

GESTION DES FUMIERS/LISIERS

Comme la gestion des fumiers/lisiers est directement associée aux problématiques de qualité des eaux, du cycle des éléments nutritifs et de certains aspects traités sous Odeurs et Émissions de gaz, d'autres chapitres de cet ouvrage devraient être consultés pour compléter les informations présentées ici.

Lexique

Demande biologique en oxygène (DBO) : la DBO est la quantité d'oxygène nécessaire pour dégrader la matière organique décomposable lorsque présente dans l'eau ou un mélange liquide comme le lisier. La DBO_5 se réfère à la quantité d'oxygène requise sur une période de cinq jours pour dégrader la matière organique présente dans un litre de liquide. Par exemple, pour un échantillon de lisier, la DBO_5 peut être aussi élevée que 6 000 mg oxygène/L comparativement à une valeur de 1 mg/L pour un échantillon d'eau provenant d'une rivière non polluée (Sevrin-Reyssac et al., 1995).

Demande chimique en oxygène (DCO) : la DCO est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder complètement la matière organique présente dans un échantillon et celle-ci est déterminée à l'aide d'un oxydant puissant. L'unité de mesure est généralement le mg/L.

Nitrification : la nitrification est un procédé par lequel les bactéries présentes dans le sol oxydent les composés azotés (c.à.d. les ions ammonium) en nitrite (NO_2^-) qui sont transformés subséquentement en nitrate (NO_3^-).

Dénitrification : la dénitrification est un processus par lequel les bactéries transforment les composés azotés (NO_3^- et NO_2^-) en composés à moindre oxydation comme l'azote gazeux (N_2) et les oxydes nitreux (N_2O , NO).

Solides totaux (ST) : les solides totaux représentent la masse de matière sèche obtenue du fumier/lisier après qu'un échantillon ait été complètement séché. L'unité utilisée est généralement g/100 mL ou g/L.

Solides volatiles (SV) : la fraction des solides volatiles est un autre paramètre qui permet d'évaluer le contenu en matière organique d'un échantillon de fumier/lisier. La valeur des SV est exprimée en pourcentage de ST sur une base de masse (%), ou sur une base massique pour un volume donné de matériel évalué (c.à.d. mg/100 mL ou mg/L).

Solides en suspension (SS) : les solides en suspension représentent le matériel, organique ou inorganique qui est en suspension mais qui n'est pas en solution dans le lisier ou le liquide étudié. Les unités utilisées pour caractériser les SS sont SS par unité de volume de liquide évalué (mg/100 mL ou mg/L).

pH : le pH est la mesure de l'acidité d'une solution. Une solution qui a un pH de 7 est neutre c.à.d. qu'elle n'est ni acide ni alcaline. Les valeurs de pH qui sont inférieures à 7 indiquent que le liquide est acide, lorsque les valeurs sont supérieures à 7, le liquide est alcalin.

Contenu en matière fertilisante des fumiers/lisiers

Le contenu en éléments nutritifs des fumiers/lisiers doit être considéré dans l'élaboration du cycle des matières nutritives et de la valeur fertilisante des fumiers/lisiers. Différentes tables qui fournissent des valeurs moyennes sur les caractéristiques des fumiers/lisiers (ASAE, 1997) et les éléments disponibles à la fertilisation des plantes sont disponibles (SAF 1997; OMAF 1994b). Les National Standards présentent les résultats d'analyses CPS M-370 qui ont été réalisées sur 141 échantillons de lisier de porcs. Les valeurs moyennes donnant le contenu en éléments nutritifs sont présentées dans la table suivante (SAF, 1997).

Valeur fertilisante du lisier de porcs

Élément fertilisant	Contenu relatif (% humide)
Azote total (N)	0.37
Phosphore(P)	0.09
Potassium (K)	0.15
Calcium (Ca)	0.10

À l'échelle de la ferme, ces valeurs ne peuvent être utilisées que comme valeurs indicatives car des variations dans le contenu des éléments fertilisants du lisier sont observées d'une ferme à une autre et sont aussi induites par différentes rations, différents systèmes de manutention, de traitement et d'entreposage des lisiers. Pour bien caractériser ce qui est produit par un troupeau donné, des analyses de fumier/lisier sont nécessaires sur chaque ferme (Campbell et al. 1997; Hilborn and Brown 1996).

Comme le N est un élément fertilisant important pour les cultures, l'évaluation du contenu en N dans le fumier/lisier est essentiel de manière à pouvoir déterminer un taux d'application optimal. Toutefois, comme discuté dans le chapitre sur les sols, dans plusieurs cas le phosphore devient un élément qui limite les quantités de fumier/lisier qui peuvent être appliquées. Une évaluation correcte du contenu en N du fumier/lisier va permettre de déterminer la quantité supplémentaire de N qui est nécessaire pour combler les besoins des plantes lorsque le P est considéré comme l'élément fertilisant limitant. Des analyses de laboratoire peuvent être complétées à l'avance, toutefois même si le fumier/lisier est bien mélangé pour la prise d'échantillons, le contenu en éléments fertilisants peut varier d'un voyage à l'autre lors de l'épandage. Pouvoir déterminer le contenu en N juste avant l'épandage au champ à l'échelle de l'épandeur permettrait une amélioration importante de la gestion des matières fertilisantes sur la ferme et une optimisation de la valeur agronomique du fumier/lisier. Une telle approche permettrait aussi d'améliorer la confiance des producteurs en la réelle valeur agronomique et économique du fumier/lisier appliqué sur leurs terres (UDA, 1995).

Différentes techniques d'évaluation sur le terrain ont été testées. L'hygromètre pour les sols a été utilisé pour estimer différentes composantes du lisier, toutefois cette méthode donne de pauvres estimations du contenu en azote ammoniacal (NH_4^+ et NH_3) en solution (UDA 1995, U.K. 1997). « AGROS » a été développé en Suède pour mesurer le N et il a été testé au champ par différents groupes (Fleming et al. 1993, UDA 1995). Il a aussi été comparé à l'hygromètre et aux tests standards en laboratoire. Pour le lisier de porcs, « AGROS » a donné des résultats aussi bons que ceux obtenus en laboratoire pour l'estimation du contenu en NH_4^+ et a été supérieur à la technique de l'hygromètre. Aucune calibration n'est nécessaire et la lecture du NH_4^+ est directe. Une relation établie à l'aide de tests en laboratoire peut être faite pour estimer le contenu total en N du lisier. Les coûts d'une analyse faite avec les outils discutés sont estimés à \$2.00 et \$4.50 pour l'hygromètre et « AGROS » respectivement comparé à \$25.00 pour les tests en laboratoire (UDA, 1995). Deux modèles d'appareil servant à mesurer le N (les deux mesurent le volume de gaz ammoniacal produit par une réaction chimique entre l'ammonium contenu dans le lisier et les ions hypochlorites) ont aussi été testés au Royaume Uni et ils donnent des résultats précis et comparables à ceux réalisés en laboratoire (U.K., 1997).

Fleming et al. (1993) ainsi que Stevens et al. (1994) ont évalué la conductivité électrique des lisiers comme moyen pour estimer la valeur fertilisante. Les deux groupes ont trouvé que la conductivité électrique est un bon indicateur du contenu en NH_4^+ dans le lisier. Stevens et al. (1995) a aussi trouvé que cette méthode donne une bonne estimation du contenu en potassium mais pour déterminer le contenu en phosphore, il est préférable d'utiliser le contenu en matière sèche.

LA GESTION DES FUMIER/LISIER DANS LE BÂTIMENT

La réduction d'odeurs et d'émissions de gaz du fumier/lisier entreposé dans un bâtiment peut être obtenue par l'utilisation de différents additifs, des manipulations de la diète et différents designs et systèmes de gestion des fumiers/lisiers. Les informations données traitant de ces aspects de la gestion des fumiers/lisiers peuvent être consultées dans les chapitres Odeurs, Valeurs nutritives et Émissions et ne seront pas répétées ici.

LA LITIÈRE PROFONDE

BPR (1994) ont rapporté que la litière profonde ou accumulée de 70 cm dans les bâtiments de croissance-finition présente une alternative pour réaliser une gestion des lisiers sous forme solide. Si on considère trois cycles de production sur la même litière, le volume total de fumier/litière à gérer est diminué de 75% comparativement à une gestion sous forme liquide (lisier). De plus, si on considère le bien-être et les performances de l'animal, ces systèmes sont très performants (Nicks et al. 1995, Matte 1993). Toutefois les niveaux de bactéries et de moisissures dans le bâtiment sont plus élevés et peuvent avoir des effets à long terme sur la santé humaine (Lavoie et al., 1995). La litière présente aussi un désavantage environnemental par des pertes importantes en N libéré sous forme de NH_3 et particulièrement sous forme d'oxyde nitreux (NO , N_2O). Toutefois les émissions totales d'odeurs sont moindres avec un tel système (Voorburg 1994; BPR 1994; CRIQ et al. 1994). Un brassage régulier de la litière doit être fait de manière mécanique ou manuelle pour enfouir les fèces et aérer la litière. Cette opération est nécessaire pour maintenir de bonnes conditions de compostage mais augmente le nombre d'heures de travail par porc produit. Dépendant de la disponibilité du matériel organique (paille ou sous produits du bois), le coût de la litière peut varier considérablement (BPR, 1994).

