

# LES FUMIERS DE BOVINS LAITIERS : UNE RESSOURCE QUI SE GÈRE

---

## **CONFÉRENCIÈRE**

Suzelle Barrington

## **COLLABORATEURS**

Daniel Massé

Claude Laguë

Michel Fortier

Denis Côté

---

## BASES D'UNE BONNE GESTION DES FUMIERS

---

Pour toute entreprise laitière, la saine gestion des fumiers du troupeau s'avère avantageuse à long terme sur les plans économiques, agronomiques et environnementaux. Sur le plan économique, la gestion des fumiers permet de réduire les intrants sous forme d'engrais minéraux parce qu'ils apportent aux sols plusieurs nutriments ainsi qu'une bonne gamme de macroéléments et de microéléments. Sur une base agronomique, une bonne gestion des fumiers enrichit les sols de matière organique qui augmente à son tour le taux d'absorption des minéraux et leur disponibilité pour nourrir les plantes. En plus, cette matière organique produit des acides qui libèrent le phosphore fixé sur les particules de sol et augmente sa disponibilité. On sait par ailleurs, qu'un niveau de matière organique du sol de 4 % au lieu de 2 % double l'efficacité des engrais minéraux (Mehyus et MacKenzie, 1990). Sur une base environnementale, une bonne gestion des fumiers permet de protéger la qualité des sols de la ferme, de l'air ambiant, des eaux souterraines et de drainage. Une bonne gestion des fumiers favorise également les relations de bon voisinage.

La gestion des fumiers a un impact important sur l'environnement général du milieu. En Amérique du Nord, sur une base solide, les fumiers représentent 70 % de tous les déchets organiques produits, incluant les rebuts ménagers et les déchets de l'industrie des pâtes et papiers (Barrington, 1994). Au Québec, les troupeaux laitiers produisent 46 % de la masse totale des fumiers qui offrent une valeur fertilisante de 54, 45 et 67 milliers de tonnes de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> et K<sub>2</sub>O, respectivement. Enfin, les bovins, comme tous les autres animaux domestiques, ingèrent environ 70 % du carbone consommé mais seulement 30 % des minéraux consommés, tels l'azote, le phosphore et la potasse. Donc, pour une gestion optimale des nutriments à la ferme, il est important de récupérer ces nutriments non ingérés et de les réutiliser pour la fertilisation des cultures.

En quoi consiste une bonne gestion des fumiers ? Voilà la question à laquelle nous tenterons de répondre dans ce texte. Une bonne gestion des fumiers se pratique dans trois endroits bien différents mais aussi importants les uns que les autres : l'étable, le site d'entreposage et le champ. Et si par hasard, on devait en oublier un, on risque de briser la chaîne et de gaspiller tous les efforts apportés dans les autres endroits. Par exemple, une mauvaise technique d'épandage des fumiers au champ peut faire perdre tout l'azote récupéré par une saine gestion dans l'étable et au site d'entreposage. Par conséquent, ce texte vous présentera tout d'abord certains principes qui vous permettront de comprendre le comportement des fumiers et les éléments clés qui feront que les fumiers de bovins pourront conserver le plus de nutriments

possible tout en ayant le moins d'impact possible sur le sol, l'air et l'eau. Ensuite, nous examinerons les techniques qui s'imposent dans l'étable, à l'entreposage et au champ.

Ce texte utilisera cinq termes principaux pour parler des fumiers :

- 1) les excréments, fèces et urines produits par les animaux et qui ne contiennent pas de litière ni d'eaux usées ;
- 2) les fumiers qui consistent en tout genre de mélange d'excréments, de litière et d'eaux usées et qui peuvent être solides et liquides ;
- 3) les fumiers solides qui sont tout simplement un mélange d'excréments et de litière en quantité suffisante pour faire un tout solide ;
- 4) les lisiers qui sont un mélange d'excréments, de litière et d'eaux usées et qui sont manipulés par pompage sous forme liquide ;
- 5) les fumiers semi-liquides qui s'affaissent lentement lorsque mis en tas mais qui sont trop épais pour être pompés.

### Conservation des nutriments

Plus on réussit à conserver les nutriments des fumiers, plus on arrive à diminuer leur coût de gestion. Deux phénomènes occasionnent les pertes de nutriments : les pertes de lisiers ou de purin des fumiers et la volatilisation de l'azote. Dans ce texte, les nutriments des fumiers comprendront les éléments majeurs tels l'azote, le phosphore et le potassium ainsi que les éléments mineurs tels les macroéléments (calcium, magnésium, soufre et fer) et les microéléments (bore, cuivre, manganèse, molybdène, sélénium et zinc).

Il sera premièrement question de la perte de nutriments par écoulement des purins, puis nous aborderons la question de la perte d'azote dans l'atmosphère. Cette deuxième section sera plus élaborée que la première parce qu'elle devra introduire les mécanismes de transformation de l'azote pour bien comprendre le processus de perte dans l'atmosphère.

### Pertes de purin et de lisier

Les purins sont des liquides qui s'égouttent des fumiers. Ces liquides proviennent des urines produites par les animaux, de la pluie qui lessive les fumiers lors de leur entreposage à l'extérieur et de l'eau formée pendant la décomposition des fumiers. Les purins sont généralement chargés d'éléments solubles et donc de la fraction des éléments qui sont les plus disponibles

et profitables aux plantes (Tableau 1). C'est pourquoi la perte des purins constitue une perte importante, sur une base économique, agronomique et environnementale.

Les fumiers sont susceptibles de perdre leurs purins lorsqu'ils sont entreposés à l'extérieur et exposés aux pluies sans structure de captage des liquides de ruissellement. Les fumiers peuvent aussi perdre leurs purins lorsqu'ils sont épandus dans les champs saturés d'eau. Les éléments du purins sont alors perdus par ruissellement à la surface du sol ou lessivage avec les eaux de drainage.

### Fraction organique des purins

Lorsqu'on laisse les purins s'échapper, on laisse partir la matière organique la plus intéressante. La matière organique contenue dans les purins est très fine et de dimension tellement petite qu'elle peut s'insérer entre les particules de sol et former des agrégats (Foster, 1981). De plus, cette matière organique soluble est facilement décomposable par les microorganismes du sol qui en font des acides. Ces acides réagissent à leur tour avec le phosphore fixé sur les particules de sol pour le solubiliser et le rendre disponible à la plante (Meek *et al.*, 1979).

**Tableau 1. Valeur agronomique des purins**

Éléments	Unité	Auteur	
		Loerh (1983)	Robert (1992)
Solides totaux	%	2,3 à 2,8	2,81
Minéraux	%	1,2 à 1,5	—
Azote total	kg/m <sup>3</sup>	1,8 à 2,4	2,0
Ammoniaque	kg/m <sup>3</sup>	1,3 à 1,6	1,33
Phosphore total*	kg/m <sup>3</sup>	0,19 à 0,28	1,46
Potasse totale**	kg/m <sup>3</sup>	3,9 à 4,7	2,33
pH		7,1 à 7,6	—

\* sous forme d'engrais minéraux (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)

\*\* sous forme d'engrais minéraux (K<sub>2</sub>O)

En général, le fumier agira sur la disponibilité du phosphore vers la deuxième année après l'épandage parce que la réaction agit à long terme. Les acides organiques peuvent aussi chélater ou retenir les minéraux en solution dans le sol et prévenir leur lessivage. Par la suite, ils seront décomposés et libéreront des minéraux pour les rendre disponibles à la plante.

### Les minéraux du purin sont les éléments les plus solubles du fumier

Les minéraux du purin sont solubles en majeure partie et sont facilement assimilables par la plante. La plante absorbe les éléments minéraux du sol en absorbant l'eau du milieu par ses racines. La quantité d'éléments

absorbés par la plante est donc directement liée à la quantité d'éléments solubles dans l'eau du sol. L'ajout de purin augmente la quantité d'éléments solubles dans la solution du sol et par conséquent, la quantité d'éléments absorbés par la plante.

## La volatilisation de l'azote

L'azote des excréments frais se présente sous deux formes principales.

- 1) Sous forme de sels dissous, comme l'ammonium (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), qui forment la fraction inorganique ou minérale. On retrouve très peu de nitrate et encore moins de nitrite (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> et NO<sub>2</sub><sup>-</sup> respectivement) dans les fumiers car ces sels sont toxiques et ne sont pas produits par les animaux. L'ammonium est un sel qui se dissout alors que l'ammoniac, est une forme légèrement transformée de l'ammonium et gazeuse.
- 2) Sous forme de protéines qui constituent la fraction organique de l'azote. La forme organique ou protéique regroupe de nombreuses familles de composés. Il n'est pas nécessaire de définir ici toutes ces familles.

Pour plus d'information sur les divers mécanismes de transformation de l'azote, Loehr (1984) offre une excellente information.

### L'azote se perd par volatilisation

L'azote est le seul nutriment des fumiers qui peut se perdre par volatilisation. Le terme volatilisation signifie la perte dans l'atmosphère sous forme de gaz. Contrairement à l'azote, tous les autres nutriments minéraux tels le phosphore et la potasse restent sous forme de sel et n'ont pas de forme gazeuse. Par contre, l'azote doit être transformé de son sel (ammonium et nitrate) à un gaz (ammoniac et oxydes d'azote) avant de pouvoir se volatiliser. Cette transformation s'effectue surtout à la suite de la décomposition microbiologique des fumiers.

### Les microorganismes sont les principaux agents responsables de la transformation de l'azote

Dans tous les milieux, les microorganismes transforment l'azote en utilisant trois types principaux de décomposition.

- 1) La minéralisation : décomposition de la forme organique à la forme inorganique et ammoniacale.
- 2) La nitrification : transformation de l'ammonium en nitrate par l'ajout d'oxygène. Cette réaction est aussi réversible et le nitrate se transforme en ammonium.

3) La dénitrification : transformation du nitrate en gaz azoté.

Chacune des ces trois transformations exigent des conditions bien particulières avant de se réaliser dans le fumier ou dans les sols. Par contre, la transformation qui s'ensuit influencera la mobilité, la disponibilité et la forme d'azote retrouvé.

Par exemple, l'azote qui se présente sous forme de nitrate est très mobile et peut se lessiver dans le sol avec les eaux de drainage. Au contraire, s'il est sous forme d'ammonium, il s'immobilisera en se fixant aux particules de sol. La forme d'azote influence sa disponibilité parce que la plante absorbe l'azote seulement sous forme inorganique. Lorsqu'on applique des fumiers au sol, il faudra attendre que la fraction organique soit décomposée pour être disponible aux plantes. Le genre d'azote retrouvé dans le sol influencera aussi la croissance de la plante. Le maïs, par exemple, préfère que sa source d'azote soit constituée à 33 % de nitrate et à 66 % d'ammonium parce qu'il s'agit de deux composés dont la charge différente (négative et positive, respectivement), qui équilibrent la charge ionique de sa sève et qui lui permettent de mieux fonctionner (Weissman, 1959).

### **Des conditions bien particulières gouvernent les microorganismes qui transforment l'azote**

#### ***La minéralisation de l'azote***

Pendant la minéralisation de l'azote, les protéines sont décomposées en sel d'ammonium. Cette transformation se réalise en milieu exposé à l'air (aérobie) et en milieu sans air (anaérobie). D'autre part, la minéralisation est beaucoup plus rapide en milieu aérobie qu'en milieu anaérobie parce que les microorganismes sont beaucoup plus actifs en raison des réactions biochimiques qui produisent beaucoup plus d'énergie en présence d'air. Les fumiers solides et les sols bien drainés sont des milieux où on retrouve des sites aérobies où l'azote se minéralise. Les lisiers sont des milieux anaérobies où l'azote se minéralise aussi, mais plus lentement.

#### ***La volatilisation et la nitrification de l'ammonium***

Sans intervention microbiologique, l'ammonium peut se transformer en ammoniac (gaz). Il suffit que le pH du milieu soit alcalin ou que le milieu soit neutre mais saturé d'ammonium. Sous la forme d'ammoniac, l'azote peut s'échapper dans l'air et donc se volatiliser. La volatilisation de l'ammoniac s'effectue couramment dans les fumiers solides parce qu'ils sont des milieux relativement aérobies où la minéralisation est active et la teneur en ammonium des liquides des fumiers se

sature rapidement. Dans les lisiers, la minéralisation est moins rapide et on retrouve beaucoup d'eau pour absorber l'ammonium. A l'entreposage, il y a généralement moins de perte d'azote avec les fumiers liquides qu'avec les fumiers solides (OMAFRA, 1995 ; Barrington, 1994).

L'ammonium peut aussi se transformer en nitrate en présence d'air et de microorganismes nitrifiants. Les microorganismes nitrifiants obtiennent de l'énergie en transformant l'ammonium en nitrate et n'ont donc pas besoin de matière organique pour effectuer leur travail. La nitrification est donc un processus commun aux engrais organiques (fumiers) et aux engrais minéraux.

L'énergie obtenue de cette transformation de l'ammonium en nitrate est très faible et le temps requis pour amorcer le processus est de 10 jours et plus. Donc, il faut que les fumiers aient été produits depuis au moins 10 jours et qu'ils soient bien exposés à l'air pour qu'il s'y accumule du nitrate. La nitrification s'effectue donc dans les fumiers solides et les sols drainés. La température du milieu influencera la vitesse de la réaction.

Par contre, on sait que la nitrification continue dans les sols même pendant l'hiver et qu'au printemps, les sols riches en matière organique peuvent être chargés de nitrate, bien avant d'avoir reçu des fumiers ou des engrais minéraux (Gangbazo *et al.*, 1995). L'agriculteur peut réduire ses applications d'azote au printemps en effectuant une analyse rapide du taux de nitrate dans les sols, et par la suite économiser sur l'application de fumier ou d'engrais tout en réduisant l'impact agricole sur la ressource en eau.

#### ***La transformation du nitrate***

En présence de microorganismes, le nitrate peut s'oxyder en gaz en milieu anaérobie (dénitrification) ou il peut être absorbé par les microorganismes et les plantes pour être transformé de nouveau en ammonium et utilisé comme source d'azote.

La dénitrification du nitrate s'effectue seulement là où il n'y a pas d'oxygène. Les atomes d'oxygène du nitrate servent de source d'oxygène aux microorganismes dans un milieu sans air et dépourvu d'une partie ou de tout son oxygène. Le nitrate se transforme alors en gaz ( $N_2O$  et  $N_2$ ). La dénitrification s'effectue premièrement là où il y a du nitrate et où il y a des niches (secteurs) sans oxygène. Les microorganismes dénitrifiants ont besoin d'énergie pour effectuer ce travail et fonctionneront seulement là où il y a de la matière organique. Les fumiers et les sols sont donc d'excellents milieux pour la dénitrification.

Puisque le lisier à l'entreposage ne forme pas de nitrate, il ne peut pas subir de dénitrification. Par contre, les fumiers solides sont exposés à la dénitrification. Ceux-ci possèdent des niches aérées où se forme du

nitrate et des niches moins bien aérées où se dénitrifie le nitrate en gaz.

La nitrification et la dénitrification peuvent être actives simultanément dans les sols. L'ammonium se transformera en nitrate (nitrification) dans la partie superficielle drainée et le nitrate se transformera en gaz (dénitrification) en profondeur ou près de la nappe. Si les engrais minéraux se nitrifient, il n'y aura pas nécessairement dénitrification parce qu'ils n'ont pas de matière organique. La dénitrification s'effectue seulement avec la matière organique. Par contre, il y aura nitrification et dénitrification à la suite de l'application des fumiers. Pour l'application d'une même dose d'azote disponible, la contamination azotée des eaux de drainage sera moins sévère avec le fumier qu'avec les engrais minéraux (Philippe *et al.*, 1981).

### **Le lessivage des nitrates de sol**

Le nitrate est un sel qui ne se fixe pas aux particules de sol parce qu'il possède une charge négative tout comme les particules de sol. D'autre part, l'ammonium possède une charge positive et se fixe aux particules de sol qui sont négatives. C'est pourquoi le nitrate se lessive avec les eaux de drainage alors que l'ammonium se fixe. Pour que l'ammonium produise du nitrate, il faut essentiellement de l'oxygène ou de l'air.

Le nitrate peut être absorbé par les plantes et les microorganismes tout comme l'ammonium. Ces sels servent de source d'azote essentielle à la formation de protéines. Aussi, les chercheurs croient qu'il est préférable de fournir de l'azote aux plantes sous forme de nitrate et d'ammonium à un ratio de 1:2 pour équilibrer les charges de la sève (Weissman, 1959).

## **Mal gérés, les fumiers sont une source d'odeurs**

Les fumiers des élevages agricoles sont une source importante d'odeur. En Europe et pour l'élevage du bovin, on associe 18 % des plaintes d'odeurs au bâtiment d'élevage, 28 % à l'entreposage extérieur des fumiers, 19 % à l'entreposage des ensilages et 34 % aux épandages de fumiers au champ (Hardwick, 1986). Avec le porc, par exemple, les plaintes proviennent dans 22 % des cas, du bâtiment d'élevage, 17 % de l'entreposage extérieur des fumiers, 1 % de l'entreposage des aliments et 52 % à la suite de l'épandage des fumiers au champ.

Tous les fumiers dégagent une odeur, qu'ils soient solides ou liquides. Par contre, la qualité des odeurs dégagées change avec le taux d'humidité du fumier qui influence le type de décomposition. En général, les fumiers solides produiront autant d'odeurs mais de nature moins toxique que les fumiers liquides parce que leur décomposition est plutôt aérobie (Sobel

*et al.*, 1988). Les gaz produits par la décomposition aérobie sont oxydés et moins nocifs comparativement à ceux provenant de la décomposition anaérobie (en absence d'oxygène) qu'on retrouve dans les lisiers et les purins. La décomposition anaérobie produit des gaz réduits qui s'oxydent dans l'air et forment des acides nocifs pour l'humain.

### **La perception humaine influence l'effet des odeurs**

Quoique chaque individu réagisse différemment en présence d'odeurs, certaines odeurs nauséabondes sont détectables à des taux beaucoup plus faibles que d'autres. Parmi les gaz détectables à de très faibles taux, il y a les thiols de faible poids moléculaire (Tableau 2). Les thiols possèdent un groupe carbonique avec un complément sous forme de  $HS^{-1}$ . Ces gaz sont susceptibles d'être détectés par le nez humain à une concentration de 0,01 ppm. Le tableau 2 dresse la liste de tous les autres groupes de gaz identifiés parmi les odeurs de lisiers. Contrairement à ce que les gens pensent, l'ammoniac n'est pas un gaz à forte odeur. On le détecte seulement à une concentration de 10 ppm alors que les autres gaz plus nocifs se détectent à des concentrations de moins d'une partie par milliard.

L'odorat humain est toujours l'appareil par excellence pour détecter les odeurs puisqu'il est 1 000 fois plus sensible que tout appareil moderne. De plus, le nez humain réagit à l'effet synergique d'un mélange de gaz et la sensation d'odeur peut varier avec la concentration du gaz. Par exemple, certaines odeurs sentent bon à faible concentration mais sont nauséabondes à des concentrations plus élevées.

### **L'alimentation de l'élevage influence le type d'odeurs**

L'alimentation de l'animal influence beaucoup le type et la force des odeurs nauséabondes de leurs excréments. Les rations riches en grains forment des excréments riches en hydrates de carbone facilement décomposables (acides volatiles) par les microorganismes. Ces hydrates de carbone activent l'activité microbiologique des fumiers et se transforment en gaz nauséabonds.

Les gaz contenant du soufre sont les plus nocifs et ils sont généralement détectables aux concentrations les plus faibles. Donc, les rations riches en soufre sont susceptibles de produire des fumiers dont les odeurs sont fortes. On remarquera que le bovin est tout aussi susceptible de recevoir du soufre dans sa ration que le porc et la volaille. En particulier, le maïs et les légumineuses sont riches en soufre (0,3 à 0,4 %) alors que l'animal n'a besoin que de 0,1 % de soufre dans sa ration.

**Tableau 2. Seuil de détection des gaz odorants**

Groupe de gaz odorant (faible poids moléculaire)	Seuil de détection fraction par milliard
Thiols	0,0003+
Amines	0,03+
Crésols	0,05
Phénols	0,05+
Sulfures d'hydrogène	0,10+
Acides carboxyles	0,2+
Sulfures	0,3+
Aldéhydes	1,0+
Éthers	30+
Alcools	40
Ammoniac	10 000

Source : O'Neill et Phillips, 1992

+ détecté dans les fumiers de bovins

Les odeurs de fumiers de bovins ont peu attiré l'attention des gens et des chercheurs jusqu'à présent, peut être pour certaines raisons bien spécifiques.

1. Au Québec, ces fumiers ont principalement été manipulés sous forme solide.
2. À l'étable, le niveau des odeurs est contrôlé en évacuant régulièrement les fumiers de bovins laitiers selon les règlements sur la qualité du lait.
3. À l'entreposage, les lisiers de bovins forment une croûte superficielle qui gêne l'émanation des odeurs pendant l'entreposage. Par contre on remarque maintenant que chez les grandes entreprises, l'utilisation de sciure de bois comme litière au lieu de la paille empêche la formation d'une croûte superficielle et augmente les odeurs.
4. Les producteurs laitiers ont toujours possédé suffisamment de terres pour effectuer l'épandage de leurs fumiers en doses modérées et en conditions propices.

