F., 2004. Isolation des fèces et de l'urine sous les lattes : les résultats en engraissement. Texte de conférence présentée à l'Expo-Congrès du porc du Québec. Saint-Hyacinthe, 7-8 avril 2004.

- Poilvet, D. 2004. Les stations biologiques en rythme de croisière. Groupe Réussir. 24 février 2004. <http://www.syndicat-agricole.com/actualites/aucun-traitement-du-lisier-les-stations-biologiques-en-rythme-de-croisiere&fldSearch=:5736.html>
- Pouliot, F. et V. Dufour, 2005. Système de courroie pour isoler les fèces de l'urine sous les lattes : une solution efficace. Porc Québec. Août 2005, p.54-57.
- Recyc-Québec, 2008. Les matières organiques en fiches techniques – Le compostage. Fiche 5. Consulté sur le site <http://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/>.
- Sevrin-Reyssac, J., J. de la Noüe et D. Proulx, 1995. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Technique & Documentation - Lavoisier, Paris, 118p.
- Seydoux, S., D. Côté et M. Grenier, 2005. Caractérisation des volumes et des concentrations en éléments fertilisants des déjections animales liquides en Chaudière – Appalaches. Rapport scientifique. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement. 75pp + annexes.
- Tchobanoglous, G., F.L. Burton et H.D. Stensel, 2003. Wastewater Engineering – Treatment and Reuse. 4^e édition. Metcalf & Eddy. McGraw Hill.
- UQAR, 1999. Compostage du lisier de porc et des résidus de scierie. Phase 2 : mise à l'échelle.
- USEPA, 2003. Environmental Regulations and Technology – Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge (Including Domestic Septage). Under 40 CFR Part 503. EPA/625/R-92/013. Site consulté le 28 avril 2010 : <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r92013/625R92013.pdf>

18. GLOSSAIRE

- Biofilm :** communauté plus ou moins complexe et symbiotique de micro-organismes (bactéries, champignons, algues ou protozoaires), adhérant entre eux et à une surface, et marquée par la sécrétion d'une matrice adhésive et protectrice.
- Charge appliquée :** représente la quantité de pollution organique apportée par jour et par m³ de réacteur (kg DBO₅/m³·j ou kg DCO/m³·j)
- Coagulation :** les colloïdes sont des particules très fines qui ont la particularité d'être chargées électro-négativement. Par conséquent, elles décantent très lentement et se repoussent mutuellement. La coagulation, par l'ajout d'un sel métallique (généralement de fer ou d'aluminium), permet de supprimer les répulsions intercolloïdales et rend possible leur agglomération en particules plus grossières.
- Continu :** système de traitement dont l'alimentation en effluent se fait sur une base continue.
- Dénitrification :** processus microbiologique par lequel les bactéries transforment le nitrate (NO₃⁻) successivement en nitrite (NO₂⁻), en monoxyde d'azote (NO), en oxyde nitreux (N₂O) puis en azote diatomique (N₂). C'est un processus qui requiert des conditions anoxiques et une source de carbone assimilable. Selon les conditions du milieu, ce processus est plus ou moins complet et peut générer les composés intermédiaires tels que NO et N₂O. Ce dernier est un puissant gaz à effet de serre.
- Discontinu :** système de traitement dont l'alimentation en effluent est effectuée par cuvée (batch). Le contenu du réacteur est vidangé presque entièrement après chaque cycle complet de traitement.
- Floculation :** la floculation permet l'agglomération des particules colloïdales, grâce à l'ajout d'un floculant. Cet agglomérat de colloïdes appelé floc dispose d'une masse suffisante pour pouvoir se décanter. Le floculant ajouté est généralement un polymère, minéral, organique ou de synthèse. Il joue ainsi le rôle de colle entre les colloïdes.
- Floc :** voir Floculation.
- Nitrification :** processus microbiologique par lequel les bactéries aérobies présentes dans un milieu (sol, effluent) oxydent l'azote ammoniacal (NH₄⁺) en nitrite (NO₂⁻) (nitritation) puis en nitrate (NO₃⁻) (nitratation).
- Semi-continu :** système de traitement dont l'alimentation en effluent est régulière, mais ponctuelle. L'alimentation n'est pas faite seulement à la fin d'un cycle.
- Séquentiel :** traitement pour lequel l'effluent est placé successivement dans différentes conditions.
- Taux d'enlèvement :** taux de réduction de la concentration d'un paramètre donné par rapport à l'effluent initial (ex. : un taux d'enlèvement de 50 % des solides totaux signifie que la siccité de l'effluent traité équivaut à 50 % de l'effluent brut). Synonyme : taux d'abattement, efficacité ou rendement épuratoire.

Taux de capture : proportion d'un paramètre donné qui est extraite dans la fraction concentrée (ex. : un taux de capture de 50 % de phosphore signifie que la moitié du phosphore est retirée de l'effluent brut).

Temps de résidence hydraulique : représente le temps de séjour moyen du liquide à traiter dans un réacteur.

Traitement complet : traitement par lequel les effluents d'élevage sont transformés en un produit solide stabilisé de nature différente, comme des granules fertilisantes ou des composts matures, et par lequel sont détruites les bactéries qu'elles contiennent. La fraction liquide, le cas échéant, doit rencontrer les normes de rejet en milieu naturel. S'il n'est pas complet, le traitement est dit « Partiel ».