RÉDUCTION DES VOLUMES DE LISIER

Comme mentionné précédemment, les systèmes de litière profonde contribuent à la réduction des volumes de lisier. Pour atteindre ce même objectif d'autres moyens peuvent être considérés comme par exemple une réduction de l'utilisation de l'eau dans le bâtiment. Selon Brooks (1994), des porcs en croissance-finition peuvent gaspiller jusqu'à 60% de l'eau provenant des tétines d'abreuvement. Si les besoins en eau des porcs et le gaspillage potentiel provenant des abreuvoirs sont considérés, une quantité significative d'eau se retrouve directement de la porcherie à la structure d'entreposage. Ce volume additionnel doit être entreposé et doit aussi être appliqué au sol. Si des valeurs moyennes de matières fertilisantes et non des résultats provenant d'analyses de lisier sont utilisées pour définir les superficies nécessaires à l'épandage, les taux d'applications peuvent s'avérer être incorrects. Dans le cas où le lisier est très dilué plus de terre que nécessaire peut être couverte pour disposer du volume total. Différentes actions peuvent être prises pour réduire le gaspillage en eau et ainsi réduire le volume total de lisier. Lorsque de nouveaux équipements sont choisis pour l'abreuvement des porcs, les bols ou les trémis humides devraient être considérés. Deux études récentes (Granger and Cournoyer 1997; Gingras and Garneau 1997) ont indiqué que l'usage de bol-abreuvoirs ou trémis humides réduit la production de lisier de 35 à 48% comparativement au système conventionnel de trémis sèche et tétine. Une gestion appropriée de la hauteur des abreuvoir-tétines est essentielle pour réduire le gaspillage de l'eau. La hauteur à laquelle les tétines doivent être installées dépend de l'angle par rapport au mur et de la taille des porcs qui les utilisent (Gonyou, 1996). Les systèmes d'alimentation liquide présentent aussi une alternative pour réduire la consommation et le gaspillage d'eau (Brooks, 1994).

SÉPARATION SOLIDE - LIQUIDE

Dans les zones où le lisier est produit en excès par rapport aux superficies disponibles ou sur les fermes où de grandes quantités de lisier sont produites, la séparation des solides de la partie liquide peut être considérée comme une technique avantageuse si le lisier doit être transporté sur de longues distances

(plus de 10 km) et si seulement les solides doivent être transportés (Sidhu et al. 1997; BPR 1994). Dans certains cas, des traitements subséquents peuvent être faits sur la partie liquide ou solide.

Techniques mécaniques

BPR (1994) a étudié diverses techniques de séparation solide-liquide. La première est un tamis qui est de mécanique relativement simple et qui requiert un entretien minimal. Toutefois l'efficacité de la séparation des solides dépend de son taux d'opération et du taux de matière sèche du lisier non-traité, plus la portion solide est importante, plus le système est efficace. Pour un lisier de porcs non-traité qui a un taux de matières sèches de 4 à 5 %, la partie solide obtenue sera d'environ 10 à 20% de matière sèche. Le coût d'un tel équipement est difficile à estimer et varie selon le taux d'opération requis. Différents types de presses sont disponibles où une combinaison de compression mécanique et de tamisage du lisier est faite et ces systèmes fournissent une meilleure efficacité que le tamis seul. Une presse rotative munie d'une brosse rotative ainsi qu'une cuve rotative munie de rouleau presseur peuvent extraire environ 20% des solides à une teneur en matière sèche variant de 15 à 25%. Ce type d'équipement a été utilisé dans le lisier de bovin laitier qui présente une teneur en matière sèche plus élevée que celle du lisier de porc ou dans l'industrie des pâtes de papier et les boues de fosses septiques.

Un décanteur centrifuge utilisé avec ou sans additifs flocculants peut séparer les solides à une teneur en matière sèche de 15 à 30%. L'efficacité de ce procédé dépend de la matière sèche du lisier non traité et de l'usage de flocculant.

Un convoyeur filtrant ou un système à filet peut être utilisé pour séparer les fèces des urines avant que celles-ci soient mélangées ensemble pour former le lisier. Celui-ci est placé sous le plancher latté et retient les fèces laissant passer l'urine. Les solides obtenus ont une teneur en matière sèche de 26% et la partie liquide se retrouve à une teneur en matière sèche de 2% (Marchal et al., 1995). Les coûts d'un tel système sont évalués à \$35.90 et \$22.50/place-porc de plus qu'un système d'entreposage de lisier sous le plancher latté pour 500 et 1000 porcs respectivement (BPR, 1994). La séparation liquide-solide peut aussi être réalisé à l'aide d'un design particulier du plancher du dalot équipé d'une raclette qui enlève les solides pendant que les liquides s'écoulent vers le fond du dalot, cependant des améliorations sont nécessaires pour assurer la faisabilité de cette technique (den Brok, 1993).

Séparation gravitaire

BPR (1994) mentionne différentes études qui montrent que le contenu en matière sèche de la boue obtenue d'un procédé de sédimentation n'est qu'à seulement 10% en matière sèche. Cette technique ne peut être utilisée seule pour rendre le transport de cette boue avantageux sur de longues distances. Le biofiltre BIOSORTM utilise la technique de sédimentation pour obtenir un liquide qui est ensuite traité par le biofiltre (Bueha et al., 1997). Sievers et al. (1994) ont été capable de retirer 42% des solides volatiles du lisier en utilisant un polymère synthétique. L'addition du poly-électrolyte (liquide qui est composé d'ions chargés positivement et négativement et qui attirent les particules solides dans le lisier ou liquide à traiter) accélère considérablement la vitesse de séparation par sédimentation d'un minimum d'au moins 20 jours à un délai de 2 à 3 jours pour une température supérieure à 16 °C (den Brok, 1993).

Entreposage

Avec l'augmentation importante de la taille des élevages, la réglementation et les directives ont réduit la période disponible pour l'épandage et les applications quotidiennes de fumier/lisier sont fortement découragées rendant ainsi l'entreposage nécessaire. Les installations d'entreposage doivent être conçues pour contenir tout le fumier/lisier produit entre les principales périodes d'épandage au champ et ces structures doivent pouvoir stocker les précipitations (pluie ou neige) qui excèdent l'évapotranspiration. Les structures d'entreposage doivent aussi être conçues pour être étanches.

Structure d'entreposage

En sol

Avant de procéder à la construction d'une structure d'entreposage en sol, les recommandations, directives et réglementations doivent être consultées tant au niveau local qu'au niveau provincial. Une analyse de chacune des situations particulières est essentielle de manière à répondre aux lois, directives et règlements locaux. De plus, des mesures doivent être faites pour évaluer la hauteur de la nappe phréatique, pour vérifier la distance des plus proches sources d'eau et pour connaître les caractéristiques du sol et éviter l'hétérogénéité (type de sols mixtes) ou argiles perméables. Pour prévenir l'infiltration et la contamination des eaux souterraines par les nitrates ou des pathogènes, la structure d'entreposage en sol doit être recouverte d'une couche protectrice. Sa construction doit être faite avec un matériau cohésif de haute qualité pour s'assurer que la couche protectrice en sol est mise en place de manière à former une couche uniforme et imperméable (Tessier, 1998). Pour s'assurer d'obtenir une densité maximale du sol mise en place, la construction de cette couche protectrice doit être faite à une teneur en eau adéquate. Cette couche doit aussi être protégée pour qu'elle conserve son intégralité (protection contre l'érosion, la fissuration, les bris par les racines, les insectes, rongeurs et vers). D'autres matériaux comme le béton, des membranes flexibles, de l'argile géosynthétique et des matériaux composites peuvent aussi être utilisés pour construire cette couche protectrice (Clanton, 1997).

Béton

Les structures d'entreposage en béton sont généralement de forme circulaire et nécessitent des investissements importants. De plus, la vie utile de ces infrastructures est un problème important. Jofriet et al. (1996a) ont investigué le design des structures de béton qui devraient pouvoir durer plusieurs années, résister aux effets résultant de la pression de la glace (Godbout et al. 1992; Jofriet et al. 1996b) et de gradients de température (Godbout et al., 1997). Comme plus de paramètres sont maintenant considérés dans le design des structures en béton, il est possible que les vieux réservoirs puissent ne pas être aussi solides et étanches que les réservoirs récents construits selon les nouvelles normes. PGC (1994) ont présenté un guide pour évaluer les problèmes d'intégrité des réservoirs d'entreposage de lisier en béton et pour suggérer des solutions économiquement intéressantes pour réparer les problèmes de fissures et d'écoulement.