Le contrôle des odeurs s'effectue donc en manipulant les fumiers :

1. sous forme solide pour des odeurs moins nocives ;
2. le moins possible, surtout de 12 à 24 heures après l'excrétion, pour les fumiers liquides, puisque l'activité microbiologique responsable de la production des odeurs débute après 12 à 24 heures, selon la température du milieu ;
3. en réduisant le plus possible la surface d'exposition à l'atmosphère, pour le moins de transfert possible des gaz ;
4. de façon complète et propre.

Lorsque ces règles de l'art sont respectées, le producteur pourra avoir recours aux techniques de traitement et aux additifs. Tout traitement ajoutera au coût de manipulation des fumiers. L'usage propre des additifs et le milieu dans lequel ceux-ci fonctionnent le mieux n'ont jamais été précisés, même par le fabricant. Il faut donc utiliser ces produits avec précaution. Dans les sections spécifiques aux bâtiments, aux entrepôts à fumier et aux épandages de fumier au champ, on présentera les diverses techniques de contrôle des odeurs.

## Mal gérés, les fumiers attirent les insectes

Le contrôle des insectes s'applique surtout au contrôle de la mouche. Parmi les 700 000 espèces d'insectes, la mouche en représente 85 000 (12 %). La mouche est une menace à la santé publique puisqu'elle peut transmettre plus de 60 maladies associées à l'homme et aux animaux (Connell, 1992). De plus, les mouches augmentent le stress chez les animaux et diminuent leur productivité tout en accablant les employés qui travaillent dans l'étable.

### Le cycle de vie de la mouche

La mouche est particulièrement attirée par toute matière organique solide dont le taux d'humidité dépasse 50 %. Cette matière organique sert de milieu de reproduction à la mouche qui y pond ses oeufs. Une fois éclos en larve, ils s'alimentent à même ce milieu.

Les oeufs de la mouche prennent de 10 à 14 heures pour éclore à une température de 25 à 30°C. Après l'éclosion, la larve se tient plutôt dans l'obscurité, à une certaine profondeur dans la masse organique. Au dernier stade, la larve remonte vers la surface et se développe en pupe, puis en insecte adulte. Le développement de la larve prend généralement de 6 à 9 jours à une température de 25 à 30°C.

Une mouche adulte peut pondre jusqu'à 2 400 oeufs dans sa vie qui dure à peine 4 semaines pendant les mois d'été. Par conséquent, le contrôle des mouches dans l'étable s'effectue soit en leur retirant l'accès à toute matière organique de plus de 50 % d'humidité ou en éliminant les adultes.

La vitesse de développement de la mouche est directement liée à la température du milieu. La température des matières organiques est souvent supérieure à celle de l'air ambiant puisqu'elles ont tendance à fermenter. D'autre part, l'entreposage de résidus organiques à l'intérieur d'un bâtiment, tels les fumiers sous les parcs lattés, permettent à la mouche de se développer à l'année longue.

## Le contrôle des insectes

Le contrôle des insectes s'effectue premièrement en éliminant toutes sources de matière organique dans laquelle la ponte des oeufs puisse se faire. Les sections qui suivent s'attarderont surtout au contrôle de la mouche dans l'étable. Pour le contrôle à l'entreposage, le producteur ne peut avoir recours qu'à l'utilisation d'une couverture flottante ou portante sur le fumier. Pour les fumiers solides, cette solution n'est pas tellement pratique puisqu'elle exige le recouvrement de l'amas avec un matériel sec, à chaque addition de fumier. Pour les lisiers, il s'agit d'un processus qui s'effectue naturellement, à moins d'utiliser de la sciure de bois comme litière. Le producteur peut alors souffler de la paille sur la surface du lisier en entreposage, au début de l'été. Il s'agit d'une technique populaire dans l'Ouest de l'Amérique du Nord. Dans le champ, il suffit d'enfouir les fumiers le plus tôt possible après l'épandage.

---

## LA GESTION DES FUMIERS À L'ÉTABLE

---

### La manutention des fumiers de bovins laitiers

La manutention des fumiers de bovins laitiers s'effectue plutôt sous forme solide dans les étables attachées et plutôt sous forme liquide dans les étables à stabulation libre.

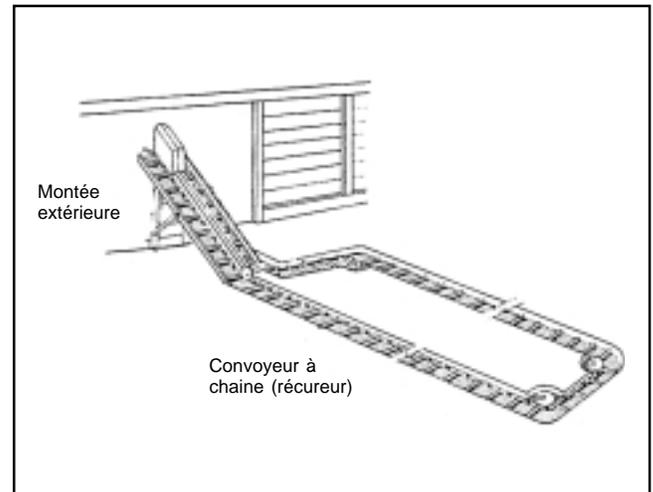
#### Les équipements de manutention solide

Les étables avec attaches exigent une manutention solide des fumiers lorsqu'on utilise plus de 1,0 kg de litière par animal de 600 kg/jour. Pour la manutention des fumiers solides dans l'étable, on utilisera un convoyeur à chaîne dans les caniveaux.

L'évacuation extérieure des fumiers solides s'effectuera à partir de deux types de mécanismes.

1. Un système aérien (Figure 1) où le convoyeur à chaîne est entraîné sur une rampe montant jusqu'à 9,0 m de hauteur et bâtissant sous elle-même un amas de fumier. Parce que ce système est aérien, il est exposé aux rigueurs de l'hiver, telles le gel et l'accumulation de verglas. D'autre part, ce système est relativement peu dispendieux (9 000 à 12 000 \$), possède une portée d'environ 20 m à 25 m et peut manipuler un fumier en grosse motte et avec une quantité impressionnante de litière.

Figure 1. Montée de convoyeur

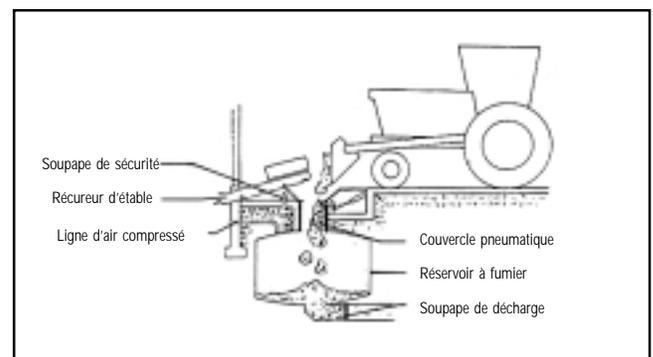


2. Un système souterrain où le fumier est poussé dans un tuyau souterrain qui prend surface à l'extérieur pour y bâtir un amas. Deux modes de pressurisation sont utilisés, soit le système pneumatique (Figure 2) ou mécanique (Figure 3). Parce que ce système est souterrain, il est peu exposé aux rigueurs de l'hiver mais il est relativement dispendieux (15 000 à 22 000 \$). Il possède une portée de 50 m environ. De plus, il ne peut pas manipuler des fumiers solides en grosses mottes ou avec plus de 1,5 kg/jour de litière par animal de 600 kg.

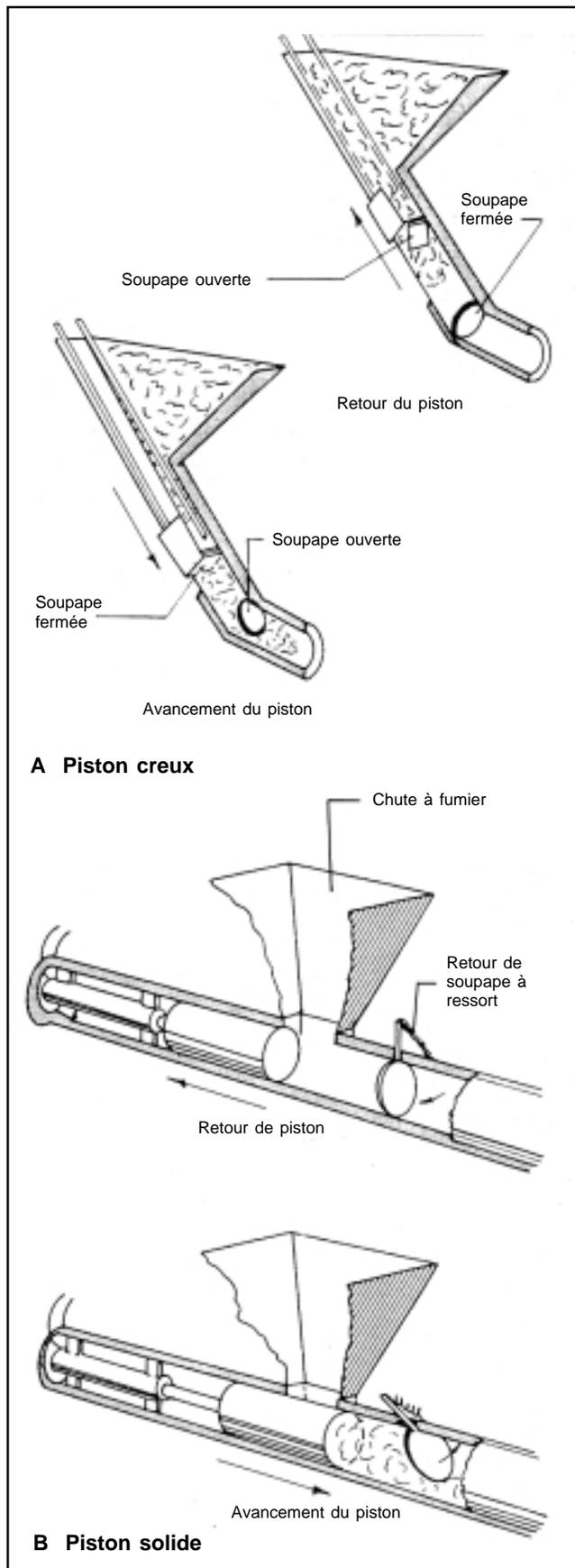
#### Les équipements de manutention liquide pour la stabulation entravée

Il est possible de manipuler les fumiers d'une étable attachée sous forme liquide à condition de limiter la quantité de litière utilisée à moins de 0,5 kg/jour par animal de 600 kg. Parce qu'on diminuera alors la quantité de litière sous les animaux et dans le caniveau, il faudra empêcher les animaux de se salir en recouvrant les caniveaux de grilles et/ou en suspendant la queue des vaches.

Figure 2. Évacuateur souterrain pneumatique



**Figure 3. Évacuateur souterrain mécanique**

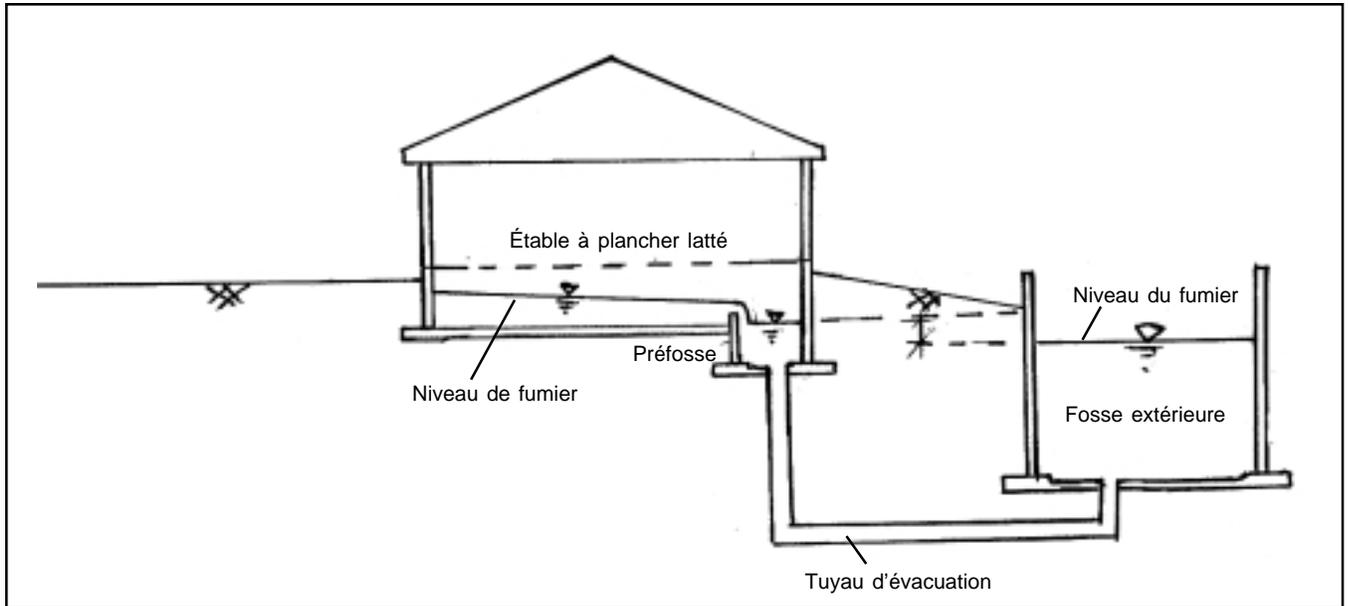


Comparativement à l'Europe, les systèmes de manipulation par gravité dans les étables ne fonctionnent pas très bien au Canada. Parce que la ration des bovins laitiers a tendance à être plus solide au Canada qu'en Europe, les fumiers coulent moins bien et les caniveaux par gravité ont tendance à se remplir. Le convoyeur à chaîne est toujours l'appareil de manutention idéal pour les étables laitières à stabulation attachée.

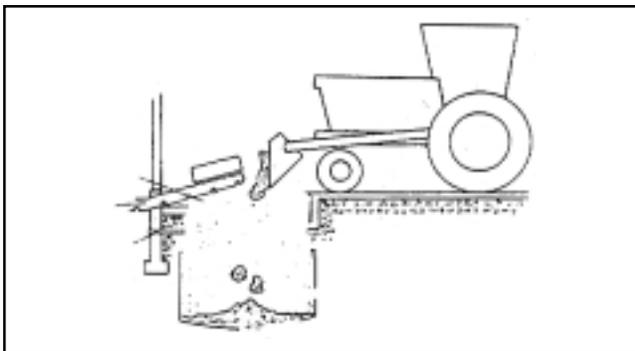
La manipulation du fumier liquide dans l'étable attachée exige toujours un convoyeur à chaîne pour transporter les fumiers vers l'appareil d'évacuation. Lorsqu'on utilise ce système, on utilisera les eaux usées de laiterie pour améliorer la manipulation liquide des fumiers. Comparativement au système solide, un système de fumier liquide ne comporte pas nécessairement plus de manipulation d'eau s'il est bien conçu. Différents types d'appareils d'évacuation sont utilisés.

- 1) Un évacuateur souterrain, tel que décrit aux figures 2 et 3 permet d'effectuer l'évacuation des fumiers avec un minimum d'eau de dilution rajoutée dans l'étable. Les fumiers liquides peuvent seulement être pompés à un taux de matière sèche de moins de 10 % alors que les bovins excrètent un fumier à 13 % de matière sèche. Il s'agit d'un appareil relativement dispendieux (15 000 à 22 000 \$).
- 2) Dans un système d'évacuation par gravité (Figure 4) le fumier est déposé dans un tuyau vertical de 0,9 à 1,2 m de diamètre qui descend à une profondeur suffisante pour arriver dans le plancher de la structure d'entreposage. Il s'agit d'un système relativement peu dispendieux (2 000 à 5 000 \$) qui exige une surveillance plus poussée que l'évacuateur pneumatique. Il exige aussi une pente de 1,0 m entre le plancher de l'étable et le haut du mur de l'entrepôt à fumier pour évacuer adéquatement les fumiers. Ce système possède une portée de 100 m maximum. Comme pour l'évacuateur souterrain, il n'est pas nécessaire d'ajouter de l'eau de dilution pour évacuer les fumiers.
- 3) Un système de broyage dans l'étable (Figure 5) mélange les fumiers avec des eaux de dilution qui proviennent soit de la laiterie ou qui sont retirées de l'entrepôt extérieur. Un fois mélangé, les fumiers sont pompés dans l'entrepôt extérieur. La portée de ce système est d'environ 100 m et si on utilise une pompe à haute pression, elle peut être de 500 m. Le coût de ce système varie entre 15 000 et 25 000 \$ selon la longueur de tuyau requise entre l'étable et l'entrepôt à fumier.
- 4) Une pompe à fumier liquide du type centrifuge ou axiale (Figure 6) dans une préfosse est le système le moins dispendieux (10 000 \$) mais exige l'ajout de beaucoup plus d'eau fraîche de dilution. Lorsqu'on utilise ce système, il faut s'attendre à transporter au champ de 10 à 20 % plus d'eau. Ce genre

**Figure 4. Système d'évacuation par gravité**



**Figure 5. Système d'évacuation par broyage**



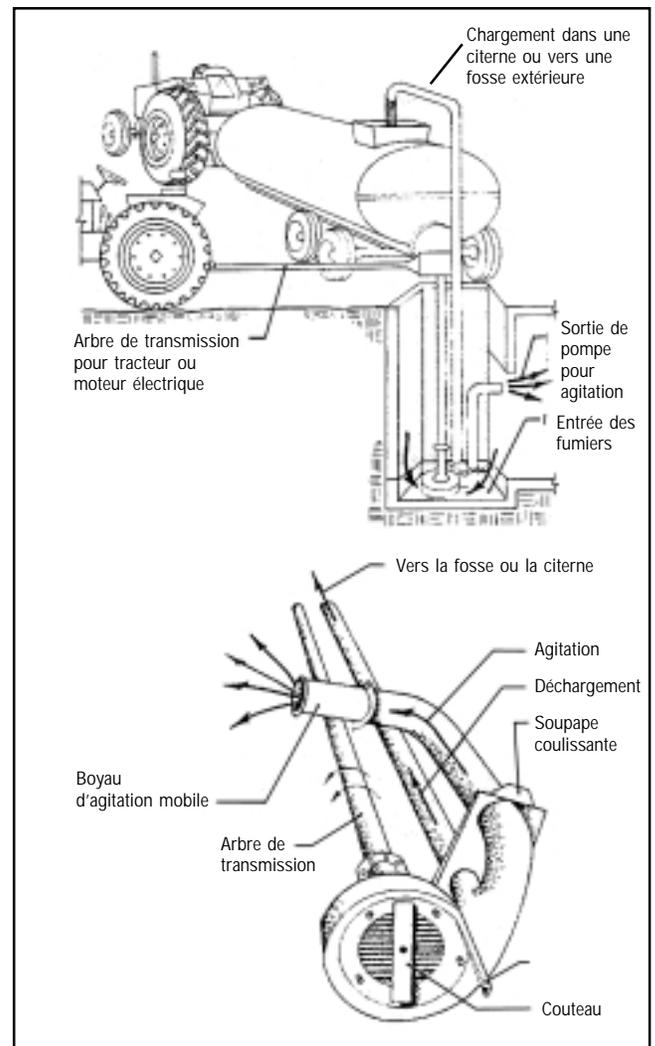
de système est généralement utilisé pour effectuer le transfert de la préfosse de l'étable à la fosse extérieure par l'entremise d'une voiture citerne.

### **Les équipements de manutention liquide pour la stabulation libre**

Dans les étables à stabulation libre, les vaches peuvent circuler librement et se couchent dans des logettes où il n'est pas nécessaire de changer la litière régulièrement. Donc, la manutention du fumier s'effectue plutôt sous forme liquide. On retrouvera des fumiers solides dans les stalles de vêlage et dans les parquets pour veaux. Mais, ces quantités sont très faibles comparativement à la masse de fumier produit par le reste du troupeau et peuvent être incorporées aux lisiers sans effets négatifs.

On peut aussi manipuler les fumiers par système d'écoulement par gravité. Il s'agit de construire des caniveaux à fond sans pente de 24 m de longueur

**Figure 6. Préfosse avec pompe centrifuge**



maximum qui possèdent un barrage de 150 mm à 200 mm à leur embouchure (Figure 7). Le nombre de caniveaux de 24 m ou moins de longueur est répété jusqu'à la préfosse ou la fosse extérieure.

On retrouve également sur le marché des grattes (Figure 8) et des bacs de lavage à l'eau (Figure 9). Quoiqu'on puisse toujours utiliser le tracteur avec une gratte, les systèmes incorporés à l'étable permettent un nettoyage plus fréquent. Les systèmes de lavage avec bacs d'eau sont très efficaces mais dégagent généralement de l'humidité et des odeurs nauséabondes dans l'étable lorsqu'on utilise le purin retiré de la fosse extérieure. Afin d'éviter ce problème, il faut plutôt utiliser les eaux de lavage de la laiterie ou aérer les purins retirés de la fosse extérieure.

L'évacuation des lisiers de l'étable dans la fosse extérieure s'effectue d'une préfosse intérieure à l'aide d'un des systèmes suivants :

- 1) broyage ;
- 2) pompage centrifuge ou axial ;
- 3) gravité.

## La conservation de l'azote des fumiers

Afin de contrôler les pertes d'azote des fumiers dans l'étable tout en minimisant les odeurs, les pratiques suivantes sont recommandées.

- 1) Sortir les fumiers de l'étable à toutes les 12 heures pendant l'été et à toutes les 24 heures pendant

l'hiver. Les fumiers commencent à fermenter entre 12 et 24 heures après leur excrétion et ce temps varie selon la température ambiante.

- 2) Minimiser le contact entre l'air et les fumiers. Pour ceci, on préfère les caniveaux minces et profonds. On doit aussi gratter tous fumiers laissés sur la largeur entière des passages et déposer ceux-ci dans les caniveaux.

L'utilisation de litière diminue de beaucoup le taux d'odeurs produites par les fumiers mais aère ceux-ci et occasionne la perte d'une quantité impressionnante d'azote (Tableau 3).

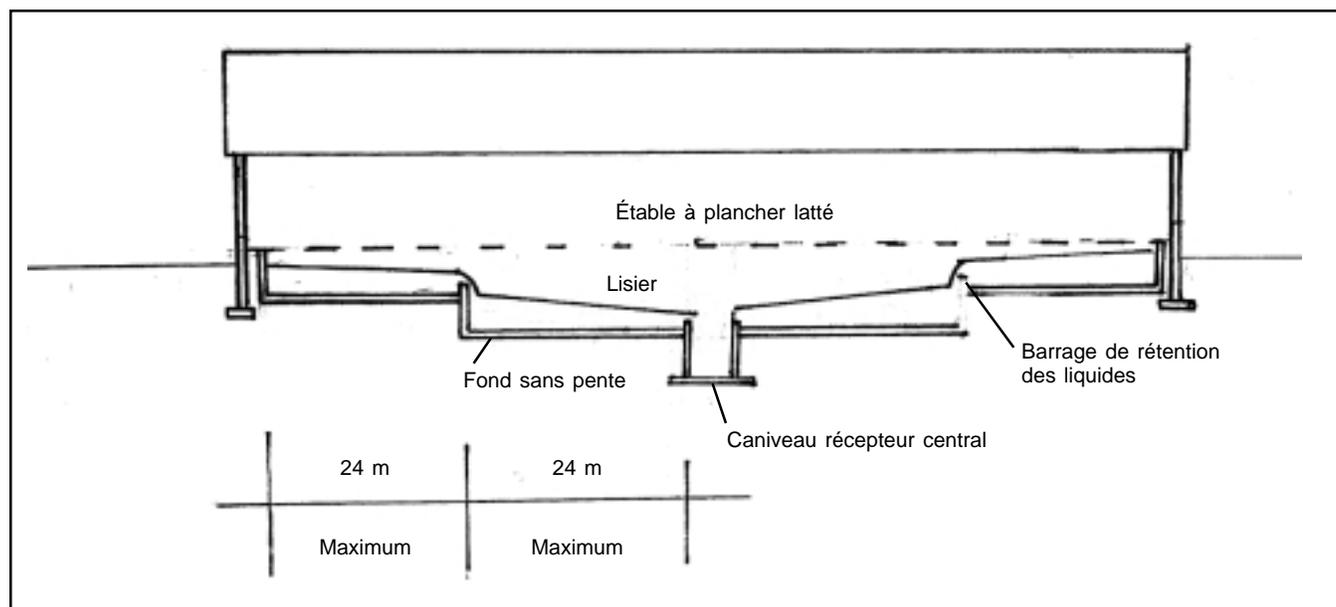
## Le contrôle des mouches dans les étables

Une bonne gestion des fumiers permet de contrôler la prolifération des mouches. Les sections suivantes examineront les techniques biologiques, mécaniques et chimiques pour un programme intégré de contrôle de la mouche.

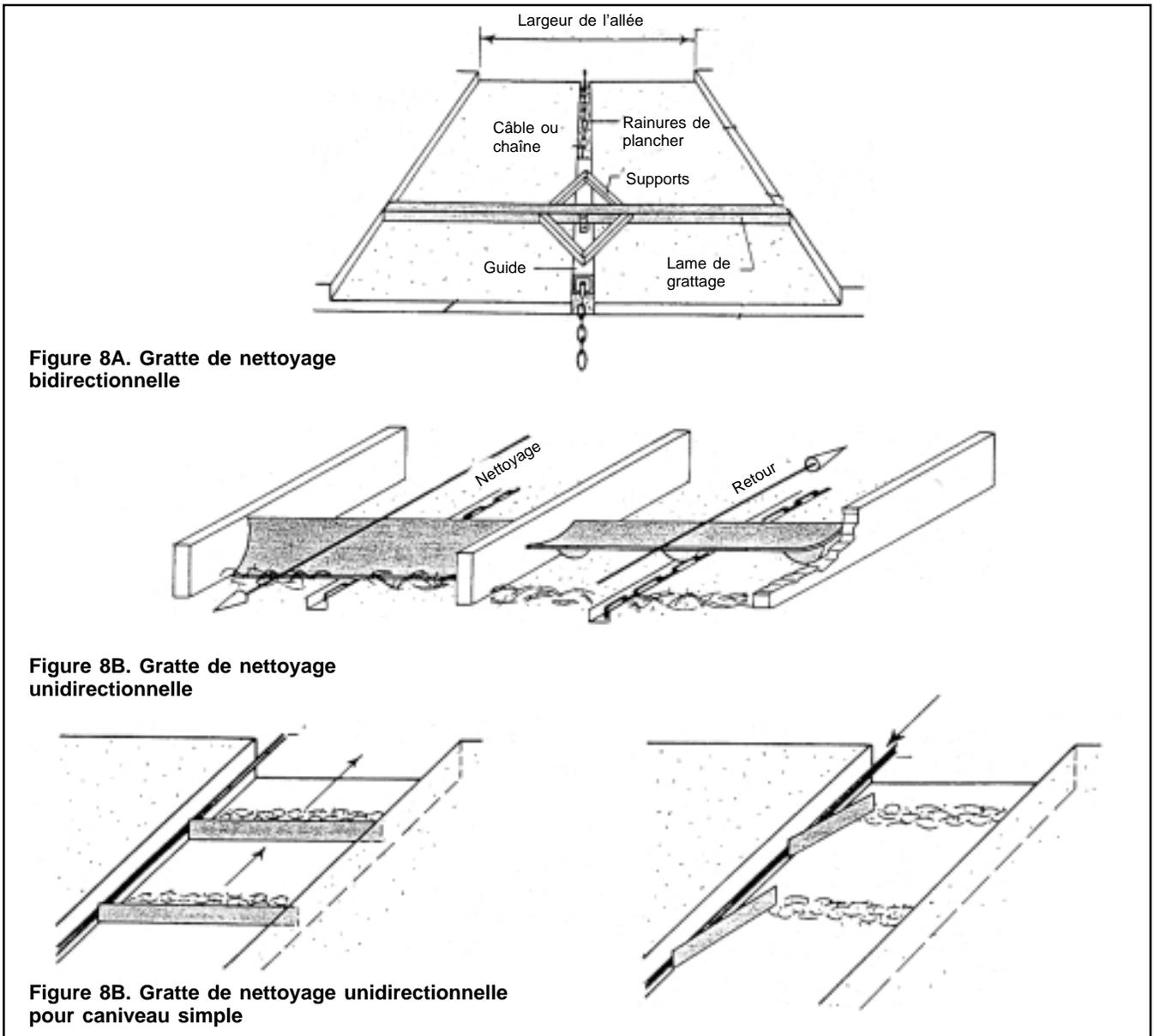
### Le contrôle physique de la mouche

Le contrôle physique de la mouche exige tout simplement l'élimination ou le recouvrement de toutes les matières organiques dont le taux d'humidité dépasse 50 %. Dans l'étable laitière, les matières organiques particulières sont les fumiers, les ensilages et les drèches.

Figure 7. Système d'égouttement par gravité



**Figure 8. Grattes de nettoyage**



**Figure 8A. Gratte de nettoyage bidirectionnelle**

**Figure 8B. Gratte de nettoyage unidirectionnelle**

**Figure 8B. Gratte de nettoyage unidirectionnelle pour caniveau simple**

**Tableau 3. Conservation de l'azote des fumiers de bovins en fonction du taux de matière sèche**

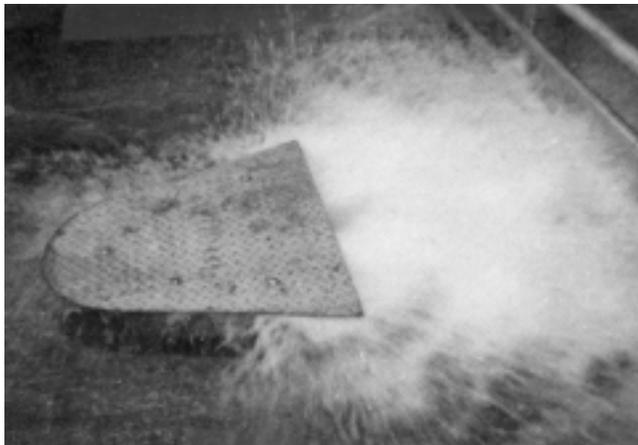
Taux de matière sèche %	Conservation de l'azote %	Source
7,0	82	Ontario, C.B.
9,0	84	Québec
15,0	68	N.-É.
18,0	64	N.-É.
20,0	38	Québec
24,0	48	N.-É.

Source : analyses provinciales de fumiers, à la reprise de l'entrepôt, pour le Canada

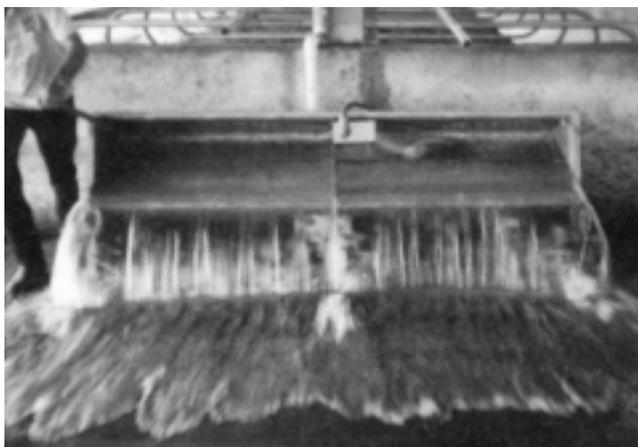
**Figure 9A. Systèmes de nettoyage à l'eau des allées en stabulation libre (Modèles disponibles contre le gel) (Agpro)**



**Figure 9B. Bouche de sortie d'eau : capuchon à jet dirigé (Agpro)**



**Figure 9C. Bouche de sortie d'eau : porte basculante (Agpro)**



**Figure 9D. Bouche de sortie d'eau : barrage (Agpro)**



Il faut retirer les fumiers de l'étable avant l'éclosion des oeufs, soit à tous les jours. L'accumulation des fumiers dans des dalots minimise la surface d'exposition et l'ajout de litière assèche les fumiers et les rend moins attrayants. Dans les parcs d'élevage, il faut garder les planchers bien secs avec de la litière. La présence de logettes individuelles ou d'aires de couchage dans les parcs optimise l'utilisation de litière et améliore la propreté. D'autre part, l'aire d'alimentation et d'exercice de ces parcs reçoit moins de litière et doit être nettoyée régulièrement.

Enfin, le contrôle des mouches s'effectue en gardant les approches de l'étable libres de tous amas de matière organique humide, et surtout de fumier. Pour le fumier liquide de bovins, il y a naturellement formation d'une croûte sèche et dure qui décourage les mouches. Dans ce cas, il est préférable d'éviter de briser cette couche en déposant le fumier frais sous la croûte. Les fumiers solides attirent inévitablement toutes sortes d'insectes.

### **Le contrôle mécanique et chimique de la mouche**

Les pièges permettent le contrôle de la mouche sans l'utilisation de produits chimiques. Il existe deux types de pièges, soit les pièges collants qui après une certaine période d'utilisation deviennent surchargés de mouches et doivent être remplacés, et les pièges électriques, plus coûteux mais insaturables. Ces pièges permettent d'éliminer les mouches qui entrent dans l'étable pendant la venue et la sortie des animaux et des personnes.

Le contrôle chimique peut venir compléter les autres méthodes de contrôle mais on doit faire un choix judicieux du produit. Le produit peut être pulvérisé sur les surfaces ou utilisé sous forme granulaire. La pulvérisation sur le fumier est une pratique peu efficace surtout lorsque celui-ci est déplacé.

### **Le contrôle biologique de la mouche**

Le contrôle biologique comprend l'utilisation de plusieurs types d'organismes non nuisibles qui détruisent la mouche. Il s'agit de prédateurs, de parasites et de pathogènes. Ces organismes doivent être introduits périodiquement afin de maintenir leur efficacité.

Le cycle biologique des parasites prend environ 21 jours à une température de 25 à 30°C, ce qui veut dire qu'ils doivent être réimplantés à toutes les trois semaines. Les parasites éliminent surtout les pupes à la surface de la matière organique. Les pathogènes sont un autre mode biologique qui demeure à être exploité.

## Les additifs pour le contrôle des odeurs

En général, une étable laitière bien entretenue ne devrait pas souffrir de problèmes d'odeurs.

D'autre part, il existe des additifs à fumier pour aider à diminuer les odeurs dans l'entrepôt extérieur, mais ils sont généralement ajoutés dans l'étable. Peu de recherches ont été effectuées sur les additifs à fumier de bovins. Pour les fumiers de porcs, on sait que les additifs doivent être ajoutés quand le fumier est fraîchement excrété et suffisamment dilué pour offrir de l'air dissout qui permet le développement de bactéries facultatives (qui fonctionnent dans un milieu avec de l'air ou sans air, mais dans un milieu faiblement réduit). Pour les fumiers de porcs, on sait que les additifs contrôlent les odeurs dans l'étable mais on n'a pas de données sur le contrôle dans l'entrepôt.

Il existe aussi des additifs alimentaires qui peuvent réduire l'ammoniac et les odeurs dans l'air. Les deux seuls additifs qui semblent fonctionner actuellement sont le De-dorase (Amon *et al.*, 1995) et la zéolite (Barrington, 1995 et 1996).

Il se vend aussi des produits qu'on vaporise dans l'air pour contrôler les odeurs. Le premier type est un masquant et est généralement composé d'alcool. Puisque les alcools sentent fort à de faibles concentrations, ils masquent les odeurs plus diluées des fumiers. Par contre, l'odorat humain s'adapte à l'odeur des masquants et perçoit alors l'odeur du fumier. Voilà pourquoi les masquants donnent une première impression agréable qui ne persiste pas. Il existe aussi des neutralisants d'odeurs qui les réduisent de façon appréciable. Ce dernier produit est nouveau sur le marché et mérite plus d'attention que le premier, qui peut parfois produire une odeur désagréable.

---

## TRAITEMENT DES FUMIERS ET AUTRES EFFLUENTS D'ÉLEVAGE

---

Cette section porte sur la nature des effluents de la production laitière, les méthodes de gestion appropriées et les innovations technologiques qui permettent de réduire leurs impacts négatifs sur l'environnement humain et physique. Une bonne régie des effluents d'élevage permet de protéger l'environnement ainsi qu'une cohabitation harmonieuse avec le voisinage.

## Types et nature des effluents

La production laitière génère plusieurs types d'effluents. Le fumier, effluent le plus important en volume et en charge polluante, est constitué d'un mélange de fèces, d'urine, de litière et d'eau provenant des abreuvoirs et des résidus alimentaires. Les autres types d'effluents sont moins importants en volume et en charge polluante mais doivent quand même être maîtrisés afin de réduire les risques de pollution et les problèmes de nuisance. Ces effluents sont :

- les jus d'ensilage qui s'échappent des silos verticaux et horizontaux lorsque le matériel ensilé est trop humide ;
- les purins riches en N P K provenant des amas de fumier solide et de la cour ;
- Les eaux de lavage de l'équipement de traite, de la salle de traite et de l'aire d'attente. Les eaux de lavage de l'équipement de traite représentent un mélange de matières grasses, de détergents, de produits alcalins et acides. Les eaux de la salle de traite et de l'aire d'attente contiennent principalement des fèces, de l'urine, du sol et des eaux contaminées.

Afin de gérer ces effluents de façon écologique, on doit connaître de façon précise leurs caractéristiques biologiques, chimiques et physiques.

### Nature des effluents

Les principaux paramètres pour caractériser le fumier et les autres effluents sont des paramètres physiques (volume et teneur en solides), biochimiques (demande biologique en oxygène DBO) et chimiques (éléments fertilisants, demande chimique en oxygène DCO). Il est très important de bien comprendre et quantifier ces paramètres afin de gérer les effluents de façon écologique. Le volume produit permet de dimensionner les structures d'entreposage. La teneur en matière sèche (MS) permet de déterminer le mode de manutention et le type d'entreposage requis.

La demande biologique en oxygène (DBO) représente la quantité d'oxygène que les microorganismes aérobies utilisent pour oxyder la matière organique biodégradable du fumier. À titre d'exemple, lorsque du fumier liquide avec une DBO de 25 g/l atteint un cours d'eau, les microorganismes utiliseront l'oxygène contenu dans 2500 L d'eau pour stabiliser chaque litre de fumier liquide. Cette réduction en oxygène peut provoquer l'eutrophisation du cours d'eau et une mortalité élevée chez les poissons. Le test  $DBO_5$  représente la consommation cumulative d'oxygène par les microorganismes cinq jours après l'ajout du lisier. Ce test n'est pas populaire car il est très long et très variable. Ce paramètre est de plus en plus remplacé par la demande chimique en oxygène (DCO).

Le test DCO se fait en laboratoire, il est très rapide et peu variable. Le DCO représente la quantité d'oxygène requise pour oxyder la matière organique à haute température en présence d'un acide concentré. Le DCO est toujours plus élevé que le DBO car le test DCO oxyde aussi la matière organique non biodégradable. Mais le rapport DBO/DCO est plus ou moins constant.

Les analyses chimiques permettent de déterminer le pH et la teneur en éléments fertilisants du fumier. Les principaux éléments fertilisants sont l'azote total, l'azote ammoniacal, le phosphore (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) et le potassium (K<sub>2</sub>O). Cette information est nécessaire afin de recommander des taux d'application aux champs qui sont respectueux de l'environnement, c'est-à-dire qui ne dépassent pas les besoins en nutriments des cultures.

## Fumier

La composition du fumier est affectée par plusieurs facteurs tels que l'âge de l'animal, la formulation de la ration, la consommation d'eau, l'ambiance à l'intérieur du bâtiment d'élevage et le climat (Taiganides et Hazen, 1966). Les propriétés du fumier changent davantage après l'excrétion (Ghaly *et al.*, 1988). Le mode de manutention, le type d'entreposage et l'activité biologique ont un effet important sur la composition du fumier.

Le fumier de bovin laitier peut être sous la forme solide, semi-solide ou liquide selon sa teneur en matière sèche (Ghaly *et al.*, 1988). Il est sous forme liquide lorsque sa teneur en matière sèche (MS) est inférieure à 10 %. Ce qui est le cas lorsque peu de litière est utilisée et que les eaux de lavage de la laiterie, du salon de traite et de l'aire d'attente sont incorporées au fumier (Ghaly

*et al.*, 1988). Le fumier semi-solide a une teneur en MS qui se situe entre 10 et 20 %. Ce type de fumier est à éviter dû aux difficultés de manutention et de reprise dans les structures d'entreposage. Le fumier est sous forme solide lorsque sa teneur en MS dépasse 20 %.

Le tableau 4 donne en détail la production et les caractéristiques du fumier de bovin laitier. Ces informations proviennent de plusieurs sources, (MWPS, 1987 ; Wright, 1996 ; Beauchamps et Bertrand, 1988 ; Dale, 1971 ; Jewel *et al.*, 1976 ; Loehr 1969 ; 1977). La production journalière du fumier est considérable, elle varie entre 32 et 74 kg par animal. La teneur en solide varie entre 7,3 et 27 %. La demande biologique en oxygène est très élevée. Elle se situe entre 20 et 25g/l. Le tableau 4 donne aussi la teneur en éléments fertilisants du fumier.

## Eaux contaminées

Le tableau 5 donne les caractéristiques des purins provenant des amas de fumier et des cours d'exercices. La production totale de purin et d'eau de ruissellement peut représenter un volume de 4,5 à 11 L par vache par jour. La teneur en solides provenant de ces effluents est faible comparée au fumier. La demande biologique en oxygène des purins provenant de l'amas de fumier peut atteindre 31 g/l. Par contre, les eaux de ruissellement ont une concentration en solides et une DBO moins élevée.