La réglementation en vigueur dans une région donnée sur la construction de réservoirs en béton pour l'entreposage du lisier doit vérifier certaines exigences qui peuvent être spécifiées. Lors de la construction de réservoirs en béton, un drain peut (doit dans certains cas) être placé autour du périmètre de ces structures pour éviter que la nappe phréatique ne s'élève au dessus du fond de la structure d'entreposage du lisier. Avant que du lisier soit entreposé pour la première fois dans une structure, l'eau s'écoulant de ces drains devrait être analysée pour en vérifier son contenu en nitrate. Cette valeur de référence de nitrates présents dans l'eau peut fournir des informations sur d'autres sources locales de contamination. Des puits de surveillance des eaux peuvent aussi être installés de manière à détecter les écoulements pouvant provenir de la structure (Clanton, 1997).

Recouvrement

Sommer et al. (1993) ont observé que certains types de couverts placés au-dessus du lisier entreposé comme un toit ou une membrane flottante (feuille de PVC) réduisent la volatilisation du NH_3 par plus de 80% et William et Nigro (1997) ont obtenu des réductions allant jusqu'à 90% lors de simulations réalisées avec différents couverts qui présentent des caractéristiques différentes d'échange d'air. Miner et Suh (1997) ont aussi mesuré des réductions de 45 à 90% des émissions de NH_3 lors de l'utilisation de différents couverts de mousse de polystyrène comparé à du lisier non couvert.

Recouvrir les réservoirs d'entreposage du lisier en béton réduit les émissions d'odeurs et de NH_3 comme mentionné, et dans certaines régions où les précipitations excèdent l'évapotranspiration, le volume total

de lisier à épandre au sol est aussi diminué car cette source additionnelle d'eau est détournée de la structure (OMAF, 1994c). Un système d'évent doit être installé sur de telles structures de manière à éviter l'accumulation de méthane et ainsi réduire les risques d'explosion.

TRAITEMENT DU LISIER

Réduction de la charge de matières fertilisantes

Différents systèmes ont été développés de manière à traiter le lisier et ils sont basés sur le cycle des nutriments. Martinez et Guiziu (1995) ont testé un système de traitement par le sol et le cycle végétal où une parcelle expérimentale d'ivraie (rye grass) munie de drainage souterrain était fertilisée par d'importantes applications de lisier d'avril à octobre (980 m³/ha par an correspondant à 756 kg N/ha). Comme le taux d'application excédait de beaucoup la capacité de rétention en N des plantes et du sol, une partie importante de NH₄⁺ qui était nitrifiée en nitrate lessivait et était captée par le système de drainage représentant des concentrations variant de 440 à 828 mg/L. Ce lessivage était alors transféré dans un bassin spécial contenant un matériau riche en carbone pour subir un processus de dénitrification. Le comportement à long terme d'un tel système n'a pas été discuté, de plus d'autres éléments fertilisants peuvent aussi se lessiver dans le sol et éventuellement s'accumuler dans le bassin de traitement final. Des métaux comme le cuivre et le zinc qui sont présents dans le lisier peuvent s'accumuler dans la parcelle et leurs concentrations peuvent atteindre un seuil de toxicité pour les plantes réduisant ainsi la capacité d'un tel système à moyen ou long terme.

Un système à échelle pilote peu dispendieux a été développé utilisant un lit de gravier (surface de 50 m² et une profondeur de 1,4 m) sur lequel est appliqué du lisier. La solution obtenue après le passage a une concentration élevée en nitrate par la nitrification du NH₄⁺ présent dans le lisier. Ce système peut nitrifier 52 g de N/m² par jour à un taux d'application de lisier de 60 L/m² par jour. Les nitrates sont retirés de la solution obtenue par un processus de dénitrification qui est réalisé dans un autre bassin.

Le compostage peut aussi être utilisé comme traitement pour le lisier. Le compost obtenu peut être manipulé sous forme solide ce qui diminue les risques de déversement et de ruissellement. Pour ce qui est des systèmes à litière et pour le compostage à l'extérieur du bâtiment, la disponibilité des sources de carbone (sous-produits provenant du bois, paille, foin, papiers journaux ou autre matériau contenant du carbone) a un impact économique direct associé au compostage (BPR, 1994). Pour permettre une décomposition et une activité bactérienne adéquate, plusieurs paramètres doivent être contrôlés comme le ratio carbone/azote du mélange fumier/lisier – substrat, la température maintenue dans le compost (des températures supérieures à 65°C arrêtent l'activité bactérienne tandis que des températures de moins de 10°C ralentissent cette activité considérablement), la teneur en eau du mélange et l'apport d'oxygène (apport qui est réalisé par de fréquents mélanges et par des techniques d'aération passives ou actives). L'aération active du compost requiert des équipements et de l'énergie additionnels, toutefois Barrington et al. (1997) a trouvé que le comportement de la température dans le mélange était le même indépendamment des techniques. Comme discuté dans le chapitre sur les Émissions, de l'ammoniac, du N₂ et des oxydes nitreux (N₂O) sont émis de ce processus réduisant ainsi le contenu total en N du compost final et produisant un impact sur l'environnement par ces émissions atmosphériques.

Buelna et al. (1997) ont réalisé des travaux à l'échelle pilote sur un système de biofiltre qui traite la partie liquide du lisier obtenu après une période de sédimentation des solides. Le lisier de porc qui circule à travers le biofiltre BIOSORTM (un lit organique fait de copeaux de bois, tourbe et écorce déchiquetée) est désodorisé et traité. Selon ces chercheurs, le biofiltre BIOSORTM réduit 95% de la charge polluante de la partie liquide et 95% des odeurs (lorsque l'on considère qu'une partie de la ventilation du bâtiment est traitée et que moins d'odeurs résultent de l'entreposage, du transport et de l'épandage). Toutefois, l'effluent du biofiltre est encore chargé de matières fertilisantes et ne peut être directement rejeté aux cours d'eau (en considérant la réglementation environnementale en place au Québec). Comme pour plusieurs autres systèmes de séparation, la partie liquide obtenue doit être épandue séparément des solides

ce qui implique une évaluation du contenu en éléments fertilisants pour les deux produits et la détermination et le contrôle de deux taux d'application correspondant à ces résultats.

LE CYCLE DES ÉLÉMENTS FERTILISANTS

Le cycle des éléments fertilisants peut être réalisé à l'intérieur de la chaîne alimentaire par la production de biomasse. Sevrin-Reyssac et al. (1995) présentent une chaîne intégrée de recyclage des éléments fertilisants ou nutritifs, lisier – micro-algues – micro-crustacés – poissons, obtenue par le traitement du lisier en lagunes. Ce système testé en France a démontré son potentiel par sa simplicité d'opération et son intégration facile aux unités de production. En considérant la chaîne algue – micro-crustacés, la biomasse produite peut être utilisée comme ingrédients pour l'alimentation de créatures aquatiques ou terrestres. Un tel système de recyclage ne repose pas sur l'utilisation traditionnelle des plantes ou du sol.

Digestion du lisier

Les processus de digestion anaérobique ou aérobie reposent sur l'activité de bactéries spécifiques qui sont présentes dans le fumier/lisier. L'activité de ces bactéries est possible dans des conditions particulières et ces bactéries se nourrissent de la matière organique et de d'autres composantes présentes dans le fumier/lisier. Cette digestion décompose le fumier/lisier en composés plus simples. Ce processus sera ralenti ou stoppé lorsque la température du fumier/lisier devient trop basse ou trop élevée et le fumier/lisier sera stabilisé lorsque les bactéries auront digéré tous les composés organiques (Hobson et Robertson, 1977).