## Jus d'ensilage

Le tableau 6 donne les caractéristiques des jus d'ensilage. Ces derniers ont une DBO très variable. Lorsque le jus est concentré et n'est pas mélangé avec les

**Tableau 4. Caractéristiques du fumier de bovins laitiers**

Poids de Fumier l'animal (kg)	Densité produit (kg/l)	Densité (kg/m <sup>3</sup> )	ST <sup>1</sup> %	SV <sup>2</sup> %	DBO <sub>5</sub> <sup>3</sup> (g/L)	DCO <sup>4</sup> (g/L)	TKN (g/L)	NH <sub>3</sub> (g/L)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/L)	K <sub>2</sub> O (g/L)	pH	Références
68	5,5	993	13,3	10,8	21,9	-	5	-	2,0	4,0	-	MPWS, 1987
114	9,0	993	13,0	10,5	21,5	-	5	-	2,0	4,0	-	" "
227	18,6	993	12,6	10,5	20,9	-	5	-	2,0	4,0	-	" "
455	37,2	993	12,7	10,5	20,6	-	5	-	2,0	4,0	-	" "
636	52,3	993	12,7	10,4	20,6	-	5	-	2,0	4,0	-	" "
					20,0		5,6		0,9			Wright, P., 1996
			7,3-18,3				2,8-5,5		0,6-1,3	2,1-4,4		Beauchamp et Bertrand, 1988
	49		12,5		25,6							Dale, A.C., 1971
454	38,5-74,0	993	13-27				1,3-4,2		0,6-0,9	1,3-3,0	7,4	Loehr, C., 1969
455	32,2-49,9	970	12,5	10,2	11-21	65-182	4,9		1,92	4,2		Jewel <i>et al.</i> , 1976
545	45				19,92		3,8		1,8	4,5		Agriculture Canda (1980)
	50		18-30	13,5-26,7	4,2-31	16-268	4,1-6,9	0,7-2,5	3,8-6,9		6,6-8,6	Loehr, 1977

<sup>1</sup> Solides totaux

<sup>2</sup> Solides volatiles

<sup>3</sup> Demande biologique en oxygène

<sup>4</sup> Demande chimique en oxygène

**Tableau 5. Caractéristiques des écoulements et ruissellements provenant des amas de fumier et cours d'exercice**

Notion de l'effluent	Production L/vache-jour	ST <sup>1</sup> %	SV <sup>2</sup> %	DBO <sub>5</sub> <sup>3</sup> (g/L)	TKN (g/L)	NH <sub>3</sub> N (g/L)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/L)	pH	Références
Lixiviation d'amas de fumier	4,5-11,0	1,8-4,3	0,9-2,6	4,2-31	1,2-2,9	0,8-2,2	0,06-0,5	6,4-7,8	Loehr, 1977
Eaux de ruissellement de cours d'exercice	10			1-10	0,05-2,1		0,005-0,5		Wright, P., 1996
Eau de ruissellement d'amas de fumier		0,28-0,84		0,6-5	0,03-0,4		0,002-0,005		MWPS, 1987

<sup>1</sup> Solides totaux

<sup>2</sup> Solides volatiles

<sup>3</sup> Demande biologique en oxygène

**Tableau 6. Caractéristique des jus d'ensilage**

Type de silo	Volume de silo m <sup>3</sup> /100 m <sup>3</sup>	Volume L/vache	DBO <sub>5</sub> (g/L)	TKN (g/L)	B <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/L)	Références
Horizontal		13,0 <sup>a</sup>	12-90	4,4	0,5	Wright, 1996
Vertical	0-8		12-83			Tillie <i>et al.</i> , 1995

<sup>a</sup> Ensilage avec 25 % MS, hauteur de précipitation de 36", silo horizontal, 6,5 m<sup>3</sup>/vache

eaux de ruissellement, la DBO<sub>5</sub> peut atteindre 90 g/l. Donc, le potentiel polluant du jus d'ensilage est très élevé, mais la quantité produite est relativement faible comparée aux autres types d'effluents.

### Eaux de laiterie et de salle de traite

Le tableau 7 donne les caractéristiques des eaux usées des salles de traite et des laiteries. Ces eaux

ont une DBO<sub>5</sub> qui varie entre 0,4 et 10 g/L. La charge polluante des eaux de laiteries et salles de traite est importante à cause du volume considérable de ses effluents.

### Problématiques environnementales de l'entreposage

La charge polluante totale peut être estimée pour chaque type d'effluent. La charge polluante est fonction du volume d'effluents produits et de leur teneur en N, P, K, et BOD<sub>5</sub>. Selon les données des tableaux 1 à 4, le fumier est l'effluent dont la charge polluante est la plus élevée, suivi par ordre d'importance des eaux usées provenant des amas de fumier et des cours d'exercice, des eaux usées des laiteries et des aires d'attente et, finalement, des jus d'ensilage. Les effluents qui ont une charge polluante moins élevée que celle du fumier constituent quand même une source de pollution importante lorsqu'ils ne sont pas entreposés et appliqués adéquatement sur les champs.

**Tableau 7. Caractéristique des eaux usées de laiterie et de salle de traite**

Type	Volume L/vache-jour	ST <sup>1</sup> %	DBO <sub>5</sub> <sup>2</sup> (g/L)	DCO (g/L)	TKN (g/L)	NH <sub>3</sub> (g/L)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/L)	pH	Références
Salle de traite	9,1		0,4-10		0,08-0,9		0,025-0,7		Wright, 1996
Salle de traite	15,1	0,5	3,9			0,132	0,057		Loehr, 1977
Salle de traite			1-2						Tillie <i>et al.</i> , 1995
Eau de lavage	5,0		0,5-1	2,0					Tillie <i>et al.</i> , 1995
Laiterie	7,6	0,09	0,59		0,12			3,63	Jewell <i>et al.</i> , 1976
Laiterie et salle de traite	15,3	0,08	3,72		0,29		0,13	3,63	Jewell <i>et al.</i> , 1976

<sup>1</sup> Solides totaux

<sup>2</sup> Demande biologique en oxygène

Flemming, (1989) a indiqué que les principaux problèmes environnementaux résultants de la production laitière sont :

- l'écoulement des eaux contaminées des cours d'exercice, des amas de fumier, des structures d'entreposage et des silos horizontaux dans les cours d'eau ;
- la percolation des éléments fertilisants N, P, K des amas de fumier ou des structures d'entreposage défectueuses dans les eaux souterraines ;
- le rejet des eaux usées des laiteries, des salles de traite et des aires d'attente directement dans l'environnement ;
- une mauvaise planification de l'application des fumiers sur les champs ;
- une structure d'entreposage inadéquate ;
- le déversement de fumier sur les routes ;
- la surfertilisation des champs ;
- la contamination des cours d'eau causée par l'accès direct des animaux.

En 1986, un groupe de travail MAPAQ/MENVIQ, a estimé que 20 % des fermes qui gèrent le fumier sous forme liquide et 70 % des fermes qui gèrent le fumier sous forme solide étaient dotées d'un système d'entreposage inadéquat (Gangbazo et McCormick, 1997). Piché et Gangbazo (1993) ont étudié les pertes de N, P, K de trois tas de fumier sur des installations de 35 à 100 unités animales de vaches laitières. Ils ont estimé que le purin qui s'écoulait des tas contenait 8 à 15 % de la quantité d'azote, 3 à 5 % de la quantité de phosphore et 25 à 40 % de la quantité de potassium. Simard et collaborateurs (1993) ont démontré que le phosphore dans l'eau et les sédiments d'une rivière sont plus élevés près des effluents qui proviennent des zones à densité animale élevée. Grimard (1990) a démontré que la concentration totale d'azote dans les rivières augmente avec la densité animale.

Un système d'entreposage inadéquat représente donc une source importante de pollution ponctuelle.

Piché et Gangbazo (1993) ont indiqué que le purin, même substantiellement dilué par un facteur de 2000, peut quand même provoquer l'eutrophisation d'un cours d'eau. La matière organique ( $DBO_5$ ), le phosphore et l'ammoniaque contribuent à l'eutrophisation des eaux de surface.

La  $DBO_5$  réduit la teneur en oxygène de l'eau, l'ammoniaque et le phosphore stimulent la prolifération des algues. L'ammoniaque non ionisé ( $NH_3$ ) présent en concentration excédant 0,2 mg/L peut provoquer la mortalité des poissons. Lorsque la concentration en nitrate atteint 10mg/L, l'eau de surface n'est plus acceptable pour la consommation humaine. Les risques de préjudices à l'environnement humain et physique varient considérablement d'une ferme à l'autre.

Les principaux facteurs qui sont responsables pour ces variations sont :

- la proximité des cours d'eau ;
- la distance du voisinage ;
- le zonage des terres adjacentes ;
- la terre disponible ;
- l'alimentation animale ;
- la forme de manutention ;
- le mode d'entreposage ;
- la topographie du bassin versant ;
- le type de sol ;
- le travail du sol ;
- le temps d'application ;
- la méthode d'application.

Un suivi environnemental devrait être effectué sur chaque ferme. Ce suivi permettra de déterminer si la gestion actuelle des effluents à la ferme est respectueuse de l'environnement. Lorsque la gestion des effluents cause des préjudices à l'environnement humain et physique, il sera nécessaire de suivre une série d'étapes logiques afin d'évaluer diverses solutions (Schmidtke, 1981). La première étape sera d'identifier le ou les problèmes (exemple : odeur, pollution de l'eau, du sol etc.). La deuxième étape consistera à caractériser le problème. La caractérisation permettra de quantifier l'ampleur du problème et de déterminer quel maillon de la chaîne (collection, manutention ou entreposage) est défectueux. La troisième étape consistera à examiner différentes options de régies ou mesures préventives pour remédier aux problèmes environnementaux. Sur la plupart des fermes aux prises avec un problème, une régie adéquate des effluents devrait s'avérer suffisante pour le résoudre. Lorsque les mesures préventives ne seront pas suffisantes pour remédier aux problèmes, il sera alors nécessaire de s'orienter vers des technologies de traitement.

## Traitements

Le traitement représente toutes actions qui permettent de transformer les effluents. La transformation peut être d'ordre physique (exemple réduction de volume), biologique (exemple réduction  $DBO_5$ ) ou chimique (exemple réduction N, P et K). Pour être applicable à la ferme, les procédés de traitement doivent être simples, faciles à opérer, fiables, économiquement rentables et devraient aussi s'intégrer facilement dans les opérations régulières (Jewell *et al.*, 1976).

Les objectifs de traitement vont varier d'une ferme à l'autre. Les principaux objectifs sont :

- 1) La réduction des nuisances (exemple odeurs) ;
- 2) La conservation du milieu, la protection des sols, des eaux de surface et souterraines ;
- 3) La valorisation, la conservation et l'augmentation de la disponibilité des éléments fertilisants pour réduire les besoins en engrais minéraux ;
- 4) La réduction du volume afin de réduire les coûts d'entreposage et d'épandage ;
- 5) Pour les fermes avec des surplus de fumier, l'objectif pourrait être la réduction de certaines composantes (exemple BOD<sub>5</sub>, N, P, K). Ces substances, lorsque qu'elles sont présentes en quantités excédentaires, ont un impact nuisible et certain sur la qualité de l'eau et des sols.
- 6) La récupération d'énergie ;
- 7) L'hygiène.

Les sections suivantes portent sur les régies de gestion pertinentes et les technologies de traitement des effluents de fermes laitières qui, bien appliquées, devraient s'avérer efficaces pour supprimer les risques de nuisance et de pollution. L'examen des différentes régies de gestion et des technologies de traitement fera ressortir celle qui a le plus de potentiel pour résoudre les problèmes. Le scénario envisagé devra être rentable, facile d'opération et facilement intégrable. La rentabilité des solutions variera d'une ferme à l'autre. Le producteur devra consulter un spécialiste dans ce domaine pour évaluer la pertinence économique et technique des différents scénarios.

## Jus d'ensilage

Il y a plusieurs régies qui permettent de gérer écologiquement le jus d'ensilage. Une des régies à envisager serait de réduire leur volume à la source. Tillie et collaborateurs (1995), ont indiqué qu'un ensilage d'herbe avec 18 % de M.S. produit environ 160 à 200 L de jus par m<sup>3</sup> d'ensilage. Lorsque la teneur en M.S. est augmentée à 23 %, la production de jus est réduite à 50 litres par m<sup>3</sup>. Wright (1996) recommande de préfaner le fourrage avant de l'ensiler. Il recommande une teneur en M.S. de 32 à 38 % pour les silos verticaux et de 30 à 32 % pour les silos horizontaux. Cette teneur en M.S. produit un ensilage de meilleure qualité et élimine presque complètement le jus d'ensilage. Tillie *et al.* (1995) recommandent d'entreposer le jus d'ensilage dans un réservoir et de l'épandre sur les champs ou d'en alimenter le troupeau. Le jus d'ensilage contient 1,5 % de protéines brutes et 1,1 % de sucres solubles. Selon Tillie *et al.* (1995), 15 litres de jus d'ensilage correspondent à 1 kg d'orge.

Wright (1966) recommande que les silos horizontaux soient couverts pour empêcher la contamination des eaux pluviales. Lorsque ce n'est pas possible, les eaux de ruissellement provenant du silo horizontal devraient être recueillies et entreposées. Sur les fermes où le fumier est manutentionné sous forme solide, une possibilité serait d'utiliser des matériaux absorbants (paille, copeaux de bois ou autre) pour éponger le jus d'ensilage. Ceci permettrait d'entreposer le jus d'ensilage avec le fumier solide. L'autre possibilité serait d'entreposer le jus d'ensilage et les eaux de ruissellement dans un purot. Sur les fermes où le fumier est manutentionné sous forme liquide, le jus d'ensilage devrait être entreposé dans le réservoir ou dans la fosse à lisier.

Les jus d'ensilage sont produits sur une très courte période. Il serait difficile de rentabiliser un procédé pour traiter cet effluent.

## Eaux usées de laiterie

Un des premiers scénarios à envisager avec les eaux usées de laiterie, de la salle de traite et de l'aire d'attente est la réduction du volume et de la charge polluante. Wright (1996) ; OMAFRA, 1991 ; Anonyme, 1994 ont indiqué que les étapes suivantes permettent de réduire considérablement le volume et la charge polluante :

- 1) enlever les déjections, la litière, et les autres solides des planchers de la salle de traite et de l'aire d'attente à l'aide d'une gratte avant de les laver ;
- 2) réutiliser les eaux de rinçage provenant du système de nettoyage de l'équipement de traite pour laver les planchers de la salle de traite et de l'aire d'attente ;
- 3) laver les planchers avec un jet d'eau sous pression ;
- 4) utiliser un évier conçu pour économiser l'eau lors des cycles de lavage et de rinçage de l'équipement de traite ;
- 5) alimenter les veaux avec les eaux du premier rinçage qui sont riches en lait ;
- 6) utiliser des produits nettoyants qui ne contiennent pas de phosphore.

Ces stratégies permettent : 1) de réduire les besoins d'entreposage et la surface requise pour l'épandage et 2) d'augmenter l'efficacité et la longévité des systèmes de traitements. Ces effluents avec ou sans réduction de volume ou de la charge polluante peuvent être entreposés dans un réservoir ou un purot lorsque le fumier est manutentionné sous forme solide et dans la fosse à lisier lorsque le fumier est manutentionné sous forme semi-solide ou liquide. Le désavantage de

cette régie est l'augmentation des coûts d'entreposage et d'épandage.

Beaucoup de travail a été accompli au cours des dernières années pour trouver un procédé de traitement économique, pratique et fiable. Les principaux avantages d'un système de traitement sont la réduction des odeurs, des risques de pollution, du volume à entreposer et à épandre sur les champs.

### Traitement par flocculateur

Malcom *et al.* (1995) travaillent sur la mise au point d'un procédé physico-chimique pour enlever les matières indésirables telles que les matières grasses et le phosphore. Les eaux de nettoyage sont accumulées dans un petit réservoir. De la chaux est ajoutée et mélangée à basse vitesse pour une période de 20 minutes. En moins de deux heures, la chaux fait précipiter le phosphore et les matières grasses au fond du réservoir. Le flocculateur permet d'éliminer 99 % des matières grasses et du phosphore. L'effluent traité ne peut être déversé directement dans l'environnement, mais il pourrait plutôt être acheminé vers un champ d'épuration ou un filtre végétal. Les dimensions du filtre végétal et du champ d'épuration seraient réduites considérablement avec l'utilisation de ce procédé. Les boues qui se précipitent au fond du flocculateur sont entreposées avec le fumier solide. Les boues représentent moins de 10 % des effluents traités. Il y a présentement des flocculateurs à l'essai sur des fermes commerciales.

### Traitement par champ d'épuration

Un autre procédé, qui peut être utilisé avec les effluents de laiteries et de salles de traite, est la fosse septique combinée à un champ d'épuration. La fosse septique permet une séparation de la matière solide. Elle permet aussi aux microorganismes anaérobies de transformer la matière organique biodégradable en éléments solubles qui sont par la suite décomposés dans le champ d'épuration. Une étude réalisée par Urgel Delisle et associés pour le compte du ministère de l'environnement du Québec (MENVIQ, 1994) a démontré que ce système traitait adéquatement les effluents de laiteries. La DBO<sub>5</sub>, la DCO, les huiles et les graisses ont été réduites de 90 % et plus. Le phosphore a été réduit par plus de 58 %. Malcom *et al.* (1995) ont indiqué que la matière grasse du lait et autres solides causent l'obstruction du système d'épuration. MENVIQ, 1994 a indiqué que les effluents du champ d'épuration dépassent quelques fois certaines normes de rejets au cours d'eau. OMAFRA, 1991 recommande que le volume et la charge polluante des effluents soient réduits avant leur transfert dans la fosse septique et dans le champ d'épuration. La charge peut être réduite selon les méthodes de régies proposées précédemment ou à l'aide de traitements

(ex. flocculateur). Les coûts annuels pour le système de fosse septique combiné à un champ d'épuration est d'environ 20 \$ par vache par année (MENVIQ, 1994).

### Traitement par marais épurateur

Le marais épurateur pourrait s'avérer efficace pour traiter les effluents des laiteries et des salles de traite ayant subies une réduction de volume et de charge polluante. Le fonctionnement d'un marais épurateur est présenté à la section suivante.

### Traitement par filtre végétal

MENVIQ (1993) a évalué l'efficacité d'un filtre végétal pour traiter les eaux des laiteries et les eaux de ruissellement provenant de la plate-forme à fumier. Selon MENVIQ (1993), ce système exige beaucoup d'attention et est peu pratique à cause des superficies requises pour accomplir un niveau acceptable d'épuration. Si le volume et la charge polluante étaient réduits considérablement par les méthodes proposées plus tôt, le filtre végétal pourrait s'avérer un procédé très intéressant. Le fonctionnement d'un filtre végétal est présenté à la section suivante.

## Purins des amas de fumier et des cours d'exercice

On peut diminuer le volume des purins en réduisant les surfaces de contact avec les eaux pluviales. Plusieurs solutions techniques peuvent être appliquées. Tillie *et al.* (1995) et Wright (1996) recommandent :

- l'installation de gouttières le long de l'avant-toit pour recueillir l'eau provenant de la toiture de la cours d'exercice ;
- d'empêcher les eaux de ruissellement provenant des surfaces adjacentes d'entrer en contact avec la cour d'exercice ou la plate-forme d'entreposage du fumier ;
- de couvrir d'une bâche ou toiture la plate-forme à fumier ou aire d'exercice pour empêcher la contamination des eaux pluviales ;
- l'utilisation de litières additionnelles pour réduire la lixiviation ;
- l'utilisation d'un bassin de décantation pour retenir une partie de la fraction solide des eaux de ruissellement afin de réduire leur charge polluante.

Sur les fermes où le fumier est manutentionné sous forme solide, les eaux de ruissellement devraient être entreposées dans un purot et épandues sur les

champs. Cette solution simple et très efficace requiert un purot de grand volume. Sur les fermes avec une structure d'entreposage pour le fumier liquide, ces effluents devraient être entreposés avec le lisier. Lorsque le volume actuel du purot ou du réservoir à lisier n'est pas adéquat pour recevoir ces effluents, la construction d'un réservoir additionnel sera nécessaire.

### Traitement par filtre végétal

Le filtre végétal est une aire couverte par de la végétation. Le couvert végétal sert à filtrer les éléments en suspension (solides, matières grasses, etc.) et une quantité importante d'éléments fertilisants. Les eaux usées sont épandues de façon intermittente pour permettre au sol de sécher entre les applications et de décomposer la matière organique ou de dénitrifier l'azote ammoniacal. Une fraction importante de l'azote ammoniacal est fixée dans la biomasse du couvert végétal. Le filtre végétal ne peut être installé que sur les fermes qui rencontrent des conditions spécifiques de texture du sol, de perméabilité du sol, de charge hydraulique maximale permise par jour, de profondeur du sol, de hauteur de la nappe phréatique, de pente acceptable (pour empêcher le ruissellement). Le type de végétation et les besoins de la végétation en N, P et K sont aussi des facteurs à considérer.