Digestion anaérobique

La digestion anaérobique survient lorsqu'il n'y a pas d'oxygène présent dans le fumier/lisier. L'activité des bactéries anaérobiques permet la décomposition de la matière organique et produit du méthane (CH_4) et du dioxyde de carbone (CO_2). La digestion anaérobique surviendra durant l'entreposage dans des conditions plutôt chaudes, dans des lagunes ou des fosses de transfert de fumier/lisier (dans un bâtiment) lorsqu'il n'y a pas d'apport d'air. Si la température du fumier/lisier demeure relativement élevée (plus de 10°C comme dans le sud des États Unis), le processus de digestion sera suffisant pour traiter le lisier (Wilkie 1997; Barth 1988). Toutefois dans de pareils cas, les biogaz produits sont relâchés directement à l'environnement. L'utilisation des digesteurs aide à contrôler les conditions de digestion et maintenir la température du fumier/lisier dans une certaine plage (5 à 25°C pour la digestion psychrophilique; 30 to 35°C pour la digestion mésophile et 55 à 60°C pour la digestion thermophile) (Hobson et Robertson, 1977), et permet aussi la collecte du CH_4 . Le CH_4 peut alors être brûlé pour chauffer de l'eau ou des bâtiments ou il peut être utilisé comme carburant pour actionner des génératrices électriques. Comme le prix des combustibles fossiles est relativement bas et que les coûts d'investissement et de main d'œuvre pour la gestion de tels digesteurs sont assez élevés, cette technologie n'a pas été développée et utilisée à son plein potentiel. Comme la taille des unités de production porcine augmente, beaucoup plus de lisier est produit sur un même site rendant ainsi la digestion anaérobique plus rentable. Cette technologie peut regagner de la popularité particulièrement si le prix des carburants fossiles augmente. Les plus grands avantages de ce système viennent de l'énergie produite par le biogaz, le contrôle des odeurs et la rétention de la valeur fertilisante dans le lisier (Wilkie, 1997). Des travaux réalisés par Massé et al. (1997) explorent le développement de cette technologie dans des conditions utilisant le processus psychrophilique qui nécessite moins d'énergie pour maintenir une température constante dans la digestion sous des conditions climatiques froides. Les résultats obtenus jusqu'à maintenant pour le traitement du lisier par cette méthode sont intéressants avec une réduction allant jusqu'à 73% de la demande chimique en oxygène totale (DCO), une production de CH_4 allant jusqu'à $0,66 \text{ L CH}_4/\text{g}$ de solides volatiles et aussi une stabilisation et une réduction des odeurs du lisier. Toutefois plus de travaux sont nécessaires pour passer des tests expérimentaux à l'implantation d'un tel système à l'échelle commerciale.

Digestion aérobie

Le traitement aérobie est un autre moyen qui fait bon usage de l'activité bactérienne (de type aérobie) et qui réduit les risques de pollution ou de nuisance provenant du lisier. Dans ce cas, une grande quantité d'oxygène doit être fournie aux bactéries pour qu'elles décomposent la matière organique du lisier en CO_2 . Cette réaction devient plus lente avec la diminution de la température. Burton (1994) a identifié des problèmes potentiels qui peuvent empêcher le processus aérobie et il a été démontré que des températures chaudes de plus de 47°C (durant des conditions estivales très chaudes) causent une surchauffe qui ralentit ou arrête le processus et que des températures plus basses que 10°C ralentissent de manière significative le processus aérobie. Si le processus d'aération est efficace et que suffisamment d'oxygène est fourni, le N provenant du NH_4^+ sera oxydé en nitrate par la nitrification. Les conditions anaérobiques résultant d'une aération réduite peut amener la dénitrification des nitrates. Des pertes de N sous forme de N_2 et de N_2O surviendraient et la quantité totale de N dans le lisier traité serait diminué. Durant ce procédé, le P et le K sont toutefois retenus dans le lisier (Hobson et Robertson, 1977). Dans certains cas, le traitement d'aération est réalisé seulement sur la partie liquide du lisier après que la sédimentation ou une séparation soit réalisée. Des expériences de laboratoire ont été réalisées avec du lisier tamisé traité dans un réacteur en lots séquentiels qui avait des cycles avec ou sans aération. Les résultats obtenus ont montré que 99% du NH_4^+ , 93% du N total Kjeldhal, 97% de la DCO et 97% des SS étaient réduits par le traitement (Fernandes et al., 1991). Un réacteur en lots séquentiels à échelle réelle a été testé en Colombie Britannique et s'est avéré efficace pour réduire le DBO par plus de 90% et la DCO par environ 45% (Lo et al., 1991).

La partie supérieure du lisier entreposé sans couverture à l'extérieur est aérée naturellement. Des lagunes peu profondes peuvent aussi être utilisées pour l'aération, particulièrement lorsque le lisier a été préalablement séparé ou traité (Hobson et Robertson, 1977). L'aération des structures d'entreposage à l'aide d'aérateurs éoliens a été présenté par Toombs (1997) comme étant simple et peu coûteuse. Les résultats obtenus de cette évaluation sont toutefois difficiles à analyser car seulement deux structures d'entreposage étaient comparées et une différence importante entre celles-ci avait été mesurée avant l'utilisation du système éolien. Les changements survenus durant les trois mois d'évaluation ne peuvent être expliqués car le nombre d'observations réalisées pour faire la comparaison est trop restreint.

Dans la plupart des cas, le lisier traité de cette manière n'est pas totalement stabilisé (une partie de la matière organique peut encore être oxydée) et si ce lisier est entreposé dans des conditions anaérobiques, le processus anaérobie prendra la relève entraînant généralement des émissions d'odeurs (Williams et al., 1984). Pour minimiser les nuisances provenant de l'émission d'odeurs, lorsque le traitement n'a pas permis une dégradation complète de la matière organique, le lisier doit être épandu rapidement après la fin de l'aération.

ÉPANDAGE

Plusieurs aspects de l'épandage du fumier/lisier qui discutent des émissions d'odeurs et de NH_3 ne sont pas repris ici, les chapitres sur les Odeurs et Émissions doivent être consultés pour obtenir plus d'information.

L'optimisation lors de l'épandage des fumiers/lisiers est un élément essentiel pour valoriser la valeur fertilisante du fumier/lisier et réduire les impacts sur le sol, l'air et l'eau. Le taux d'application doit considérer la capacité hydrique d'absorption du sol (20 à $40 \text{ m}^3/\text{h}$) pour ainsi prévenir le ruissellement ou la volatilisation excessive d'éléments fertilisants et l'émission d'odeurs, car le lisier appliqué à de hauts taux peut mettre du temps à s'infiltrer (BPR, 1993). Une partie des limites de l'optimisation lors de l'épandage vient de la machinerie elle-même. Pour la plupart des épandeurs disponibles sur le marché, la calibration pour obtenir un taux d'application agronomique approprié est difficile, et les équipements d'épandage ne sont généralement pas facilement utilisables au moment où les plantes ont le plus besoin des éléments fertilisants. De plus, ils ne sont pas bien conçus pour une utilisation sur des sols propices à

la compaction (BPR 1993; Lague et Tessier 1994). Les réservoirs d'épandage peuvent être montés sur des essieux et ensuite tirés par un tracteur ou directement montés sur le châssis d'un camion. Ces épandeurs à réservoir sont de deux types, un type à vacuum qui peut se charger directement à la structure d'entreposage et qui nécessite pour opérer de 6 à 10 kW de puissance par mètre cube de lisier (le prix varie de 1 200 à 2 400 CAN\$ par mètre cube) et le type conventionnel qui doit être rempli par le haut et qui est muni d'une pompe rotative pour réaliser la vidange. L'épandeur conventionnel requiert de 6 à 9 kW de puissance par mètre cube pour opérer et coûte de 800 à 1 500 CAN\$ par mètre cube de capacité. Si on considère le coût, l'épandeur conventionnel est préféré à celui à vacuum (Laguë et Tessier, 1994). Pour l'épandage fait à l'aide de réservoirs, différents systèmes peuvent être montés sur ceux-ci : épandage en couverture totale par le haut ou le bas du réservoir, rampe d'épandage en couverture totale ou à pendillards pour un épandage plus près du sol, système d'injection ou d'incorporation. Si une rampe est utilisée, il est important que le taux d'application soit ajusté en fonction de la largeur couverte par celle-ci. Si les seuls éléments pris en considération lors de l'achat d'un épandeur sont le coût d'investissement, la simplicité d'utilisation et d'entretien et l'énergie nécessaire pour faire l'épandage, l'épandeur en couverture totale est le système préféré. Toutefois l'uniformité de l'application, les pertes d'éléments fertilisants par volatilisation ou dérive et l'émission d'odeurs rendent ce système moins intéressant lorsque comparé à l'utilisation d'un système à rampe ou à injection (Laguë et Tessier 1994; Tessier 1998).

BPR (1993) ont étudié l'épandage en couverture totale avec les systèmes d'épandeurs à réservoir conventionnel ou à vacuum. Ils ont trouvé que l'uniformité d'épandage longitudinale était bonne pour les deux systèmes car ils maintiennent un débit constant tout au long de la vidange. Cependant, l'uniformité transversale du lisier sur la surface épandue était faible et dans plusieurs cas, la dose appliquée au centre était de 3 à 4 fois plus élevée que celle sur les côtés. Les épandeurs munis d'une demie-assiette pour répartir le jet ont fourni une meilleure uniformité transversale lorsque toute la largeur de la surface couverte lors de l'épandage était considérée.

Des tests d'uniformité d'application ont aussi été réalisés par Bassez (1994) et plus d'attention doit être portée au design des équipements d'épandage de manière à améliorer la précision du taux d'application sur toute la surface couverte (Rousselet et Martinez, 1994).

Pour les épandeurs à réservoirs, une attention particulière doit être portée à la combinaison épandeur – tracteur pour s'assurer de la compatibilité et des capacités des systèmes hydrauliques, de la combinaison du poids total de l'épandeur et du tracteur, de la capacité de tirage, de la signalisation adéquate pour l'épandeur et d'un système indépendant de freinage sur l'épandeur si sa charge totale dépasse le poids du tracteur (Laguë et Tessier, 1994). Augmenter le nombre d'essieux sur l'épandeur ou installer un système de direction sur celui-ci sont des alternatives qui peuvent être considérées pour diminuer la compaction produite par le trafic au champ (Tessier et al. 1995; Laguë et Tessier 1994).

Un système d'épandage en continu devrait être considéré pour les fermes qui doivent épandre d'importants volumes de lisier. Comme le lisier peut être pompé sur des distances relativement longues, la capacité d'épandage est généralement augmentée lorsque de tels systèmes sont utilisés comparativement aux systèmes conventionnels de transport de lisier. La technologie de l'irrigation qui utilise des tuyaux rigides et des enrouleurs sera utilisée si le lisier est épandu à l'aide de fusil à irrigation ou à l'aide de rampe d'épandage avec ou sans pendillard (Laguë et al, 1994). Des tuyaux rigides et un tuyau flexible peuvent être utilisés avec les équipements d'épandage montés sur un tracteur pour un épandage à l'aide d'une rampe ou d'un système d'injection. Le tuyau flexible présente un avantage car celui-ci ne suit pas une trajectoire spécifique. Toutefois l'épandage avec un tel équipement ne peut se faire dans les cultures en rangées. Lorsque le système d'enrouleur est utilisé, des chemins de circulation doivent être prévus pour déplacer l'enrouleur et la rampe entre chacun des passages d'épandage.

Des systèmes hybrides peuvent aussi être considérés lorsqu'une partie du transport de lisier doit être fait par camions équipés d'un réservoir ou de tuyaux. Le lisier peut alors être transféré dans une structure

temporaire d'entreposage pour alimenter un système d'épandage de type irrigation ou pour emplir des épandeurs à réservoir (Laguë et Tessier, 1994). BPR ont testé deux types d'épandeurs et les résultats ont démontré que les épandeurs de plus de 13 650 L (3 000 gal) peuvent être une source importante de compaction car la pression exercée au sol par leur passage est supérieure à celle d'un tracteur de poids moyen. L'utilisation de pneus à basse pression ou de chenilles sur l'épandeur permettrait de réduire la compaction qui survient lors de l'épandage. Des résultats similaires peuvent aussi être obtenus par l'usage d'épandeur de plus petite capacité (Tessier et al. 1995; Bédard et al. 1997).

Une injection superficielle ou une incorporation directe juste après l'épandage à l'aide d'outils de travail du sol fixés sur une barre-outil qui est montée à l'épandeur semble être la meilleure technique pour limiter le ruissellement, contribuer à une bonne rétention des éléments fertilisants et assurer un meilleur contrôle des taux d'application car un système d'injection directe à une profondeur de 10 ou 15 cm semble appliquer des quantités trop élevées qui ne peuvent pas être toutes valorisées par les plantes (Laguë et Tessier, 1994).

SÉLECTION D'UNE TECHNIQUE D'ÉPANDAGE

Pour sélectionner un système d'épandage qui soit approprié à la situation d'une ferme donnée, plusieurs aspects doivent être considérés comme : le volume total de lisier à épandre, la période disponible pour l'application, la sensibilité du sol à la compaction, le type de culture, le niveau de nuisance jugé acceptable lors de l'épandage, la main d'œuvre disponible, la fiabilité du système choisi et finalement la précision et l'uniformité du taux d'application.

Comme la précision du taux d'application est importante pour faire une utilisation adéquate des éléments fertilisants du lisier, une pompe péristaltique (Petersen, 1994) et un contrôleur de débit volumétrique (Laguë et al., 1994) ont été développés pour des équipements expérimentaux. Ces équipements mécaniques ont produit des résultats intéressants avec un coefficient de variation du taux d'application bas (moins de 10% dans les deux cas) et ils peuvent être adaptés à des équipements commerciaux. Un système de distribution passif sans pièce mobile, la diode fluïdique, a été développée par IGER (1995e). Lorsque cette diode est positionnée de manière appropriée, l'ensemble de la distribution de lisier est amélioré et le coefficient de variation du débit est inférieur à 10%. Ces diodes sont installées sur une rampe basse placée à l'arrière de l'épandeur à réservoir ce qui permet aussi de réduire les émissions d'odeurs et de NH₃ par un épandage près du sol.

DES PRATIQUES LOGIQUES POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS D'ODEURS LORS DE L'ÉPANDAGE

Peu importe la technologie utilisée pour réaliser l'épandage de fumier/lisier, certaines considérations doivent être prises de manière à réduire les nuisances provenant des odeurs associées à l'épandage, nuisances qui peuvent incommoder les voisins et devenir la source de plaintes. Comme le présente Tessier (1998), de simples mesures peuvent être prises comme: 1) informer les voisins à l'avance que vous allez procéder à l'épandage peut les aider à planifier leurs activités extérieures; 2) si possible, l'agitation du lisier dans la structure d'entreposage devrait être faite lorsque les vents sont en direction opposée des maisons; 3) l'épandage devrait être fait le matin ou tôt en après-midi pour bénéficier des courants thermiques associés avec le réchauffement de l'air et la brise qui en découle; et 4) éviter l'épandage, ou du moins l'épandage sur les champs situés près des habitations voisines, un ou deux jours avant les fins de semaine.

SYSTÈME EXPERT

Comme mentionné, plusieurs aspects doivent être considérés lors de la gestion des fumiers/lisiers comme l'environnement, les rendements agronomiques et les aspects économiques. Il est difficile pour les

agriculteurs de faire des choix ainsi que pour les professionnels de donner les meilleurs conseils qui tiennent compte de tous les aspects à considérer (Stonehouse et Giraldez 1996; Ogilvie et Ma 1996).

Ogilvie et Ma (1996) décrivent les principaux types de systèmes de prise de décision et la capacité et les limites de tels systèmes dépendamment de leur niveau d'élaboration. Plusieurs systèmes experts ont été évalués en considérant leurs caractéristiques et les résultats obtenus en les utilisant. Plusieurs de ces systèmes sont axés sur la gestion des matières fertilisantes (comme NMAN97 – Hilborn) et peu d'entre eux intègrent des informations additionnelles comme les coûts, la main d'œuvre requise, les odeurs produites, la gestion des matières fertilisantes et les impacts environnementaux (M-Clone et EWEES (European Waste Engineering Expert System) sont les exceptions). EWEES a été développé en collaboration avec plusieurs équipes de recherche en Europe (Royaume Uni, Grèce, Pays Bas, Ireland, Italie) et a été conçu de manière à contrer la pollution agricole par un meilleur processus de prise de décision. Des informations techniques, économiques et réglementaires sont intégrées au système expert (IGER, 1995f). Bergh (1997) présente aussi un système expert qui devrait aider les agriculteurs à faire des choix de systèmes de production plus respectueux de l'environnement pour ensuite les intégrer à leur ferme ou lors de la planification de nouvelles installations.

SURPLUS DE FUMIER/LISIER

Dans certaines régions où la densité de production animale dépasse la capacité des sols à utiliser de manière agronomique tous les fumiers/lisiers produits, des mesures doivent être prises pour contrôler ces surplus et les risques qui en découlent. Dans les Pays Bas, la première étape entreprise vise la réduction des volumes et des éléments fertilisants produits à la ferme, ensuite la distribution des excès de fumier/lisier est faite sur d'autres fermes par le biais d'une banque d'engrais organique (Mestbank maintenant Mest Bureau Oost - MBO) et finalement l'engrais organique qui ne peut être utilisé directement sur les cultures, est acheminé à une usine de déshydratation. Différentes techniques sont utilisées comme le traitement central dépendant des normes nationales (Pays Bas, France, Allemagne, Belgique) sur les émissions et les décharges à l'environnement (BPR 1994; ten Have 1993).

Au Québec, trois principales régions doivent faire la gestion de surplus d'engrais organique produit sur leur territoire et ces régions sont les bassins versants des rivières Yamaska, Chaudière et Assomption. Trois organisations de type coopératif (COGENOR, FERTIOR, AGEO) sont en charge de la gestion de ces surplus et offrent aussi du support et de la formation aux agriculteurs en ce qui a trait à la gestion des engrais organiques et des matières fertilisantes sur leurs fermes.