Le ruissellement provenant de la structure d'entreposage de fumier solide, de la cours d'exercice ou du silo horizontal est considérable et a une charge polluante importante. MENVIQ (1993a), a indiqué que le filtre végétal n'est pas approprié lorsque le volume à traiter est grand et implique de grandes superficies pour épurer les effluents. Le filtre végétal est un procédé saisonnier (non opérationnel l'hiver). Donc, durant l'hiver, les eaux de ruissellement doivent être entreposées.

### Traitement par marais épurateur

L'efficacité du marais épurateur est présentement évalué sur des fermes en Ontario et au Québec (Weil, 1995; 1996). Ce procédé est surtout utilisé en Europe et aux États-Unis.

Le marais artificiel imite la nature (Weil, 1995). Le marais agit comme un filtre pour épurer les eaux usées. Dans un marais, les transformations d'ordre physique (sédimentation), biologique (activités microbiennes) et chimiques (ex. précipitation de métaux lourds) réduisent la teneur en solides, N, P, K et en métaux lourds des effluents. L'azote ammoniacale est transformée en azote gazeuse, nitrate ou fixée dans la biomasse.

Les plantes aquatiques des marais (macrophytes) introduisent de l'oxygène dans le fond vaseux permettant la digestion aérobie des polluants organiques.

Les macrophytes servent aussi de support aux bactéries aérobies et anaérobies (Weil, 1995). Les bactéries permettent de fixer une partie de l'azote ou de transformer l'ammoniaque en nitrate et les nitrates en azote gazeux. L'azote gazeux n'a aucun impact négatif sur l'environnement.

Si le principal avantage du marais est d'éliminer les opérations d'épandage du purin, le principal désavantage est de perdre les éléments fertilisants qu'il contient. Ces éléments représentent presque 50 % de la valeur fertilisante du fumier. Le producteur peut se concentrer sur la gestion du fumier solide seulement. La contrainte principale est que le marais n'est pas utilisé l'hiver, et durant cette période, les effluents de laiterie et de la plate-forme à fumier doivent être entreposés jusqu'à ce que les conditions d'opération du marais redeviennent acceptables. Weil (1995) a indiqué que le coût de ce système pour un troupeau de 40 vaches laitières est d'environ 20 000 \$. L'efficacité à long terme de ce procédé est assuré lorsqu'on remplace le sol saturé du fond des bassins ce qui empêche une accumulation excessive de matière organique. De plus, les liquides rejetés possèdent de fortes teneurs en sel, tels que  $K^+$  et  $Cl^-$ .

### Fumier solide

Le fumier est sous forme solide lorsque suffisamment de litière est utilisée pour maintenir la teneur en MS au-dessus de 18 %. Le fumier solide devrait être entreposé adéquatement pour permettre la collection des purins. Les types d'entreposage sont présentés à la section suivante. La régie des purins est présentée à la section précédente. Le fumier solide appliqué en dose agronomique, ne pose pas de problèmes à l'environnement. Le traitement du fumier solide pourrait s'avérer nécessaire lorsque son odeur pose des problèmes sérieux au voisinage, lorsque les coûts d'épandage sont très élevés à cause de l'éloignement important du lieu d'épandage ou lorsque les surfaces d'épandage ne sont pas suffisantes.

Le voisinage pourra par instant se plaindre des odeurs associées à l'entreposage du purin plutôt qu'à celles du fumier solide. Plusieurs producteurs laitiers craignent que leur pureau n'émette autant d'odeurs qu'une fosse à lisier.

### Traitement par compostage

Le compostage est un procédé microbiologique qui se fait en deux phases, la première est la décomposition de la matière organique suivie d'une phase de maturation. C'est un procédé de traitement qui s'applique au fumier solide. Le but de cette section n'est pas de discuter en détails les techniques de compostage ou l'influence de certains paramètres sur l'activité micro-

bienne. Cette section décrit plutôt les avantages et désavantages d'un tel procédé.

Le compostage du fumier solide a plusieurs avantages (OMAFRA, 1991) :

- Élimine les odeurs du fumier après une première phase de compostage.
- Réduit le volume de 30 à 60 %.
- Réduit considérablement les coûts de transport et d'épandage.
- Peut représenter une source de revenu pour l'agriculteur lorsqu'il y a un marché pour le compost à proximité.
- En fixant une partie de l'ammoniaque et du phosphore, le compostage réduit les pertes par lessivages des éléments fertilisants après l'épandage.
- Détruit les graines de mauvaises herbes et les pathogènes.
- Transforme la matière organique en terre végétale semblable à de l'humus.

Les principaux désavantages du compostage sont :

- Perte d'azote ammoniacal, qui peut représenter 30 à 50 % de l'azote total.
- Requiert de la main d'oeuvre additionnelle.
- Risque de lixiviation si le procédé de compostage a lieu directement sur le sol.
- Peut produire des gaz à effet de serre  $CH_4$ ,  $NO_x$ ,  $N_2O$ , etc.
- L'élément fertilisant azoté, étant sous forme organique, il est moins disponible pour les cultures.

## Fumier liquide

Le fumier est manutentionné sous forme liquide lorsque sa teneur en solides est de moins de 10 %. La manutention du fumier sous forme liquide est plus fréquente sur les grandes fermes laitières. La meilleure régie pour le fumier liquide est de l'entreposer dans un réservoir ou fosse étanche afin de l'épandre sur les champs au moment approprié.

Les objectifs de traitement pour le fumier liquide sont principalement la réduction des odeurs, la réduction des risques de pollution sur les fermes où il y a des excédents de fumier ou l'optimisation de la valorisation agronomique par l'augmentation de la disponibilité des éléments fertilisants. Plusieurs types de traitements peuvent s'appliquer au fumier liquide.

### Séparation des solides et des liquides

Un traitement simple qu'on peut appliquer au fumier liquide est la séparation des fractions solides et liqui-

des. Les principaux avantages de cette séparation selon Baader, Krause (1988) et Leonard (1995) sont :

- réduit l'accumulation de boues dans le fond du réservoir ou fosse ;
- facilite la reprise du lisier ;
- réduit considérablement les besoins d'agitation de la fosse ;
- distribution homogène des éléments fertilisants ;
- viscosité moins élevée, ce qui permet de pomper le liquide sur une plus longue distance ;
- moins de blocage de pompes ou d'orifices ;
- plus de facilité à entreposer, composter ou épandre la fraction solide.

La séparation concentre le phosphore dans la fraction solide alors que l'azote total est divisé également entre la phase liquide et solide. Donc, ce procédé pourrait fournir la solution sur les fermes qui ont un excédent en phosphore. Les solides qui représentent une fraction du volume total peuvent être épandus sur des terres qui ont un déficit en phosphore. En exportant les solides seulement, les coûts de transport sont réduits considérablement.

Il existe un grand nombre de séparateurs naturels (exemple : séparateur par gravité, bassin de sédimentation) et mécaniques (exemple : cribleur, tamis, presse rotative, filtre à bande, sous-vide ou sous-pression, centrifugeuse et osmose inverse).

Les coûts d'opération et d'entretien ainsi que la fiabilité de plusieurs de ces appareils utilisés avec du fumier de bovins laitiers ne sont pas bien connus.

### Digestion aérobie

La décomposition aérobie se produit lorsque de l'oxygène est introduit dans le fumier liquide. Les bactéries aérobies produisent des réactions biochimiques et d'oxydation qui transforment la matière organique facilement biodégradable en nouvelles cellules microbiennes (protéines), en bioxyde de carbone et en eau. La digestion aérobie est un procédé fréquemment utilisé pour traiter les eaux usées municipales. Ces eaux ont une teneur très faible en  $DBO_5$  (environ 200 mg/L). Lorsque l'on utilise ce procédé pour traiter du fumier de bovin laitier avec une teneur en substances organiques ( $DBO_5 \approx 25\,000$  mg/L) il faut une quantité considérable d'énergie pour fournir tout l'oxygène nécessaire afin d'obtenir un traitement complet. Ce procédé est très efficace pour éliminer la charge polluante organique du fumier ( $DBO_5$ ), mais avec les coûts actuels de l'énergie, son utilisation n'est pas courante sur les fermes laitières.

L'idée d'utiliser la digestion aérobie comme traitement partiel pour atténuer les odeurs, connaît un intérêt plus

soutenu. Le contrôle des odeurs nécessite une aération partielle seulement, ce qui réduit considérablement les coûts d'opération du procédé. Les principaux procédés de digestion aérobie utilisés aux États-Unis et en Europe pour le contrôle des odeurs sont : le fossé d'oxydation, le lagunage aéré et l'aération des sites d'entrepôts à la surface des liquides.

Le fossé d'oxydation est une rigole non couverte où le lisier est maintenu en circulation par un rotor à balai ou par un jet d'air. Le rotor ou le jet d'air, en plus de faire circuler le fumier, fournit l'oxygène nécessaire aux bactéries pour éliminer les composantes odorantes. Ce procédé peut être utilisé dans les caniveaux sous les caillebotis. Ce procédé est simple et facile d'opération, mais son coût de construction est élevé. Le fossé d'oxydation a quelques désavantages :

- Problèmes d'écume.
- Nécessite la dilution du fumier, donc augmente le volume à entreposer et à épandre.
- Les pertes d'azote ammoniacal par désorption sont très importantes.
- Si le lisier traité est entreposé pour une longue période, la production d'odeurs recommence.

Le lagunage aéré consiste en un étang où l'air est soit injecté par le fond ou est incorporé dans le fumier à l'aide d'un aérateur de surface. Ce procédé est efficace pour réduire les odeurs mais a plusieurs inconvénients :

- Problèmes d'opération l'hiver à cause du gel.
- Coût d'aménagement élevé lorsque le sol n'est pas approprié pour ce type de structure.
- Pertes d'azote ammoniacal importantes.
- Coût d'opération élevé.

L'aération de surface des liquides retenus dans les fosses d'entrepôt est actuellement étudiée aux États-Unis. On utilise un système de râteliers de surface qui injectent de l'air uniquement dans les liquides de surface.

L'efficacité et la durabilité de ces procédés mécaniques n'ont pas été testées sous des conditions climatiques sévères comme celles du Canada.

## Digestion anaérobie

La digestion anaérobie est le résultat de la biodégradation de la matière organique en l'absence d'oxygène. Le fumier de bovin laitier qui contient une grande quantité de matière organique (DBO) se prête bien à la digestion anaérobie. Le fumier traité est désodorisé, il a une charge polluante organique substantiellement réduite et ses éléments fertilisants N et P sont plus disponibles aux cultures. La digestion anaérobie produit une quantité importante de méthane.

La digestion anaérobie comporte une série complexe de réactions réalisées par plusieurs groupes de bactéries. Ces bactéries existent déjà dans la nature (ex. marais, fosse à fumier, etc.). Les principaux groupes de microorganismes sont les acidogènes et les méthanogènes. Les acidogènes produisent des enzymes extracellulaires qui permettent de solubiliser les molécules de matière organique qui sont trop volumineuses pour traverser les parois cellulaires des bactéries. La matière organique solubilisée en molécules plus simples (ex.: sucre et acides aminés) est consommée par les acidogènes et transformée en acides gras volatils (acide acétique, propionique et butyrique), hydrogène et en bioxyde de carbone (Marchaim, 1994).

Le dernier et le plus important groupe de microorganismes, les méthanogènes, s'alimentent d'acides gras volatils et les convertissent en méthanes, en bioxyde de carbone. Un autre groupe de méthanogènes produit du méthane à partir du bioxyde de carbone et d'hydrogène. Environ 20 % du méthane est produit par la réduction du bioxyde de carbone et 80 % par le clivage des molécules d'acide acétique. Les méthanogènes sont beaucoup plus fragiles que les acidogènes. Donc, la conception du digesteur doit fournir des conditions qui sont acceptables pour ces bactéries. Le procédé a été utilisé au Canada dans les années 1970. Il n'est jamais devenu populaire en raison des coûts d'investissement et d'opération élevés, des problèmes et de la complexité d'opération qui interfère avec les tâches journalières à la ferme (Van Die, 1987). Au cours des dernières années, la digestion anaérobie a fait des progrès importants au niveau de la compréhension du procédé et un avancement technologique très important concernant les équipements pour l'opération des bioréacteurs et l'utilisation du biogaz. La digestion anaérobie connaît un intérêt soutenu au Danemark et en Allemagne. On retrouve présentement 15 bioréacteurs industriels en opération au Danemark (Holm-Nielsen, 1993; Christensen, 1995) et 380 en Allemagne (Klinler, 1997). Pour des raisons technico-économiques, les systèmes présentement utilisés au Danemark et en Allemagne ne seraient pas rentables au Québec où les coûts énergétiques sont bas et les conditions climatiques plus extrêmes.

Un projet d'étude en cours évalue la faisabilité d'un procédé anaérobie substantiellement moins coûteux et qui pourrait fonctionner de façon économique sous les conditions climatiques du Québec (Massé *et al.* 1997).

---

## SYSTÈMES D'ENTREPOSAGE

---

Les installations d'entrepôt ont un rôle important sur le plan environnemental. Ils servent à contenir le fumier et les autres effluents d'élevage afin :

- de prévenir les pertes d'éléments fertilisants ;

- de protéger les eaux de surface et souterraines contre la contamination ;
- d'éviter d'endommager les sols, durant les périodes où ceux-ci sont vulnérables à la compaction ;
- d'éviter d'endommager les cultures avec l'équipement d'épandage ;
- d'optimiser la valorisation agronomique, c'est-à-dire appliquer le fumier lorsque les cultures ont le plus grand besoin d'éléments fertilisants N, P et K.

Cette section décrit brièvement les systèmes d'entreposage les plus couramment utilisés avec le fumier de bovins laitiers. Les bureaux régionaux du MAPAQ peuvent vous fournir des ensembles de plans et feuillets qui décrivent en détails les types de structures d'entreposage présentés ci-dessous. Ces documents illustrent aussi des mesures de sécurité et des principes de gestion pour ces structures.

MENVIQ (1989) présente une étude très détaillée sur les différents systèmes d'entreposage pour la régie liquide des effluents de ferme. Ce document donne aussi les avantages et désavantages de chaque système d'entreposage et énumère une série de facteurs qui doivent être considérés dans le choix et le dimensionnement d'un système d'entreposage. Les principaux facteurs à considérer sont la topographie, la hauteur de la nappe d'eau, la profondeur du roc, la teneur en argile du sol, la proximité des cours d'eau et les systèmes de drainage, le nombre d'animaux, le système de collection à l'intérieur du bâtiment d'élevage, la main-d'oeuvre requise et le mode de gestion des eaux de laiterie, des jus d'ensilage, etc. (Anonyme, 1994). L'aménagement des structures d'entreposage pour les effluents d'élevage doit être conforme aux réglementations municipales et provinciales. Il est donc très important que le producteur consulte l'agronome ou l'ingénieur rural de sa région afin de déterminer les besoins d'entreposage sur son exploitation en fonction des exigences agronomiques et environnementales.

Le fumier peut être entreposé à l'état solide, semi-solide ou liquide.

## Fumier solide

Le fumier solide peut être mis en tas sur une dalle de béton ou une plate-forme en béton. La plate-forme est une dalle de béton équipée d'un mur en béton ou d'un mur en sol pour empêcher les écoulements provenant du tas de s'échapper dans l'environnement et empêcher les eaux de pluie provenant des aires adjacentes d'être contaminées par le fumier. Le tableau 8 donne les coûts de construction en fonction du volume utile (Anonyme, 1996). L'utilisation d'un purot avec plate-forme égouttante facilite la reprise des fumiers.

Pour réduire la contamination des eaux pluviales, une toiture peut être installée au-dessus de la dalle de béton ou plate-forme. Mais l'addition d'une toiture doublera les coûts de construction. Lord et al. (1993) ont déterminé que le coût d'une toiture sur une fosse à fumier rectangulaire variait entre 35 et 47 \$ du m<sup>2</sup>. Le coût d'une toiture sur une plate-forme sera supérieur car elle nécessite une structure à poteaux. Pour compenser le coût additionnel de la toiture par la réduction du volume d'entreposage et des frais annuels d'épandage, il faut que la distance de transport excède 3 km. Une étude économique est nécessaire pour déterminer l'importance des économies à réaliser avec l'ajout d'une toiture.

## 4.2 Fumier semi-solide

Du fumier semi-solide comme celui évacué par gravité peut être entreposé dans une citerne en béton ou fosse en terre. Le fumier semi-solide doit être dilué avec les effluents de laiterie, les eaux de ruissellement de la cours d'exercice et le jus d'ensilage afin de permettre l'utilisation d'une pompe pour vidanger la citerne ou la fosse. Sur certaines fermes, le fumier semi-solide n'est pas dilué, la citerne ou fosse devra donc être équipée d'une rampe d'accès. La fraction liquide est pompée en premier et la fraction solide est évacuée avec un tracteur équipé d'un chargeur frontal. Chagnon (1988) fait le point sur les différents systèmes d'entreposage pour le fumier semi-solide.

**Tableau 8. Coût des structures d'entreposage (\$/m<sup>3</sup>) pour le fumier solide**

Volume utile m <sup>3</sup>	Évacuation souterraine		Montés de nettoyeur		
	Plate-forme à fumier		Plate-forme à fumier		Salle de béton
	Tout béton	Mur en sol	Tout béton	Mur en sol	
500	70	62	72	59	37
1 000	51	57	48	40	27
1 500	41	40	36	32	22
2 000	37	35	31	28	19

### 4.3 Fumier liquide

Le fumier liquide est entreposé dans une citerne en béton ou une fosse creusée à même le sol lorsque le type de sol le permet. Habituellement, les autres types d'effluents sont entreposés avec le fumier liquide afin de le diluer d'avantage et de faciliter sa reprise. Le tableau 9 donne les coûts de construction en fonction du volume utile (Anonyme, 1996).

**Tableau 9. Coût des structures d'entreposage (\$/m<sup>3</sup>) pour le lisier**

Volume (m <sup>3</sup> )	Réservoir en béton	Réservoir en sol
500	51	19
1 000	35	15
1 500	30	13
2 000	28	11
2 500	26	10
3 000	25	10
4 000	23	9
5 000	21	8

Les structures d'entreposage pour fumier liquide peuvent être couvertes afin de réduire le volume d'entreposage et d'épandage ainsi que les odeurs. Une étude technico-économique réalisée par Lord *et al.* (1993) a permis d'estimer les coûts de construction pour les différents types de toitures potentielles pour les structures d'entreposage du lisier. Le tableau 10 donne les coûts de construction et la longévité des différents types de toiture. Les toitures les plus économiques sont les matelas flottants et les structures en bois traité recouvertes de tôle galvanisée.

## ÉPANDAGE

Cette section est très largement inspirée de la conférence sur les équipements d'épandage des fumiers et des lisiers présentée par Laguë *et al.* (1992) à l'occasion du Colloque sur la gestion des fumiers organisé par le Conseil des productions végétales du Québec. Les mises à jour nécessaires ont été apportées en ciblant de façon plus particulière la problématique posée par l'épandage des fumiers et lisiers de bovins laitiers.

Nous débutons ainsi par une présentation des principaux critères de performance des équipements d'épandage en fonction des types de sols et de cultures et des périodes de l'année où les applications sont effectuées. Nous abordons également les critères par lesquels l'efficacité de ces équipements peut être déterminée : contrôle des doses d'application, conservation de la valeur fertilisante, contrôle des odeurs et

**Tableau 10. Coût et longévité des différents types de toitures pour les réservoirs à lisier**

Type de structure	Coût de construction (\$/m <sup>2</sup> )	Longévité (ans)
<b>Bois traité recouvert de tôle galvanisée</b>		
Réservoir circulaire	46,00 à 65,00	15 - 20
Réservoir rectangulaire	35,00 à 47,00	15 - 20
<b>Acier galvanisé recouvert de toile</b>		
	54,00 à 70,00	~ 15
<b>Aluminium recouvert de toile</b>		
	104,00 à 135,00	15 - 20
<b>Plastique recouvert de toile</b>		
	55,00 à 150,00	20 et +
<b>Matelas flottant</b>		
	25,00 à 30,00	~ 20
<b>Toiture gonflable</b>		
	10,00 à 15,00	~ 20
<b>Béton armé</b>		
	110,00 à 130,00	20 - 25

Source : Lord *et al.*, 1993

risques de compactage du sol. Une présentation des divers équipements actuellement utilisés ou en développement pour l'épandage des fumiers et lisiers sur les sols agricoles vient compléter cet exposé.