QUELLES AUTRES MESURES DEVRAIENT ÊTRE PRISES?

Une évaluation facile, rapide et précise de la valeur fertilisante des fumiers/lisiers est importante pour déterminer le taux d'application qui sera adéquat pour une parcelle ou un champ particulier selon la culture en place ou à planter. Plus de développement sur de tels outils de mesure est nécessaire car plusieurs mesures sont prises pour réduire les intrants dans le système de production porcine et pour rencontrer plus adéquatement les besoins nutritionnels des animaux. Avec les manipulations alimentaires et l'adoption de différents systèmes de gestion des engrais organiques que plusieurs producteurs adoptent, les taux d'éléments fertilisants dans le lisier seront de plus en plus différents d'une ferme à une autre rendant ainsi inapproprié l'usage de valeurs moyennes déterminées par des échantillons de plusieurs fermes.

Même si beaucoup de travail a été réalisé en gestion des fumiers/lisiers, un système fiable, facile d'utilisation et peu coûteux pour déterminer les éléments fertilisants n'a pas encore été développé.

Les types de traitement qui produisent des pertes significatives de N ne sont pas intéressants dans un contexte d'agriculture et de développement durables. Avec l'augmentation de la taille des fermes et des cheptels, plus de fumiers/lisiers sont produits sur un site. Des efforts pour trouver des moyens fiables et

peu dispendieux d'utiliser la digestion anaérobie pour réduire les odeurs, conserver la valeur fertilisante et utiliser le méthane produit comme source d'énergie, pourrait s'avérer être une avenue intéressante.

Le contrôle du taux d'application et de l'uniformité à l'épandage doit être amélioré pour optimiser la valeur fertilisante des fumiers/lisiers et limiter les risques de pollution par surfertilisation ou perte d'éléments fertilisants. À une époque où l'agriculture de précision est de plus en plus utilisée, il est difficile d'accepter que l'engrais organique provenant des fumiers/lisiers soit appliqué avec autant de variation et aussi peu de contrôle. Les techniques qui permettent d'allonger la période d'épandage en post-levée devraient voir leur développement encouragé de manière à ce que les éléments fertilisants puissent être utilisés par les plantes au temps le plus approprié lorsque les risques de dommage aux sols sont moins importants que dans les conditions humides du printemps et de l'automne.

Les producteurs ont besoin de beaucoup d'informations pour choisir le système de gestion des fumiers/lisiers qui soit optimal à leur ferme et le développement d'outils fiables d'aide à la décision devient important. Toutefois plus de recherches doivent être réalisées pour fournir les données nécessaires à l'élaboration de tels outils.

La formation est aussi un aspect important dans l'intégration de tous les paramètres à considérer pour assurer une gestion optimale des fumiers/lisiers. Des informations sur les différentes techniques d'épandage, les équipements disponibles ainsi que la valeur fertilisante réelle de l'engrais organique disponible sont des éléments importants à intégrer dans la gestion des fumiers/lisiers à la ferme et à considérer lors du choix de bonnes pratiques agricoles.

Références

(N.B. Certaines références présentent une lettre suivant l'année de publication. Cette lettre aide à retrouver la bonne référence dans le texte mais aussi dans la base de données.)

ASAE. 1997. Manure Production and Characteristics. ASAE D384.1 DEC93. ASAE Standards 1997. Standards Engineering Practices Data, pp. 649-651.

Barrington, S.F., D. Choiniere, M. Trigui, S. Wasay et W. Knight. 1997. Passive versus Active Aeration for Composting. Compte rendu de la conférence annuelle de la Société Canadienne de Génie Rural. Sherbrooke, 27-30 mai, pp. 514-523.

Barth, C.L. 1988. Lagoon Planning and Design for Livestock Systems. Livestock Environment III. Proceedings of the Third International Livestock Environment Symposium. 25-27 avril, Toronto. Publié par American Society of Agricultural Engineering. St. Joseph, Michigan. 49085-9659, pp. 438-445.

Bassez, J. 1994. Contrôles de matériels d'épandage des lisiers et fumiers. Fourrages. 140:571-575.

Bédard, Y., S. Tessier, C. Laguë, Y. Chen et L. Chi. 1997. Soil Compaction by Manure Spreaders Equipped with Standard and Oversized Tires and Multiple Axles. Transactions de l'ASAE. Vol. 40(1):37-43.

Bergh, P.H. 1997. Hogs Your Way - Self Guiding Decision Support System for Producers Evaluating Hog Production Systems. Livestock Environment V. Comptes rendus du Fifth International Symposium. Édité par R.W. Bottcher et S.J. Hoff. American Society of Agricultural Engineering. St. Joseph, Michigan 49085-9659, pp. 710-717.

BPR - Les Consultants BPR. 1994. Étude des solutions de rechange à la gestion sous forme liquide des déjections de porcs : rapport final. Québec : ministère de l'Environnement et de la Faune, p. 121. QEN/AE94-25/6.

BPR - Les Consultants BPR. 1993. Évaluation des épandeurs à lisiers utilisés au Québec en vue de leur optimisation. Québec : ministère de l'Environnement et de la Faune, p. 27. QEN/AE93-14/6

- Brooks, P.H. 1994. Water - Forgotten Nutrient and Novel Delivery System. Dans : *Biotechnology in the Feed Industry*. Nottingham Press, pp. 211-234.
- Buelna, G., R. Dubé, P. Lessard, F. Cotte, C. Gracian et J.L. Fanlo. 1997. Désodorisation du lisier de porc par le procédé de biofiltration sur support BIOSOR^{mc} (Swine manure deodorization by BIOSORTM biofilter). Comptes rendus de la 4^{ème} Conférence Internationale sur la caractérisation et le contrôle des émissions d'odeurs et de CVOs. 20 au 22 octobre. Montréal, QC, Canada, pp. 253-265.
- Burton, C.H. 1994. Modeling the Performance of a Non-steady State Continuous Aeration Plant for the Treatment of Pig Slurry. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 59:253-262.
- Campbell, A.J., J.A. MacLeod et C. Stewart. 1997. Nutrient Characterization of Stored Liquid Hog Manure. *Canadian Agricultural Engineering*, 39(1):43-48.
- Clanton, C. 1997. Preventing Seepage Beneath Waste Storage Basins. In *Environmental Issues in Pork Production*. The Allen D. Lemay Swine Conference. 20 septembre. Minnesota Extension Service, pp. 9-16.
- CRIQ, Université Laval et Les Consultants BPR. 1994. Rapport synthèse - Inventaire et étude comparative des technologies de désodorisation et autres méthodes et pratiques d'atténuation des odeurs de lisier. Dossier CRIQ no: 640-PE03364, Rapport Technique no: RDQ-94-040. Préparé pour le Ministère de l'Environnement et de la Faune. MEF. Québec.
- den Brok, G.M. 1993. Nitrogen Balance in the Case of Slurry Separation on the Farm. Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences. Pudoc Scientific Publishers. Wageningen 1993, pp. 380-385.
- Fernandes, L., E. Mckyes, M. Warith et S. Barrington. 1991. Treatment of Liquid Swine Manure in the Sequencing Batch under Aerobic and Anoxic Conditions. *Canadian Agricultural Engineering*, 33(2):373-379.
- Friman, R. 1984. Monitoring Anaerobic Digesters on Farms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 29:357-365.
- Gingras, G. et D. Garneau. 1997. Effets de la trémie-abreuvoir sur le volume d'entreposage des lisiers. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Direction des services technologiques, Productions animales, p. 24.
- Godbout, S., A. Marquis et D.I. Massé. 1992. Formation de glace dans les réservoirs à lisier. *Canadian Agricultural Engineering*, 34(3):247-252.
- Godbout, S. M. Fafard, A. Picard et A. Marquis. 1997. Temperature effect in Concrete Manure Tanks: Finite Element Approach. Comptes rendus de la conférence annuelle de la Société Canadienne de Génie rural. Sherbrooke, 27-30 mai, pp. 183-192.
- Gonyou, H.W. 1996. Water use and drinker management: a review. Annual Research Report, Prairie Swine Centre Inc., pp. 74-80.
- Granger, F. et MS. Cournoyer. 1997. Impact des bols et des trémies-abreuvoirs sur la production de lisier. Rapport de recherche, Urgel Delisle & Associés Inc., Saint-Charles-sur-Richelieu, QC.
- Hilborn, D. et C. Brown. 1996. 10 Steps to Complete a Nutrient Management Plan for Livestock & Poultry Manure. Factsheet, Order NO. 96-053. March 1996. AGDEX 743/530.
- Hobson, P.N. et A.M. Robertson. 1977. Waste Treatment in Agriculture. Applied Science Publishers Ltd., London, p. 257.