### Critères de performance

Les équipements utilisés pour procéder à l'application des fumiers et des lisiers de bovins laitiers sur les sols agricoles doivent présenter certaines caractéristiques de fonctionnement précises si on désire optimiser le potentiel fertilisant de ces produits tout en minimisant les risques de contamination de l'eau, de l'air et du sol. Ces caractéristiques dépendent principalement des types de cultures et de sols sur lesquels les applications sont effectuées, des périodes de l'année où on y procède et de la disponibilité des éléments fertilisants contenus dans les fumiers et lisiers. Elles permettent également de définir un certain nombre de paramètres permettant d'évaluer l'efficacité des équipements d'épandage : contrôle des doses d'application, conservation de la valeur fertilisante, contrôle des odeurs et minimisation des risques de compactage excessif du sol lors des applications.

### Critères agronomiques

Il est reconnu qu'à peu près tous les sols cultivés ont avantage à recevoir périodiquement des doses d'engrais organiques, comme les fumiers et lisiers de bovins laitiers (Couture *et al.*, 1992; Patni, 1991). Les doses

ainsi que les fréquences d'application dépendent notamment des facteurs suivants :

1. le type de sol ;
2. le type de culture sur lesquels sont effectués les épandages ;
3. la période de l'année où sont effectuées ces épandages ;
4. la disponibilité des éléments fertilisants contenus dans le fumier ou le lisier.

### **Type de sol**

Les caractéristiques du sol qui peuvent influencer les applications de fumier ou de lisier de bovins laitiers incluent la topographie, la texture (type, stratification), la structure du sol, son contenu en éléments fertilisants ainsi que certaines caractéristiques hydriques (position de la nappe phréatique, teneur en eau, perméabilité) (Côté, 1992 ; Dubé et Mercier, 1980). Les deux exemples qui suivent permettent d'illustrer l'importance du facteur sol au chapitre de l'épandage des fumiers et des lisiers.

En premier lieu, on constate que, de façon générale, les sols de texture fine (argileux) peuvent accepter des doses plus importantes que les sols plus grossiers (sablonneux), principalement à cause de la forte capacité d'adsorption des argiles. De même, les effets agronomiques résiduels d'applications de fumier ou de lisiers se prolongent sur une plus longue période (jusqu'à 5 ans) dans les sols argileux que dans les sols sablonneux (1 ou 2 ans).

La topographie du terrain où sont effectuées les applications de fumier ou de lisier est également importante. À moins que le fumier ou le lisier ne soit rapidement enfoui ou recouvert de sol, il convient d'en réduire les doses d'application dès que la pente du terrain dépasse 5 %, particulièrement dans les sols lourds. Une telle pratique contribuera à réduire les risques de contamination liés à l'entraînement des solides et des éléments solubles contenus dans le fumier ou le lisier par les eaux de ruissellement.

Ces deux considérations illustrent bien comment les caractéristiques du sol peuvent avoir un effet sur la sélection et l'utilisation des équipements destinés à l'application des fumiers et lisiers, et ce en termes de volumes à appliquer, d'intervalles entre les applications, de modes d'application au sol ainsi que d'impacts négatifs possibles sur le sol (compactage).

### **Type de culture**

Les applications de fumier ou de lisier doivent aussi tenir compte des cultures pour lesquelles elles sont destinées (Côté, 1992). Ainsi les doses à épandre

dépendent des besoins en éléments fertilisants des cultures, de même que du contenu en éléments nutritifs du sol et de celui du fumier ou du lisier utilisé ainsi que de leur disponibilité (voir 5.1.1.4). Certaines cultures peuvent bénéficier d'applications fractionnées plutôt qu'uniques. La nature des plantes cultivées ainsi que leur régie de culture ont également une influence sur les modes d'applications : plantes annuelles vs pluri-annuelles, culture en rangées vs en plein champ, etc.

Les caractéristiques des cultures liées à l'application des fumiers et lisiers se traduisent également par des contraintes sur les équipements d'épandage, particulièrement au niveau du contrôle des doses, des modes d'application et des types d'équipements.

### **Période de l'année**

Afin d'exploiter leurs avantages au maximum et aussi de réduire les risques de contamination des eaux de surface et souterraines au minimum, les opérations d'application au champ de fumier et de lisier doivent être effectuées à des périodes précises. Ces périodes dépendent du type de sol où sont effectuées les applications, du climat, du type de culture et de sa régie (Bertrand, 1991; Côté, 1992).

Jusqu'à il y a quelques années, on recommandait d'appliquer et d'enfouir le fumier ou le lisier à l'automne dans le cas des cultures annuelles. Cette pratique est maintenant fortement remise en question pour certains sols et certaines régions, principalement à cause des risques de pollution par les nitrates qui lui sont associés (Barnett, 1991; Bertrand, 1991). On tend de plus en plus à promouvoir des applications de fumier ou de lisier, fractionnées au besoin, et qui tiennent compte des besoins des plantes (Côté, 1992). Pour les cultures annuelles, cela signifie des épandages en pré-semis ou tôt durant la saison de croissance alors que les plantes peuvent utiliser l'azote disponible dans le fumier ou le lisier (Barnett, 1991).

On peut également procéder avantageusement à des épandages de fumier ou de lisier sur des prairies après la coupe tout en prenant soin de conserver un intervalle de trois semaines entre la dernière application et la coupe suivante (Dubé et Mercier, 1980). Si on utilise du fumier solide, il faudra l'épandre au moyen d'un épandeur assurant une dispersion et un déchiquetage adéquats afin d'éviter que des amas de fumier ne soient repris par les équipements de récolte du fourrage lors d'une récolte subséquente. Les prairies bien drainées situées hors des plaines inondables et ne présentant pas de pentes trop fortes peuvent également bénéficier d'applications automnales (Bertrand, 1991).

La période d'application constitue donc un autre facteur ayant une influence majeure sur la sélection et l'utilisation des équipements d'épandage au niveau du

contrôle des doses, des techniques d'application au sol et de la configuration des équipements.

## Disponibilité des éléments fertilisants

Les éléments fertilisants contenus dans les fumiers et lisiers ne sont pas toujours immédiatement et totalement disponibles pour la croissance des plantes (Warmann, 1991). Diverses études ont permis d'établir des coefficients d'utilisation (proportion des éléments nutritifs contenus dans le fumier ou le lisier effectivement utilisés par les plantes) pour les principaux éléments fertilisants: 50 à 70 % pour l'azote, 60 à 80 % pour le phosphore et 90 à 100 % pour le potassium (Dubé, 1983; Mercier, 1980). La vitesse de minéralisation de ces éléments dans le sol peut varier énormément en fonction du type de sol et du climat notamment (Côté, 1992). Dans le cas de l'azote, on note de plus qu'une certaine quantité de la fraction ammoniacale est perdue par volatilisation dans l'atmosphère (Desvignes, 1997 ; Sutton *et al.* 1990). Le mode d'application des fumiers ou lisiers utilisé compte parmi les plus importants facteurs qui déterminent l'ampleur et la rapidité de ces pertes.

Le contenu et la disponibilité des éléments fertilisants contenus dans les fumiers et lisiers interviennent au niveau des systèmes de contrôle des doses d'épandage ainsi que des techniques d'application au sol.

## Critères techniques

Les critères agronomiques à considérer lors de l'application des fumiers et lisiers présentés dans la section précédente se traduisent donc par un certain nombre de caractéristiques techniques essentielles pour les équipements destinés à procéder aux opérations d'épandage. Les plus importantes se situent au niveau du contrôle de la dose d'application, de la conservation de la valeur fertilisante, du contrôle des odeurs et de la prévention du compactage du sol.

## Contrôle des doses

Une valorisation agronomique efficace des fumiers et des lisiers de même que la minimisation des risques de contamination des eaux requièrent un contrôle précis de la dose appliquée au sol. Les équipements utilisés doivent donc posséder des caractéristiques leur permettant d'atteindre des degrés d'uniformité élevés, et ce tant transversalement que longitudinalement par rapport à leurs déplacements dans les champs. Laguë *et al.* (1992) ont présenté les méthodes d'évaluation de l'uniformité d'application lors des épandages de fumier ou de lisier de même que les principaux paramètres opérationnels des équipements qui ont un effet sur cette importante caractéristique fonctionnelle.

Il est important de rappeler que les doses de lisier appliquées au sol lors d'un épandage ne devraient

pas dépasser la capacité d'absorption du sol sinon il y a risque de pertes par ruissellement ou évaporation. Pour la majorité des sols québécois, cette dose limite se situe entre 20 et 40 mètres cubes à l'hectare (Les Consultants BPR, 1990).

## Conservation de la valeur fertilisante

La conservation de la valeur fertilisante des fumiers et des lisiers lors de leur application par les divers équipements d'épandage nécessite premièrement que le produit soit appliqué et demeure le plus près possible de la cible visée et ensuite que les éléments fertilisants contenus dans le fumier ou le lisier soient également maintenus près de cette cible. Les pertes d'éléments fertilisants peuvent se manifester par volatilisation, par lessivage ou par ruissellement (Sutton *et al.*, 1990).

Dans le cas du fumier solide, il faudra que les équipements utilisés pour procéder à l'épandage assurent un émiettement adéquat du fumier afin d'accélérer son processus de décomposition. Cela est particulièrement important lorsque le fumier solide est déposé à la surface du sol sans être incorporé (exemple épandage sur prairies).

On limitera les doses appliquées sur des terrains en pente, tant pour les fumiers solides que les lisiers, afin d'éviter que le produit ne soit entraîné par les eaux de ruissellement. Si le fumier ou le lisier est immédiatement incorporé ou enfoui dans le sol, cette diminution des doses pourra être moins importante.

Il faut enfin que les techniques d'application préviennent les pertes d'éléments fertilisants lors de l'épandage. Dans le cas des fumiers et des lisiers animaux, le principal phénomène de ce genre est la volatilisation de l'azote ammoniacal qu'ils contiennent. Cette volatilisation de l'azote peut être contrôlée en évitant de pulvériser trop finement le fumier ou le lisier lors de l'épandage, en l'appliquant près de la surface du sol ou en l'incorporant dans le sol pendant ou peu de temps après son application. Il faut également souligner que le lisier trop finement pulvérisé dans l'air peut être transporté par le vent sur des distances parfois considérables, entraînant avec lui dans certains cas divers agents pathogènes pour la santé humaine ou animale.

Sur les sols nus, l'enfouissement complet du lisier (par labour ou par injection) sous la surface du sol permet de réduire par 90 % et plus les pertes d'azote ammoniacal par volatilisation (Huijsmans et coll., 1992 ; Sutton et coll., 1990). Les mêmes auteurs rapportent que l'incorporation du lisier par une herse à dents est moins efficace à ce chapitre puisque les pertes d'azote ne sont réduites que de 40 à 70 %. Sur les prairies, l'utilisation d'injecteurs appropriés pour enfouir le lisier sous le couvert végétal permet de réduire les pertes d'azote par plus de 80 % (Huijsmans et coll., 1992). Une autre façon de réduire la volatilisation de l'azote

ammoniacal contenu dans le lisier épandu à la surface de prairies et en terrain plat est de faire suivre l'application par une irrigation de 5 mm ou plus. Selon les conditions, cette technique peut réduire les pertes d'azote par volatilisation de 50 à 90 % (Huijsmans et coll., 1992).

Les pertes d'éléments fertilisants par lessivage se manifestent lorsque les taux d'application excèdent les besoins des cultures ou encore lorsque les applications sont effectuées à des périodes où les plantes ne peuvent pas en utiliser la totalité (Sutton et coll., 1990). Des sols possédant une texture légère ou un bon taux d'infiltration, de fortes précipitations suivant les applications de fumier ou de lisier sont autant de facteurs qui peuvent favoriser les pertes par lessivage.

### **Contrôle des odeurs**

L'émission d'odeurs désagréables lors de l'épandage des fumiers ou des lisiers est notamment liée au phénomène de volatilisation de l'azote contenu dans ces rejets animaux. Les diverses techniques mentionnées au paragraphe précédent et permettant de réduire l'importance des phénomènes de volatilisation auront donc généralement un effet bénéfique sur le contrôle des odeurs. Il convient de mentionner que la majorité des plaintes pour nuisance concernant les odeurs du fumier ou du lisier sont directement reliées aux activités d'épandage.

### **Prévention de la compaction du sol**

Traditionnellement, l'épandage des fumiers et des lisiers sur les sols agricoles nécessite la circulation d'équipements lourds dans les champs tels les camions d'épandage ou les épandeurs remorqués par des tracteurs. La capacité des réservoirs de ces équipements pouvant atteindre 20 mètres cubes, cela se traduit par des charges verticales appliquées sur le sol via le châssis porteur de ces équipements pouvant dépasser 20 tonnes (Les Consultants BPR, 1990).

Plusieurs travaux de recherche ont mis en relief les nombreux impacts négatifs liés à la circulation d'équipements lourds sur les sols cultivés : augmentation de la masse volumique du sol dans et sous la couche labourée, réduction de la porosité et de la conductivité hydraulique du sol, travail du sol subséquent plus difficile, pertes de rendements, etc. (Håkansson et coll., 1988; Gameda et coll., 1985; McKyes, 1985). La circulation des équipements d'épandage sur des sols particulièrement sensibles au compactage, tels les sols à texture fine (argileux), ou dans des conditions propices au compactage (sols humides) peut avoir des répercussions négatives très importantes.

Une étude conduite en Suède (Brundin et Rodhe, 1992) a démontré que les coûts associés au compactage du sol par les équipements d'épandage (pertes de rendement, puissance additionnelle requise

pour procéder au travail du sol, etc.) peuvent excéder les bénéfices liés au potentiel fertilisant des fumiers et des lisiers lorsqu'on procède aux applications dans des conditions qui favorisent le compactage.

Il est possible de procéder à certains ajustements ou modifications sur les équipements d'épandage traditionnels (épandeurs et camions) afin de réduire les risques de compactage excessif du sol. Mentionnons entre autres la réduction de la pression de gonflage des pneumatiques, l'utilisation de pneus à carcasse radiale, l'augmentation du nombre d'essieux porteurs ou l'utilisation de chenilles à la place des pneus qui sont des méthodes permettant de réduire la valeur des pressions appliquées au sol (Brundin et Rodhe, 1992; Laguë *et al.*, 1992). L'utilisation de ces équipements lorsque le sol est sec et moins sujet au compactage est une autre mesure qui peut contribuer à réduire les impacts négatifs de l'épandage des fumiers et lisiers sur les sols. Brundin et Rodhe (1992) suggèrent également d'accroître la largeur d'épandage afin de soumettre une moins grande surface de sol à la circulation des épandeurs.

D'autres équipements d'application, tels les rampes d'épandage (automotrices ou montées sur des tracteurs) ou les canons asperseurs, qui sont alimentés en lisier par des conduites flexibles à partir de réservoirs éloignés présentent de nombreux avantages au chapitre du compactage du sol. L'absence de réservoirs de grande capacité circulant dans les champs permet de réduire au minimum les charges appliquées sur les sols réduisant du même coup considérablement les risques de compactage excessif de ceux-ci. De tels équipements sont particulièrement indiqués lorsque les volumes de lisier à appliquer sont importants (Brundin et Rodhe, 1992).

### **Critères géographiques et physiques**

La province de Québec est une région immense qui comprend des zones se différenciant par leur climat, leur topographie et leurs sols. Les modes et temps optimum d'application des fumiers varient aussi avec le climat, la topographie et les sols.

L'application des fumiers aux champs, dans une optique de la gestion optimale des fumiers, exige la considération de deux éléments importants:

- 1) l'application des fumiers tôt à l'automne peut engendrer des taux élevés de nitrate dans les eaux de drainage. Tôt à l'automne, les sols sont encore chauds et asséchés. Les cultures sont récoltées et n'absorbent plus d'éléments nutritifs du sol. Les microorganismes du sol sont encore actifs à ce moment et ceux-ci décomposent les fumiers pour produire du nitrate. Les cultures étant récoltées, le nitrate n'est pas absorbé par les plantes et peut se lessiver par les eaux de drainage. D'ailleurs, l'ap-

plication de lisiers tôt à l'automne fait que plus d'éléments nutritifs sont perdus, par rapport à l'application des lisiers tard à l'automne, et ceci pour les argiles lourdes de la région de Montréal (Hamel 1996; Gangbazo 1995).

- 2) l'application de fumiers tôt à l'automne engendre des problèmes d'odeur parce que les sols sont encore chauds et leur taux d'évaporation est encore élevé. Par contre, l'application de fumiers plus tard, par temps plus frais, réduit l'émanation d'odeur (Cunnick 1995).
- 3) les sols argileux possèdent une capacité élevée d'adsorption de l'ammoniac et la forme minérale d'azote retrouvée dans les fumiers est l'ammoniac. De ce fait, un sol lourd en argile peut effectivement absorber les éléments minéraux du fumier lorsque celui-ci est appliqué à l'automne en dose convenable. Le taux de recouvrement des éléments nutritifs du lisier est aussi élevé pour des applications tard à l'automne que tôt au printemps pour les argiles lourdes de la région de Montréal (Hamel, C. 1996)
- 4) les sols argileux sont plus sensibles au tassement au printemps qu'à l'automne, parce que les sols sont relativement plus secs à ce moment. De plus, l'humidité idéale pour le tassement des sols argileux est celle qui se présente juste après le drainage par système souterrain des sols argileux, le printemps. De plus, au printemps, le taux élevé de radiation assèche le dessus du sol alors que le sous-sol est encore humide. La machinerie y circule alors sans problème sans se rendre compte qu'on tasse le sol. À l'automne, les sols sont encore en voie de s'humecter, surtout à la surface et moins en profondeur. Donc, souvent la machinerie n'y circule plus parce que la surface du sol est trop humide mais le sous-sol est encore suffisamment sec pour ne pas trop se tasser.

Par conséquent, où on retrouve des argiles lourdes en grandes surfaces dans les régions du Québec relativement chaude, il est probablement préférable d'épandre les lisiers en dose raisonnable tard à l'automne, soit lorsque le sol a atteint une température sous 10°C. Mais, avant d'épandre l'automne et pour éviter tout problème de contamination par lessivage d'automne, il est préférable de consulter un expert en fertilisation des sols.

## Équipements d'épandage

De nombreux équipements et systèmes ont été et sont continuellement développés afin de rencontrer les exigences et les contraintes liées à la valorisation agricole des fumiers et lisiers et qui ont été discutées dans les deux premières parties de cette présentation. Dans cette dernière partie, nous faisons le point sur l'état de la situation au chapitre des équipements et

systèmes d'épandage des fumiers et des lisiers de bovins.

### Fumier solide

Couture *et al.* (1992) rapportaient qu'environ 75 % des quelques 17 millions de mètres cubes de fumier et de lisier produits annuellement par les troupeaux de bovins laitiers québécois en 1991 étaient gérés sous forme solide. Le fumier solide de bovins laitiers possède typiquement une teneur en eau inférieure à 85 % rendue possible grâce à l'ajout de litière aux déjections brutes. Ce type de fumier est généralement entreposé en amas sur des plate-formes étanches entourées de murets qui préviennent les exfiltrations de la partie liquide du fumier.

On reprend le fumier solide à l'aide de chargeurs montés sur des tracteurs agricoles ou de type industriel (épandage à forfait). Pour l'épandage, on fait appel à des épandeurs à réservoir ouvert qui peuvent être soit montés sur des châssis porteurs de type semi-remorqué pour opération par des tracteurs de ferme ou encore montés sur des châssis de camion.

Les épandeurs à fumier solide comportent deux principaux systèmes fonctionnels. Le premier de ces systèmes, le système d'alimentation, achemine le fumier vers les organes de déchiquetage et de dispersion. On utilise pour ce faire des convoyeurs à chaîne ou à vis installés dans le fond des épandeurs. Ces convoyeurs sont généralement actionnés mécaniquement à partir de la prise de force du tracteur. Un nombre croissant de modèles sont maintenant dotés d'une transmission permettant d'obtenir différents rapports de vitesse entre le convoyeur et la prise de force. Sur certains épandeurs, l'entraînement du système d'alimentation est hydraulique. Depuis quelques années, on remarque l'introduction d'épandeurs munis d'un panneau mobile actionné hydrauliquement en guise de système d'alimentation. Le déplacement de ce panneau pousse le fumier vers les organes de déchiquetage et de dispersion du fumier de l'épandeur.

Ces derniers organes constituent le deuxième système fonctionnel des épandeurs à fumier solide. Ils sont généralement constitués d'un ensemble de tambours rotatifs, horizontaux ou verticaux, disposés à l'arrière (en général) ou sur un côté de l'épandeur. Ces tambours sont dotés, en périphérie, de divers outils servant au déchiquetage et à la projection du fumier : vis sans fin (lisse, crénelée, etc.), dents (droite, recourbée), etc. Certains épandeurs à fumier solide dotés d'un système d'alimentation par convoyeur à vis sont munis d'un déchiqueteur centrifuge à turbine monté à l'avant ou à l'arrière et projetant le fumier d'un côté ou de l'autre de la machine (épandeurs à décharge latérale).

La capacité (volume de chargement mesuré conformément à la norme S324.1 de l'ASAE (ASAE, 1995))

des épandeurs à fumier solide disponibles sur le marché varie entre 5 et 15 mètres cubes et ils requièrent environ 5 kW de puissance par mètre cube de capacité pour leur opération. La largeur efficace d'épandage de ces machines, calculée en fonction d'un recoupement transversal assurant une bonne uniformité d'application du fumier, varie généralement entre 2,5 et 3 mètres. Les coûts des épandeurs à fumier solide conventionnels varient entre 1 000 et 1 500 \$ par mètre cube de capacité. Les épandeurs à fumier solide à décharge latérale ont une largeur d'épandage plus grande, de 10 à 20 mètres, mais exigent légèrement plus de puissance, 7 à 10 kW par mètre cube de capacité, que les épandeurs conventionnels. Leur coût est également un peu plus élevé. Il est possible d'appliquer des doses de fumier variant entre 25 et 60 tonnes métriques à l'hectare à l'aide de ces divers équipements d'épandage des fumiers solides.

Un projet d'expérimentation conduit en 1990 sur divers épandeurs à fumier solide (Société d'agriculture de Beauce, 1990) ainsi qu'une étude du MAPAQ (Denis, 1991) ont permis de dégager les conclusions suivantes relativement aux performances de ces machines :

1. la vitesse de rotation des tambours déchiqueteurs devrait se situer aux environs de 200 tours par minute, il serait également intéressant de disposer de mécanismes permettant à l'opérateur de varier la vitesse de rotation de ces tambours en fonction de divers facteurs (texture et consistance du fumier, largeur d'épandage désirée, degré d'émiettement recherché, etc.);
2. l'ajout de tambours déchiqueteurs supplémentaires ou l'ajout de pales plus nombreuses et/ou plus agressives sur ceux-ci peut permettre d'accroître le déchiquetage et d'améliorer la dispersion du fumier;
3. la vitesse des convoyeurs d'alimentation de la plupart des épandeurs est généralement trop élevée pour permettre l'application de doses réduites de fumier à des vitesses d'avancement acceptables. Carlson (1991) a développé un système permettant de contrôler automatiquement la vitesse des convoyeurs d'alimentation, ce qui permet d'améliorer l'uniformité longitudinale d'épandage;
4. la hauteur des parois latérales des épandeurs à fumier conventionnels est généralement trop faible et ne permet pas d'obtenir un chargement uniforme de la machine (i.e. profil transversal constant de fumier dans l'épandeur de l'avant à l'arrière) ce qui se traduit par une baisse de l'uniformité d'application lors des épandages et;
5. l'ajout d'un panier sous les tambours déchiqueteurs permet d'éviter que des amas de fumier non-émiettés glissent sous ceux-ci et tombent sur le sol.

Il n'existe actuellement aucun équipement commercial permettant de procéder à l'épandage et à l'enfouisse-

ment de fumier solide en une seule opération. Il est donc nécessaire de faire appel à un équipement de travail du sol primaire (charrue, herse chisel, pulvérisateur à disques lourd, etc.) ou secondaire (vibroculteur, pulvérisateur à disques, rotoculteur, etc.) pour enfouir, plus ou moins complètement, le fumier solide dans le sol lorsque désiré.

Glancey et Adams (1996) ont mis au point un prototype fonctionnel d'équipement permettant l'épandage en bandes du fumier solide. Jumelé avec l'emploi d'un équipement d'enfouissement approprié (ex. sarcloir), une telle machine pourrait permettre une meilleure valorisation du fumier solide appliqué en post-levée dans des cultures sarclées telles le maïs. Un prototype expérimental d'équipement permettant l'application et l'enfouissement simultanés du fumier solide dans le sol a été développé au Japon (Ohshita et *al.*, 1996).

On peut estimer que les coûts moyens associés à la reprise et à l'épandage des fumiers solides de bovins laitiers au Québec sont de l'ordre de deux à trois dollars par mètre cube de fumier épandu. Ce montant n'inclut cependant pas les coûts liés à l'enfouissement du fumier dans le sol.

### **Fumier semi-liquide et liquide (lisier)**

Les lisiers (teneur en eau supérieure à 90 %) et les fumiers semi-liquides, ou pâteux, peuvent être appliqués sur les sols au moyen d'une variété d'épandeurs. Il existe également des systèmes en continu permettant l'application ininterrompue de lisier au champ. Ces produits sont entreposés dans des réservoirs étanches et sont repris par pompage après agitation et homogénéisation adéquates du contenu des réservoirs.

### ***Épandeurs à fumier solide adaptés***

Les épandeurs à fumier solide sont surtout utilisés pour épandre les lisiers pâteux dont la teneur en eau se situe typiquement au-dessous de 90 %. Dans cette catégorie on retrouve d'abord les épandeurs à fumier solide conventionnels auxquels on ajoute divers périphériques tels un panneau basculant devant les tambours déchiqueteurs et un panier sous ceux-ci afin de limiter les écoulements non contrôlés de fumier ou de lisier durant le transport ainsi que l'épandage. L'ajout de ces diverses options sur les épandeurs à fumier solide conventionnels peut faire grimper leur coût d'achat de 1 000 à 2 000 \$. Les épandeurs à fumier solide à décharge latérale peuvent également être utilisés pour procéder à des applications de lisier de ce type.

Les épandeurs à fléaux, ou à chaînes, font aussi partie de cette catégorie. Ces derniers se composent d'un réservoir hémicylindrique ouvert sur le dessus. Un arbre longitudinal supportant une série de fléaux for-

més de chaînes terminés par de petits marteaux est monté sur la partie supérieure du réservoir de l'épandeur. Lors de l'épandage, les fléaux entraînés par la rotation de l'arbre d'entraînement (200 à 300 tours par minute) pénètrent dans la masse de fumier, le déchiquètent et l'expulsent latéralement hors de l'épandeur. Un capot ajustable sur le dessus de l'épandeur permet de contrôler la dispersion du fumier. Ces machines, bien que pouvant épandre également du fumier solide ou du lisier plus liquide, sont particulièrement bien adaptées aux lisiers pâteux. Leur capacité varie entre 5 et 10 mètres cubes, leur largeur d'épandage peut atteindre 10 mètres et ils nécessitent entre 7 et 10 kW de puissance par mètre cube de capacité. Leur coût d'achat peut osciller entre 1 500 et 2 000 \$ par mètre cube de capacité.

Tout comme dans le cas du fumier solide, aucun de ces épandeurs ne peut procéder à l'enfouissement simultané du lisier dans le sol. Il faut donc procéder comme avec le fumier solide lorsqu'un tel enfouissement est désiré.

Le concept d'épandeur en bandes développé par Glancey et Adams (1996) pourrait probablement être utilisé pour procéder à des applications de lisier de bovins, particulièrement dans les situations où le lisier contient beaucoup de fibres.

### ***Épandeurs à réservoir fermé***

On distingue plusieurs catégories d'épandeurs à réservoir fermé caractérisées par leurs modes respectifs de chargement et de vidange. La caractéristique commune à tous ces équipements est la présence d'un réservoir fermé dont la capacité peut varier entre 5 et 30 mètres cubes. Les épandeurs à réservoir fermé peuvent être opérés par des tracteurs agricoles ou montés sur des châssis de camion.

Une première catégorie d'épandeurs de ce type regroupe toutes les machines qui sont chargées par le dessus par un système de chargement indépendant (pompe, vis sans fin) via une ou des ouvertures percées au sommet de leur réservoir. Une pompe à turbine actionnée mécaniquement ou hydrauliquement prélève le lisier à la base du réservoir et le dirige sous pression vers les divers mécanismes d'épandage ou d'enfouissement montés sur la machine. La capacité de ces machines varie de 5 à 20 mètres cubes et elles requièrent entre 6 et 9 kW de puissance par mètre cube de capacité. Un montant variant de 800 à 1 500 \$ par mètre cube de capacité doit être déboursé pour procéder à l'acquisition d'une machine de ce type.

Les épandeurs pneumatiques ou à vide constituent la deuxième catégorie d'épandeurs à réservoir fermé. Ils sont caractérisés par la présence d'un réservoir hermétique et d'une pompe pneumatique. Cette pompe maintient une pression négative à l'intérieur du réservoir lors de son remplissage, ce qui permet un char-

gement autonome. Lors de l'épandage, la pompe pneumatique est utilisée pour pressuriser le réservoir afin d'en expulser le lisier. Ces épandeurs sont disponibles dans des capacités variant de 5 à près de 30 mètres cubes et nécessitent une puissance variant entre 6 et 10 kW par mètre cube de capacité. Ils sont plus dispendieux que les épandeurs de la première catégorie à cause de leur réservoir étanche plus résistant et de leur pompe pneumatique.

Durant les années 1980, un prototype d'épandeur spécialement adapté aux caractéristiques du lisier de bovins a été développé au Québec (Laguë, 1991). Les principales caractéristiques de cet épandeur étaient l'absence de pompe de vidange du réservoir, celle-ci étant assurée par le basculement du réservoir. Une rampe d'épandage ou des injecteurs, spécialement conçus pour pouvoir être opérés à faible profondeur, pouvaient être utilisés pour procéder à l'application du lisier dans les champs.

La plupart des épandeurs à lisier ont été conçus d'abord et avant tout pour le lisier de porcs dont la teneur en eau est généralement plus élevée que celle du lisier de bovins et qui ne contient pas de particules grossières (ex. débris de litière) comme on en retrouve très souvent dans le lisier de bovins. On doit donc s'assurer d'un broyage adéquat de ces particules afin de ne pas entraver le bon fonctionnement des systèmes de dosage, de distribution et d'application au sol du lisier des épandeurs.

### ***Systèmes d'application du lisier au sol***

Les épandeurs à aéroaspersion utilisés au Québec peuvent appliquer le lisier à des débits variant de 3 000 à 6 000 litres à la minute résultant en des taux d'application compris entre 15 et 60 mètres cubes à l'hectare à des vitesses d'opération normales de 4 à 8 km/h. Une étude conduite sur les épandeurs à lisier utilisés au Québec (Dutil et Dutil, 1992; Les Consultants BPR, 1990) a démontré que la plupart des machines munies de dispositifs d'aéroaspersion présentaient une bonne uniformité longitudinale d'épandage. Il n'en est cependant pas de même en ce qui concerne l'uniformité transversale; les doses appliquées au centre du profil d'épandage pouvant être de trois à quatre fois plus importantes que sur les côtés du profil.

Les rampes d'épandage en surface (rampe à pendillards) constituent la deuxième catégorie de systèmes d'application au sol pour les épandeurs à réservoir fermé. Ces rampes, généralement placées à l'arrière des épandeurs, sont disponibles dans des largeurs variant entre 3 et 12 mètres. Des orifices placés à intervalles réguliers le long de ces rampes permettent au lisier de s'écouler sur le sol. Il est possible d'utiliser ces rampes pour procéder à des applications en couverture totale en disposant de petits panneaux déflecteurs sous chacun des orifices de

sortie de façon à distribuer le lisier épandu sur la totalité de la largeur de la rampe. Un concept plus performant, la « fluidic diode », a été mis au point au Royaume-Uni permet d'uniformiser les débits de sortie des différents orifices des rampes d'épandage (Sneath, 1993). On peut enfin utiliser ces rampes pour des applications en bandes entre les rangs de cultures sarclées. De telles rampes d'épandage permettent d'améliorer l'uniformité transversale d'application par rapport à l'aéropersion tout en réduisant l'ampleur des problèmes de volatilisation de l'azote et d'odeurs.

On retrouve enfin tous les types de rampes d'enfouissement ou d'incorporation du lisier dans le sol. Cette catégorie regroupe en premier lieu tous les injecteurs permettant l'enfouissement complet du lisier sous la surface du sol. De telles rampes d'injection font appel à divers outils de travail du sol (étançons droits ou incurvés, coutres roulants, lames diverses, roues tasseuses, etc.) afin de procéder à l'ouverture de sillons dans lesquels le lisier est déposé et mélangé au sol et à leur fermeture. Des rampes d'injection pouvant opérer sur des sols nus sont disponibles depuis plusieurs années; certains manufacturiers européens proposent maintenant des systèmes permettant l'injection directe de lisier dans des prairies. Les dispositifs d'injection directe requièrent une puissance additionnelle importante, pouvant varier entre 5 et 15 kW par injecteur. Plusieurs facteurs, notamment le type d'injecteur, le type de sol, la vitesse d'opération et la profondeur d'injection peuvent contribuer à faire varier la puissance requise de façon très significative. À cause de ces besoins en puissance élevés, la largeur des rampes d'injection dépasse rarement 5 mètres.

Durant les dernières années, on a également assisté au développement, notamment au Québec, de toute une gamme de rampes d'incorporation du lisier. Ces rampes sont typiquement destinées aux applications en bandes en post-levée dans des cultures sarclées et font appel à divers outils légers (dents droites ou recourbées, disques concaves, etc.) pour recouvrir, plus ou moins complètement, de sol le lisier qui y est déposé. La largeur de travail de ces rampes peut varier de 3 à 5 mètres; leurs besoins de puissance supplémentaire sont cependant beaucoup moins élevés que pour les rampes d'injection. Mentionnons enfin le système d'enfouissement direct du lisier DGI (Direct Ground Injection) développé en Norvège et qui permet d'introduire directement le lisier dans le sol à des profondeurs de l'ordre de 5 à 10 cm au moyen de jets pulsés sans devoir recourir à des outils de travail du sol (Morken et Sakshaug, 1996). Il s'agit d'une technique potentiellement fort intéressante pour l'enfouissement du lisier autant sur des sols nus (cultures sarclées) que sur un couvert végétal (céréales, prairies).

Les épandeurs à lisier dotés de rampes d'épandage, d'injection ou d'incorporation du lisier ont des débits d'application réduits comparativement aux épandeurs

aéropulseurs à cause de leur largeur d'épandage réduite. Le débit des épandeurs dotés de telles rampes doit être diminué, par rapport aux valeurs utilisées en aéropersion, en fonction de la largeur d'épandage réduite de celles-ci.

La reprise et l'épandage au sol de lisier à l'aide d'épandeurs peuvent représenter des coûts unitaires variant entre deux et trois dollars par mètre cube. Dans le cas des épandeurs à réservoir fermé, ces coûts ne sont valables que pour les équipements utilisant des dispositifs d'aéropersion ou bien des rampes d'épandage ou d'incorporation du lisier. Les systèmes d'injection entraînent des déboursés supplémentaires. Harrigan (1996) a développé un modèle de prédiction de la capacité d'épandage pour différents modes de gestion faisant appel aux épandeurs en fonction du type d'épandeur, de la distance entre les sites d'entreposage et les sites d'épandage, etc.

### ***Systèmes d'épandage en continu***

La majorité des lisiers de même que certains types de fumier semi-liquide peuvent être pompés, avec plus ou moins de facilité, sur d'assez grandes distances à l'intérieur de conduites souples ou rigides dont le diamètre est typiquement compris entre 75 et 125 mm en autant que les particules grossières qu'ils contiennent ont été suffisamment broyées et que le lisier est bien homogénéisé. Pour cette raison, divers systèmes d'épandage en continu ont été développés pour ces types particuliers de fumiers. Ces systèmes comportent trois éléments principaux : un dispositif de pompage, un réseau de conduites et un équipement d'application du lisier au champ.

L'installation de pompage reprend le lisier contenu dans la structure de stockage (fosse d'entreposage ou réservoir mobile placé en bordure du champ) et le refoule sous pression dans la conduite d'alimentation. Le débit de ces installations de pompage peut varier considérablement en fonction du type d'installation, de la consistance du lisier, de la longueur du réseau de conduites en aval, des pertes de charge dans celles-ci, etc. Des débits maximum de l'ordre de 4 000 litres à la minute peuvent être fournis par les pompes utilisées à cette fin.

Un réseau de conduites sert à acheminer le lisier pompé vers le système d'application au champ. La première partie d'un tel réseau peut être formé d'un ensemble de sections de tuyaux rigides (du même type que ceux utilisés en irrigation) qui acheminent le lisier jusqu'en bordure du lieu d'épandage. À partir de ce point, une conduite flexible de type cordon ombilical ou encore embobinée sur un enrouleur peut assurer la livraison du lisier au système d'application. Les pertes de charge à l'intérieur de tels réseaux de conduites dépendent du débit, de la consistance du lisier, de la dénivellation entre le poste de pompage et le système d'application du lisier au champ, du type

et du diamètre des conduites ainsi que de la présence d'obstacles (raccords, coudes, soupapes, etc.) dans le réseau de conduites.

Le premier type de dispositif d'application du lisier utilisé avec les systèmes en continu est le canon asperseur. Il s'agit essentiellement d'un orifice où le lisier sous pression est pulvérisé et projeté au sol. Les canons asperseurs sont pourvus de mécanismes qui en assurent une oscillation continue et contrôlée permettant d'obtenir une largeur d'épandage bien précise. Ils peuvent être montés sur des châssis porteurs légers leur permettant d'être remorqués par les tuyaux souples d'enrouleurs ou bien être montés sur des tracteurs agricoles où ils sont alimentés en lisier par des conduites de type cordon ombilical. Les problèmes de volatilisation de l'azote ammoniacal, d'émission d'odeurs et de dérive du lisier pulvérisé par le vent se manifestent généralement avec encore plus d'acuité avec les canons asperseurs. Leur uniformité d'application est également plus faible que celle des épandeurs à aéroaspersion (Wright et Cross, 1996). Le gouvernement québécois a clairement fait part de son intention de prohiber l'utilisation de ce mode d'application du lisier dans un avenir rapproché.

Il est cependant possible d'utiliser des rampes d'épandage de grande portée à la place des canons asperseurs afin d'améliorer l'uniformité d'application du lisier et de réduire les pertes d'azote, les odeurs ainsi que la dérive. Plusieurs rampes d'épandage ayant une portée de l'ordre de 30 mètres ont été développées et utilisées au Québec au cours des dernières années (Lagué *et al.*, 1994). Il s'agit généralement de rampes auto-portantes ou encore supportées par des tracteurs agricoles et destinées à être opérées en conjonction avec des enrouleurs ou encore avec des tuyaux souples de type cordon ombilical.

Il est également possible d'utiliser des systèmes d'alimentation de type cordon ombilical avec des rampes d'injection ou d'incorporation opérées par des tracteurs. Les contraintes liées au déplacement des tuyaux souples de ce genre sur la surface du sol empêchent cependant souvent ces équipements d'être utilisés sur des cultures sarclées, quoique des systèmes permettant de le faire aient été récemment développés.

Les systèmes d'application du lisier en continu conviennent particulièrement bien aux entreprises devant valoriser de forts volumes de lisier puisque les investissements en équipements (pompe, conduites rigides ou souples, enrouleur, canons asperseurs ou rampes d'application) sont relativement élevés. L'utilisation de systèmes de ce genre permet de disposer du lisier pour un coût unitaire d'environ deux à trois dollars le mètre cube appliqué. Une étude comparative a permis de déterminer que l'utilisation d'une rampe d'épandage de grande portée alimentée en continu permettait d'obtenir une meilleure uniformité longitudinale

que dans le cas d'épandeurs également dotés de rampes d'épandage mais que les coûts associés au premier système étaient supérieurs d'environ 0,80 \$ par mètre cube épandu (F. Bernard, 1996).

Une étude (Lebeau et coll., 1992) conduite auprès de producteurs de porcs de différentes régions du Québec a permis de constater que l'épandage du lisier par aéroaspersion demeurait la méthode d'application la plus populaire, étant utilisée par 54 % de ces producteurs. Suivaient ensuite l'application à l'aide de systèmes d'irrigation (canons, rampes) favorisée par 24 % de ceux-ci et l'utilisation d'épandeurs munis de rampes d'épandage et d'incorporation du lisier utilisée par 8 % des producteurs.

## Synthèse

Cette conférence a permis de dresser un portrait relativement complet de la situation actuelle dans le domaine de l'application sur les sols agricoles des rejets d'élevage de bovins laitiers.

Les principaux critères par lesquels il est possible de mesurer la performance des divers systèmes et équipements utilisés à ces fins ont été rappelés. Les critères de nature agronomique incluent les types de sols et de cultures où sont effectuées les applications, les périodes propices à celles-ci ainsi que la disponibilité des éléments fertilisants contenus dans les fumiers ou lisiers appliqués sur les sols. Sur le plan technique, les principaux critères sont l'uniformité d'application, la conservation de la valeur fertilisante du produit, le contrôle des odeurs ainsi que la prévention du compactage excessif du sol lors des applications.

Les principaux systèmes et équipements d'épandage de fumiers et de lisiers de bovins laitiers actuellement utilisés au Québec ou en voie de développement ont finalement été abordés. Chacun d'entre eux présentent des caractéristiques particulières en termes de capacité, de prix d'achat, de largeur et d'uniformité d'épandage, de puissance requise, de mode d'application (couverture totale ou partielle, enfouissement, incorporation, etc.), etc., qui doivent faire l'objet d'une analyse soignée lors de la sélection d'un système permettant une valorisation optimale des fumiers ou des lisiers pour une exploitation agricole donnée.