- IGER - Institute of Grassland & Environmental Research. 1995e. The Fluidic Diode: A simple highly reliable device for greatly improving the evenness of spread from slurry spreaders and injectors. Research to Prevent Pollution. IGER, Silsoe Research Institute.
- IGER - Institute of Grassland & Environmental Research. 1995f. EWEEES: A European Waste Engineering Expert System. Research to Prevent Pollution. IGER, Silsoe Research Institute.
- Jofriet, J., Y. Zhang, J.W. Johnson et N. Bird. 1996a. Structural Design of Liquid Manure Tanks. Canadian Agricultural Engineering, 38(1):45-52.
- Jofriet, J., Y. Zhang, S. Goodman et E. Skolseg. 1996b. Ice Pressures in Liquid Manure Tanks. Canadian Agricultural Engineering, 38(1):53-58.
- Lavoie, J., G. Marchand, J.-Y. Drolet et G. Gingras. 1995. Biological and Chemical Contamination of the Air in a Growing-Finishing Pig Building Using Deep-Litter Systems. Canadian Agricultural Engineering, 37(3):195-203.
- Laguë, C., P.-M. Roy, L. Chénard et R. Lagacé. 1994. Wide-span Boom for Band-Spreading of Liquid Manure. Applied Engineering in Agriculture, 10(6):759-763.
- Laguë, C. et S. Tessier. 1994. Équipements d'application des lisiers en post-levée. Salon de l'agriculteur 1994. Saint-Hyacinthe, Québec. Janvier.
- Lo, K.V., P.H. Liao et R.J. Van Kleeck. 1991. A Full-scale Sequencing Batch Reactor Treatment of Dilute Swine Wastewater. Canadian Agricultural Engineering, 33(1):193-195.
- Marchal, P., L. Wallian et P. Groussard. 1995. Évaluation d'un système de séparation fèces-urines en élevage porcin. Journées de recherche porcines en France, 27:351-358.
- Martinez, J. et F. Guiziou. 1995. Mise au point et évaluation de la faisabilité d'un procédé naturel de traitement du lisier de porcs pas le sol. Journées de Recherche Porcines en France, 27:367-372.
- Massé, D.I., R.L. Droste, K.J. Kenneday, N.K. Patni et J.A. Munroe. 1997. Potential for the Psychrophilic Anaerobic Treatment of Swine Manure Using a Sequencing Batch Reactor. Canadian Agricultural Engineering, 39(1):25-34.
- Matte, J.J. 1993. A note on the effect of deep-litter housing on growth performance of growing-finishing pigs. Canadian Journal of Animal Science, 73:634-647.
- Miner, J.R. et K.W. Suh. 1997. Floating Permeable Covers to Control Odor from Lagoons and Manure Storages. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities. Proceedings of the International Symposium. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, pp. 435-440.
- Nicks, B., A. Desiron et B. Canart. 1995. Bilan environnemental et zootechnique de l'engraissement de 4 lots de porcs sur litière biomaitraisée. Journées de recherche porcine en France, 27:337-342.
- Ogilvie, J.R. et K. Ma. 1996. Decision Support (DSS) for Manure Systems Management. In Managing Manure for Dairy and Swine - Towards Developing a Decision Support System. Edited by M.J. Goss, D.P. Stonehouse and J.C. Giraldez. Chapter 1.
- OMAF - Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1994b. Nutrient Management. Best Management Practices. Ontario Ministry of Agriculture and Food and Agriculture and Agri-Food Canada, p. 69.
- OMAF - Ontario Ministry of Agriculture and Food. 1994c. Livestock and Poultry Waste Management. Best Management Practices. Ontario Ministry of Agriculture and Food and Agriculture and Agri-Food Canada, p. 50.
- Petersen, J. 1994. Equipment for Application of Animal Slurry in Field Experiments. Journal of Agricultural Engineering Research, 59:97-109.

- PGC - Pierre Giguere Consultant Inc. 1994. Technique d'analyse de l'état de structures d'entreposage des fumiers en béton armé et de sélection des modes de réfection. Québec: ministère de l'Environnement et de la faune, p. 96. QEN/AE94-2/6.
- Rousselet, M. et M. Martinez. 1994. Engrais organiques et amendements : vers la maîtrise de l'épandage. Fourrages, 140:567-570.
- SAF - Saskatchewan Agriculture and Food. 1997. Nutrient Values of Manure. Farm Facts. June. 3M ISSN 0840-9447 LON0697.
- Sevrin-Reyssac, J., J. de la Noüe et D. Proulx. 1995. Le recyclage du lisier de porc par lagunage. Technique & Documentation - Lavoisier, Paris, p. 118.
- Sidhu, K.S., P.O. Warner et L. Chadzynski. 1997. Odor Control at a Large-Scale Swine Production Facility. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities. Compte rendus d'une conférence internationale. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, pp. 561-565.
- Sievers, D.M., M.W. Jenner et M. Hanna. 1994. Treatment of Dilute Manure Wastewaters by Chemical Coagulation. Transactions of the ASAE, pp. 597-601.
- Sommer, S.G., B.T. Christensen, N.E. Nielsen et J.K. Schjorring. 1993. Ammonia Volatilization During Storage of Cattle and Pig Slurry: Effect of Surface Cover. Journal of Agricultural Science 121: 63-71.
- Stevens, R.J. C.J. O'Brice et O.T. Carton. 1995. Estimating Nutrient Content of Animal Slurries Using Electrical Conductivity. Journal of Agricultural Science 125: 233-238.
- Stonehouse, D.P. et J.C. Giraldez. 1996. On-Farm Socio-economics of Manure Management. In Managing Manure for Dairy and Swine - Towards Developing a Decision Support System. Edited by M.J. Goss, D.P. Stonehouse and J.C. Giraldez. Chapter 8.
- ten Have, P.J.W. 1993. Nitrogen and the Industrial Processing of Pig Manure. Nitrogen Flow in Pig Production and Environmental Consequences. Pudoc Scientific Publishers. Wageningen 1993, pp. 386-397.
- Tessier, S. 1998. Manure Handling Strategies for Minimizing Environmental Impacts. Proceedings of the Manitoba Swine Seminar. Sharing ideas and information for efficient pork production. January, Volume 12, pp. 101-116.
- Tessier, S., L. Chi, S. Richard, C. Laguë et S. Pigeon. 1995. Traffic Induced Soil Compaction and Solutions : Farmer's Perspectives. Comptes rendus du 5th North American Regional Meeting/Workshop of the International Society of Terrain Vehicle Systems. Saskatoon, May 10-12.
- Toombs, M.R. 1997. Evaluation of a Wind Powered Aerator to Control Odours from a Liquid Manure Storage. Compte rendus de la conférence annuelle de la Société Canadienne de Génie Rural. Sherbrooke, 27-30 mai, pp. 525-534.
- U.K. - Environmental Protection. 1997. Nitrogen know-how. Environmental Protection. R&D Newsletter Volume 2. July. Document électronique: www.maff.gov.uk/environ/EPDNEWS2/MAFF.HTM.
- UDA - Urgel Delisle et associés Inc. 1995. Le lecteur d'azote AGROS: évaluation d'une méthode rapide de détermination in situ de l'azote ammoniacal des lisiers et des fumiers. Québec : ministère de l'Environnement et de la Faune, 86 p., QEN/AE95-3/6.
- Voorburg, J.H. 1994. Farmer's Options to Reduce Odour and Ammonia Emissions from Animal Buildings and Storage. Animal Waste Management. REUR Technical Series 34. FAO, Rome, pp. 5-17.

Wilkie, A.C. 1997. Anaerobic Digestion - A Holistic Approach to Odor Control. In: Environmental Issues in Pork Production. The Allen D. Leman Swine Conference. 20 septembre. Minnesota Extension Service. University of Minnesota, pp. 30-36.

Williams, A.G. et E. Nigro. 1997. Covering Slurry Stores and Effects on Emissions of Ammonia and Methane. Ammonia and Odour Control from Animal Production Facilities. Compte rendus d'une conférence internationale tenue à Vinkeloord, The Netherlands. 6-10 octobre, pp.421-428.

Williams, A.G., M. Shaw et S.J. Adams. 1984. The Biological Stability of Anaerobically-treated Piggery Slurry during Storage. Journal of Agricultural Engineering Research. 29:231-239.

Abstract ou résumé de publications intéressantes

BPR - Les Consultants BPR. 1994. Étude des solutions de rechange à la gestion sous forme liquide des déjections de porc : rapport final. Québec : Ministère de l'Environnement et de la Faune, p. 121. QEN/AE94-25/6.

Différentes alternatives à la gestion des déjections animales sous forme liquide ont été évaluées dans le but de trouver des techniques prometteuses pour faire la gestion des déjections de porcs sous une forme solide ou solide-liquide. Une évaluation de tous les matériaux organiques qui peuvent être utilisés comme la paille, les copeaux de bois, le bran de scie, la tourbe, les papiers journaux et d'autres matériaux végétaux absorbants a été effectuée. Le potentiel de ces matériaux a été évalué en considérant leur capacité d'absorption, leur disponibilité et les régions où ils sont disponibles. Différentes technologies de gestion solide ou solide – liquide des déjections ont aussi été considérées de manière à sélectionner les techniques présentant le plus de potentiel pour la région où le lisier est produit en excès. Les techniques sélectionnées comme ayant du potentiel et étudiées de manière plus particulière dans le cadre de ce projet sont : la litière profonde, le séparateur à vis et le convoyeur filtrant sous le plancher latté. Le système de litière profonde est une bonne alternative; cependant dans certaines régions, le matériel organique nécessaire représenterait un coût beaucoup plus important qu'un système conventionnel de gestion des déjections. Selon la région où sont situées les fermes porcines et les cultures présentes dans cette région, la paille ou des sous-produits du bois peuvent être utilisés. Cependant la variation dans le rendement des céréales peut entraîner d'importantes fluctuations dans le prix de la paille et une demande croissante peut résulter en une hausse généralisée des prix des matériaux absorbants pouvant être utilisés comme litière. La technique de séparateur à vis est intéressante pour les fermes qui doivent transporter leur lisier sur de bonnes distances. Toutefois l'efficacité d'une telle technique varie grandement et celle-ci est proportionnelle au contenu en matière sèche avant le traitement qui est généralement faible pour le lisier de porc (moins de 10%). Le convoyeur filtrant a une efficacité théorique très élevée qui n'a toutefois pas été vérifiée dans nos conditions. Les coûts d'investissement d'un tel système sont d'environ \$50 000 pour un bâtiment de 2 000 porcs.

Laguë, C. et S. Tessier. 1994. Équipements d'application des lisiers en post-levée. Salon de l'agriculteur 1994. Saint-Hyacinthe, Québec. Janvier.

Une revue de tous les systèmes d'épandage de lisier est faite dans cet article. Les épandeurs – réservoirs peuvent être montés sur des essieux et remorqués par un tracteur ou être directement montés sur le châssis d'un camion.. Ces épandeurs sont de deux types : le type à pression négative ou vacuum qui permet de réaliser un chargement du réservoir de manière autonome et qui requiert de 6 à 10 kW de puissance par mètre cube pour opérer (coûts varient de 1 200 to 2 400 CAN\$ par mètre cube); la vidange est réalisée lorsqu'une pression positive est appliquée dans le réservoir. Le type d'épandeur conventionnel doit être rempli par le haut et il est muni d'une pompe rotative pour réaliser la vidange. L'épandeur conventionnel nécessite de 6 à 9 kW par mètre cube pour opérer et coûte de 800 à 1 500 CAN\$ par mètre cube. L'épandeur conventionnel est plus intéressant économiquement que l'épandeur à vacuum. Pour l'épandage du lisier, différents systèmes peuvent être considérés: application de surface, rampe à décharge près du sol, rampe à pendillards, injection ou système d'incorporation. Si une rampe est utilisée,

il est important que le débit de celle-ci soit ajusté sur toute la largeur d'épandage. Si on considère les coûts d'investissement, la facilité à utiliser et à entretenir l'équipement et la puissance requise, l'application en surface est le système le plus intéressant. Cependant l'uniformité lors de l'application, la perte d'éléments fertilisants par volatilisation et par dérive et le taux d'émission d'odeurs associé à l'application en surface sont des éléments négatifs lorsque l'on compare ce système avec la rampe ou l'injection. La combinaison épandeur/tracteur doit aussi être considérée pour s'assurer de: la compatibilité de la capacité hydraulique; la combinaison poids de l'épandeur et poids du tracteur et la capacité de tirage de celui-ci. De plus, une signalisation adéquate sur l'épandeur est essentielle ainsi que la présence et la fonctionnalité d'un système de freinage indépendant installé sur l'épandeur si la charge totale à remorquer excède la masse du tracteur. Le nombre d'essieux ou un système à chenilles plutôt qu'à pneus sont d'autres éléments qui doivent être considérés dans le choix d'un épandeur pour ainsi réduire la compaction qui peut résulter de la circulation de tels équipements. Des systèmes d'application en continu devraient être considérés pour les grandes fermes qui doivent épandre des volumes importants de lisier. Comme le lisier peut être pompé sur des distances relativement grandes, la capacité d'épandage est généralement augmentée comparativement au transport et épandage conventionnels de lisier. La technologie de l'irrigation qui utilise des tuyaux rigides et un enrouleur peut être utilisée avec un canon à irrigation ou une rampe de grande portée munie ou non de pendillards. Les tuyaux rigides peuvent aussi être combinés à un tuyau flexible alimentant une rampe ou des injecteurs montés sur un tracteur pour des cultures en plein champ. Des systèmes hybrides peuvent aussi être considérés lorsque le lisier est transporté en camion et ensuite transféré dans une structure d'entreposage temporaire pour ensuite être épandu par un système de type irrigation ou avec des épandeurs conventionnels. Plusieurs éléments doivent être considérés de manière à sélectionner le système d'épandage qui convient à une ferme donnée et ils sont: le volume total à épandre, le temps disponible à l'épandage, la sensibilité des sols à la compaction, le type de culture, le niveau acceptable de nuisance par les odeurs, la disponibilité de la main d'oeuvre, la fiabilité du système choisi, la précision du taux d'application désiré ainsi que son uniformité tant transversale que longitudinale.

Massé, D.I., R.L. Droste, K.J. Kenneday, N.K. Patni et J.A. Munroe. 1997. Potential for the Psychrophilic Anaerobic Treatment of Swine Manure Using a Sequencing Batch Reactor. *Canadian Agricultural Engineering*. 39(1):25-34.

La faisabilité de la digestion anaérobique psychrophilique dans un réacteur en lots intermittants et séquentiels a été investiguée durant la phase de départ d'une étude à l'échelle de laboratoire. Les résultats obtenus indiquent que la digestion dans le réacteur a été efficace et a permis de stabiliser et de désodoriser le lisier de porcs. Les effluents du digesteur avaient peu d'odeurs comparativement au lisier non traité. La demande totale en oxygène chimique et la demande en oxygène chimique soluble ont été réduites de 58-73% et 85-96% respectivement. La production de méthane a varié de 300 - 660 ml CH₄/g de solides volatiles, et la concentration en méthane du biogaz variait de 50 - 80%. Le taux de production du biogaz a continué d'augmenter même lorsque les concentrations d'acide acétique et d'ammoniaque ont atteint 5500 et 3700 mg/L, respectivement.

Ogilvie, J.R. et K. Ma. 1996. Decision Support (DSS) for Manure Systems Management. Dans *Managing Manure for Dairy and Swine - Towards Developing a Decision Support System*. Edité par M.J. Goss, D.P. Stonehouse et J.C. Giraldez. Chapitre 1.

Le champ d'application des systèmes d'aide à la décision en gestion des fumiers/lisiers qui peuvent être utilisés sur un ordinateur personnel sont présentés avec leurs limites et leurs capacités. De simples feuilles de chiffrier qui sauvegardent des données dans une base de données ou dans un fichier protégé peuvent fournir une gamme d'informations et de résultats qui doivent toutefois être analysés de manière à intégrer cette information à des choix de pratiques et de solutions pour une situation donnée. Pour ce qui est des systèmes experts, le système demande un nombre limité de données et à l'aide des informations déjà contenues dans le programme, le système fait une analyse et propose différentes alternatives à la situation donnée.

Un système expert plus sophistiqué présentera plus de choix possibles et les solutions présentées auront fait l'objet d'une analyse plus élaborée. Pour la gestion des fumiers/lisiers, les aspects suivants doivent être considérés: - main d'oeuvre requise pour les activités d'épandage; - odeurs provenant de l'entreposage et de l'épandage; - conservation des éléments fertilisants et origine des pertes; - à chaque étape, une vision globale des aspects environnementaux; - coûts de chacune des étapes reliées à la gestion des fumiers/lisiers sur la ferme et ailleurs. Les éléments importants et souhaitables d'un système expert en gestion des fumiers/lisiers sont présentés ainsi que les options de programmation disponibles qui devraient être disponibles dans un tel système. Différents systèmes experts développés au Canada, États Unis et en Europe sont présentés et leurs caractéristiques, options et limites sont aussi discutées.