Nous terminons cette section sur les équipements d'application de fumiers et de lisiers en présentant quelques recommandations à ce chapitre :

### Épandage du fumier solide

1. Utiliser un épandeur présentant de bonnes caractéristiques de déchetage et de dispersion du fumier épandu sur le sol, particulièrement dans le cas d'épandages sur des prairies.

## Épandage du lisier

2. Pour les épandages en couverture totale, privilégier les systèmes (rampes d'épandage) où le lisier est réparti sur le sol près de la surface par rapport aux systèmes d'aéroaspersion (épandeurs et canons asperseurs), à cause de leurs avantages sur les plans agronomiques et environnementaux.
3. Utiliser des rampes d'épandage ou d'incorporation au sol pour des applications en couverture partielle en post-levée dans des cultures sarclées.

### Dans tous les cas

4. Limiter la pression appliquée au sol par les équipements d'épandage et favoriser des systèmes d'épandage permettant de la réduire : multiplication des essieux, utilisation de pneus de grandes dimensions ou de chenilles sur les épandeurs; utilisation de systèmes d'épandage en continu.
5. Vérifier l'uniformité d'application des systèmes d'épandage et contrôler les doses appliquées **régulièrement**.

---

## RÉFÉRENCES

---

**Agriculture Canada. 1980.** Guide canadien d'utilisation des fumiers, publication no. 1534. Agriculture Canada, Ottawa.

**Amon, M., M. Dobeic, T.H. Misselbrook, B.F. Pain, V.R. Phillips et R.W. Sneath. 1995.** A farm scale study on the use of Deo-Dorase for reducing odour and ammonia emissions from intensive fattening piggeries. *Bioresource Technology*. 51. 163-169.

**Anonyme. 1974.** La production de méthane à partir de déchets animaux. Publications 1538, Agriculture Canada, division de l'information Ottawa, Ontario, K1A 0C7.

**Anonyme. 1994.** Best management practices. Livestock and poultry waste management. Ontario Federation of Agriculture, Toronto, ON. 50P.

**Anonyme. 1996.** Programme d'aide aux exploitations agricoles, volet structure. Direction environnement et développement durable du Ministère de l'agriculture du Québec, Québec.

**ASAE. 1995.** Volumetric capacity of box type manure spreaders - Dual rating method. Standard S324.1. American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, U.S.A.

**Baader, W. et R. Krause. 1988.** Treatment and handling of liquid manure. *Agricultural Waste Management and Environment Protection Proc.* 4th International CIEC

Symposium. E. welte and I. Szablocs Eds. Vol 2, 213-218. International Scientific Centre of Fertilizers, Goettingen.

**Barnett, G.M. 1991.** Deleterious effects of animal manure. dans: «Proceedings of the National Workshop on Land Application of Animal Manure», D.A. Léger, N.K. Patni et S.K. Ho, éd. Conseil de recherches agricoles du Canada. Ottawa, Ontario. pp. 55 - 84.

**Barrington, S. 1995.** Zeolite to control livestock odours. International Symposium on Livestock Odour Control, University of Iowa, Ames, Iowa, USA.

**Barrington, S. 1996.** The control of odours. Symposium on Swine Production, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Shakespeare, Ontario.

**Barrington, S.F. 1994.** Le gestion des engrais de ferme. Cours sur la fertilisation intégrée. Ministère de l'agriculture, des pêcherie et de l'alimentation du Québec. ITA de LaPocatière, LaPocatière, Québec.

**Beauchamps, E.G. et R. Bertrand. 1988.** Guidelines for manure application to land. Paper no. 88-105, Annual conference, Canadian Society of Agricultural Engineering.

**Bertrand, R.A. 1991.** Methods and time of manure application. dans: «Proceedings of the National Workshop on Land Application of Animal Manure», D.A. Léger, N.K. Patni et S.K. Ho, éd. Conseil de recherches agricoles du Canada. Ottawa, Ontario. pp. 49 - 54.

**Bouchard, D. 1994.** Le contrôle intégré des mouches dans les bâtiments de ferme. Colloque sur le veau lourd. Juin 1994. Conseil des Productions Animales du Québec, Québec, Canada.

**Brundin, S. et L. Rodhe. 1992.** Comparisons of manure handling systems under Swedish conditions. Proceedings of the International Conference on Agriculture Engineering. Swedish Institute of Agricultural Engineering. pp. 630 - 631.

**Carlson, G. 1991.** Development of manure handling equipment, especially spreaders for solid and semi-solid manure. Swedish Institute of Agricultural Engineering. Uppsala, Suède. 3 pages.

**Chagnon, R. 1988.** La manutention du fumier semi-liquide. Bulletin technique no. 25. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu (Québec).

**Christensen, J. 1995.** Centralized biogas plants progress report on the economy of biogas plants. Danish Energy Agency, Landemaerket II, DK-1119 Kobenhavn.

**Connell, R. 1992.** Manure management practices to control fly problems. In: *Nutrient Management on the*

Farm. Proceedings of a Conference for Maritime Farmers, Plant Industry Branch of the Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing, Truro, Nova Scotia.

**Côté, D. 1992.** Optimisation de la valeur fertilisante dans le système cultural. Compte-rendu des conférences présentées au Colloque sur la gestion des fumiers. Conseil des productions végétales du Québec. Québec, Québec. pp. 215 - 247.

**Couture, J.-N., M. Trudelle et M. Perron. 1992.** Situation de la valorisation des engrais de ferme. Compte-rendu des conférences présentées au Colloque sur la gestion des fumiers. Conseil des productions végétales du Québec. Québec, Québec. pp. 183 - 201.

**Cunnick J. 1995** Psychological and health effects related to odour in a rural context. In : International Symposium on Livestock Odour Control. Iowa State University, Ames, Iowa, USA.

**Dale, A.C. 1971.** Status of dairy cattle waste treatment and management research, Proceeding of National Symposium on Animal Waste Management, Warrenton, Virginia. P. 85-97.

**Denis, J. 1991.** Qualité de déchiquetage des épandeurs à fumier solide conventionnels. Service du génie, Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec. Québec, Québec.

**Desvignes, P. 1997.** Les atouts du maïs face au lisier. Perspectives agricoles 221 : 38 - 39.

Dubé, A. 1983. La valeur fertilisante. Chapitre III dans: «Manuel de gestion agricole des fumiers». Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec. Québec, Québec. pp. 45 - 57.

**Dubé, A. et L. Mercier. 1980.** Etablissement des doses de fumier et de lisier à appliquer. Compte-rendu du Colloque sur les fumiers tenu à Saint-Hyacinthe. Conseil des productions végétales du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. Québec, Québec. pp. 118 - 138.

**Dutil, J.-P. et C. Dutil. 1992.** Évaluation des épandeurs à lisier utilisés au Québec et développement de nouvelles technologies. Conférence présentée au Symposium sur la recherche et le développement en gestion environnementale des effluents d'élevage. Textes des conférences. Ministère de l'environnement du Québec. Sainte-Foy, Québec. pp. 281 - 300.

**F. Bernard. 1996.** Épandage de lisier en postlevée avec une rampe à large portée comparée à une citerne munie d'une rampe courte. Rapport final du projet no. 23-817262-06050. Plan vert du Canada.

**Flemming, R. 1989.** Dairy farm pollution - problems, concerns and solutions. Presentation at Kemptonville

Dairy Day, Feb. 13, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

**Foster, R.C.1981.** Polysaccharides in soil fabric. Science. 214. 665-667.

**Gameda, S., G.S.V. Raghavan, R. Thériault et E. McKyes. 1985.** High axle load compaction and corn yield. Transactions of the ASAE 28 (6) : 1759 - 1765.

**Gangbazo G, A.R. Pesant, D. Cluis, D. Couillard et G.M. Barnett. 1995.** Winter and early spring losses of nitrogen following late fall application of hog manure. Journal of Canadian Agricultural Engineering, 37(2) 73- 79.

**Gangbazo G, A.R. Pesant, D. Cluis, D. Couillard et G.M. Barnett. 1995.** Winter and early spring losses of nitrogen following late fall application of hog manure. Journal of Canadian Agricultural Engineering, 37(2) 73- 79.

**Gangbazo, G. et R. McCormick. 1997.** Sources diffuses et ponctuelles de pollution et protection des puits de ferme et des zones de captage. Cahier conférences du programme de perfectionnement sur le développement durable des entreprises et des communautés agricoles. Direction de l'environnement et du développement durable. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation, Québec QC Canada. 71P.

**Ghaly, A.E., N.R. Bulley et D. Hodgkinson. 1988.** Manure characteristics, Canadian Society of Agricultural Engineers, Annual Conference, Calgary, Alberta. Paper no. 88-102.

**Glancey, J. et R.K. Adams. 1996.** Applicator for sidedressing row crops with solid wastes. Transactions of the ASAE 39 (3) : 829 - 835.

**Grimard, Y. 1990.** Qualité générale de l'eau au Québec. Colloque sur la consommation de l'eau en milieu agricole, CPVQ, Québec.

**Håkansson, I., W.B. Voorhes et H. Riley. 1988.** Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. Soil and Tillage Research 11 : 239 - 282.

**Hamel, C. 1996.** L'heure juste sur la valeur fertilisante des lisiers. Symposium sur l'industrie porcine à l'affût de son environnement. Campus McGill de l'Université McGill, Montréal, Québec. Publié par le CPAQ, Québec, Canada.

**Hardwick, D.C. 1986.** Agricultural problems related to odour prevention and control. In: Odour prevention and control of organic sludge and livestock farming. Elsevier Applied Science Publishers, Crown House, Linton Road, Barking, Essex, England. 21-26.

**Harrigan, T. 1996.** Manure hauling capacity of spreader tank systems. ASAE Paper 96-1008. Conférence présentée au Congrès de l' American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, U.S.A.

**Holm-Nielsen, J.B., N. Halberg et S. Huntingford. 1993.** Joint biogas plant, agricultural advantages report by the Danish Energy Agency, Landemaerket II DK-1119 Kobenhavn.

**Huijsmans, J.F.M., M.A. Bruins et J.M.G. Hol. 1992.** Slurry application methods to reduce ammonia emissions. Proceedings of the International Conference on Agriculture Engineering. Swedish Institute of Agricultural Engineering. pp. 284 - 285.

**Jewell, W.J., H.R. Davis, W.W. Gunkel, D.J. Lathwell, J.H. Martin, Jr., T.R. McCarty, G.R. Morris, D.R. Price et D.W. Williams. 1976.** Bioconversion of agricultural wastes for pollution control and energy conservation. Contract ERDA, NSF-741222 A01, Cornell University, Ithaca, New York, 321 pp.

**Klinler, B. 1997.** Communications téléphoniques. Braunweg 16, D-60316 Fraukajurt xxx Main, Germany.

**Laguë, C. 1991.** Design of a semi-liquid dairy cattle manure spreader/injector. Applied Engineering in Agriculture 7 (6) : 655 - 660.

**Laguë, C., L. Chénard, S. Tessier, J.-P. Dutil, Y. Brochu et Q. LePhat. 1992.** Du nouveau sur les équipements d'épandage. Compte-rendu des conférences présentées au Colloque sur la gestion des fumiers. Conseil des productions végétales du Québec. Québec, Québec. pp. 285 - 312.

**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., Y. Bédard, S. Tessier, L. Chi et F. Rondeau. 1992.** Multi-axes running gears for heavy liquid manure spreaders. CSAE Paper 92-404. Conférence présentée au congrès de la Société canadienne de génie rural. Saskatoon, Saskatchewan.

**Lebeau, S., P. Gagnon et M. Morisset. 1992.** Enquête sur les coûts de la gestion des lisiers sur les fermes porcines du Québec. Conférence présentée au Symposium sur la recherche et le développement en gestion environnementale des effluents d'élevage. Textes des conférences. Ministère de l'environnement du Québec. Sainte-Foy, Québec. pp. 81 - 96.

**Leonard, J. 1995.** Emerging engineering technologies relating to the siting of large-scale production facilities. In: the Proceeding of Workshop on siting of Livestock and Poultry Operations for the 21st Century, Canadian Agri-Food Research Council, Ottawa, Ontario. p. 112-125.

**Les Consultants BPR. 1990.** Évaluation des épandeurs à lisier utilisés au Québec en vue de leur optimisation. Rapport final - Projet PARDE 3331.05.88.14. Bureau de la coordination de la recherche et du développement en environnement. Ministère de l'environnement du Québec. Sainte-Foy, Québec.

**Loehr, R.C. 1969.** Animal wastes - A national problem. Journal of the Sanitary Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineering, p. 189-221.

**Loehr, R.C. 1977.** Pollution control for agriculture, Academic press, London.

**Loerh, R.** Pollution control for agriculture. Academic Press, San Diego, California, USA.

**Lord, D., J.P. Dutil et C. Dutil. 1993.** Étude technico-économique des toitures des réservoirs à lisier, rapport final, Ministère de l'environnement du Québec, rapport QEN/AE93-7/6, 31P.

**Malcolm, I.P., W. Kollaard, et C. Weil. 1995.** Treatment of milkhouse wastewater by chemical precipitation. Dairy Research Report. Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. p. 79-82.

**Marchaim, U. 1994.** Les procédés de production de biogas pour le développement de technologies durables, Migal Galilée Technological Centre, Kiryat Shmona, Israël.

**Massé, D.I., N.K. Patni, R.L. Droste, et K.J. Kennedy. 1996.** Operation strategies for psychrophilic anaerobic digestion of swine manure slurry in sequencing batch reactors. Canadian Journal of Civil Engineering, 23: 1285-1294.

**Massé, D.I., R.L. Droste, K.J. Kennedy, 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 Journal 39(1): 1-8.

**McKyes, E. 1985.** Soil cutting and tillage. Elsevier Science Publishers B.V. New-York, NY, U.S.A.

**Meek, B.D., L.E. Graham, T.J. Donovan et K.S. Mayberry. 1979.** Phosphorous availability in a calcareous soil after high manure application rates. Soil Science Society of America. 43. 741-744.

**Mehyus, G. et A. MacKenzie. 1990.** La matière organique du sol et l'utilisation d'engrais chimiques. Conseil de recherche et de l'enseignement agricole du Québec. Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec, Québec.

**MENVIQ. 1989.** Guide de bonnes pratiques pour l'aménagement des structures d'entreposage des fumiers, Ministère de l'environnement du Québec, Québec.

- MENVIQ. 1993a.** Épuration des eaux de laiterie et de ruissellement à la ferme. Rapport 5039-06, Ministère de l'environnement du Québec, Québec.
- MENVIQ. 1994.** Évaluation de systèmes de fosse septique/champs d'épuration pour l'épuration des eaux des laiteries de fermes. Dossier #3333.41.90.03, Ministère de l'environnement, du Québec, Québec.
- MENVIQ. 1993.** Guide technique de conception et d'exploitation des systèmes de cours d'exercice et de filtre végétal pour bovins, rapports 5044-03, Ministère de l'environnement du Québec.
- Mercier, L. 1980.** Utilisation des fumiers et lisiers sur les cultures. Compte-rendu du Colloque sur les fumiers tenu à Saint-Hyacinthe. Conseil des productions végétales du Québec, Ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation du Québec. Québec, Québec. pp. 106 - 117.
- Morken, J. et S. Sakshaug. 1996.** Direct Ground Injection (DGI) - a new concept of slurry injection. Conférence présentée au Congrès du Comité international du génie rural. Compte rendu des conférences pp. 725 - 726.
- MWPS. 1987.** Livestock Waste Facilities Handbook. Midwest plan service, Ames, Iowa.
- Ohshita, Y., K. Ganno, K. Nishiwaki et S. Hasegawa. 1996.** Development of manure applicator with injection device. ASAE Paper 96-4075. Conférence présentée au Congrès de l' American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, U.S.A.
- OMAFRA. 1991.** Agricultural pollution control manual. Resource Management Branch, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.
- OMAFRA. 1995.** Field crop handbook. Le ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales de l'Ontario. Parliament building, Toronto, Ontario.
- O'Neill, D.H. et V.R. Phillips. 1992.** A review of the control of odour nuisance from livestock buildings: Part 3, Properties of the odorous substances which have been identified in livestock wastes or in the air around them. *Jr. Agric. Engng Res.* 53.23-50.
- Patni, N.K. 1991.** Overview of land application of animal manure in Canada. dans: «Proceedings of the National Workshop on Land Application of Animal Manure», D.A. Léger, N.K. Patni et S.K. Ho, éd. Conseil de recherches agricoles du Canada. Ottawa, Ontario. pp. 7 - 17.
- Phillips, P.A., J.L.B. Cully, F.R. Hore et N.K. Patni. 1981.** Pollution potential and corn yield from selected rates and timing of liquid manure applications. *Transactions of the ASAE.* 24. 139-141.
- Piché, I. et G. Gangbazo. 1993.** Incidence des tas de fumier sur les eaux de surface et sur les organismes benthiques, symposium sur la recherche et le développement en gestion environnemental des effluents d'élevage au Québec, 9 et 10 septembre, 1993, Ministère de l'environnement du Québec Sainte-Foy, QC. *Enviradoq EN 920404,* P.1-12.
- Robert, L. 1992.** Caractérisation et variabilité des engrais de ferme. Colloque sur la gestion des fumiers. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Québec, Canada.
- Schmidtke, N.W. 1981.** Les techniques de traitement du lisier de porc - Analyse et commentaires. Compte rendu de l'atelier sur les techniques de régie du lisier de porcs, Institut de recherche technique et stastique, Agriculture Canada, p. 187-225.
- Simard, R.R., D. Cluis, G. Gangbazo, et A.R. Pesant. 1993.** Phosphorus in the Beaurivage river Watershed Joint CSCE-ASCE National Conference on Environmental Engineering, Montréal, QC.
- Sneath, R. 1996.** The fluidic diode. *Agricultural Wastes Research, AFRC Silsoe Research Institute.* Silsoe, Royaume-Uni. 2 pages.
- Sobel, A.T., D.C. Ludington et Kim-van Yow. 1988.** Altering dairy manure characteristics for solid handling by the addition of bedding. *International Agrophysics.* 4. 31-48.
- Société d'agriculture de Beauce. 1990.** Utilisation rationnelle des fumiers par la modification d'un épancheur à fumier solide conventionnel. Rapport soumis dans le cadre du Programme d'aide à la promotion de la conservation des sols agricoles de l'Entente auxiliaire Canada-Québec sur la conservation des sols en milieu agricole.
- Sutton, A.L., D.M. Huber et D.D. Jones. 1990.** Strategies for maximizing the nutrient utilization of animal wastes as a fertilizer resource. dans: «Agricultural and Food Processing Waste», *Proceedings of the 6th International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes.* American Society of Agricultural Engineers. St. Joseph, MI, U.S.A. pp. 139 - 147.
- Taiganides, E.P. et T.E. Hazen. 1966.** Properties of farm animal excretion. *Transaction of the ASAE* 9(2): 215-221.
- Tillie, M., P. Billon et D. Houdoy. 1995.** Élevage bovin et environnement, prévenir les risques de nuisances et de pollution. Ministère de l'environnement, Paris. 104P.
- Van Die, P. 1987.** An assessment of Agriculture Canada's anaerobic digestion program. Contribution no I-933, Engineering and Statistical Research Centre, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario.

**Warmann, P.R. 1991.** Nutrient availability from animal manure. dans: «Proceedings of the National Workshop on Land Application of Animal Manure», D.A. Léger, N.K. Patni et S.K. Ho, éd. Conseil de recherches agricoles du Canada. Ottawa, Ontario. pp. 37 - 48.

**Weil, C. et W. Kollaard. 1995.** So, you want to build an artificial wetland. In : Agri-Food Research in Ontario, March, p. 7-10.

**Weil, C., W. Kollaard, I. Malcolm et L.P. Tousignant. 1996.** Système de marais artificiels de la ferme vachali, Sainte-Anne-des-Plaines, Alfred College of Agricultural and Food Technology, Ontario Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs.

**Weissman G.S. 1959.** Influence of ammonium and nitrate nutrition on protein level and exudate composition. Plant Physiology. 39. 947-952.

**Wright, P. 1996.** Prevention, collection and treatment of concentrated pollution sources on farms in proceeding of the animal agriculture and the environment, North American Conference, Northeast Regional Agricultural Engineering Service Cooperative Extension. P 142-158.

**Wright, P. et T. Cross. 1996.** Uniformity of manure application by traveling guns. ASAE Paper 96-2038. Conférence présentée au Congrès de l' American Society of Agricultural Engineers. St.Joseph, MI, U.S.A.

---

## DÉFINITIONS

---

Fumiers : mélange d'excréments, d'eaux usées et de litière qui sont de forme soit liquide ou solide.

Fumiers semi-liquide : fumiers qui s'affaissent lentement lorsque mis en tas mais qui sont trop épais pour être pompés.

Fumiers solides : mélange d'excréments et de litière qui se manipule sous forme solide.

Lisiers : mélange d'excréments, d'eaux usées et de litière qui se manipule par pompage sous forme liquide.

Nutriments des fumiers : les éléments majeurs tels l'azote, le phosphore et la potasse ainsi que les éléments mineurs tels les macro-éléments (le calcium, le magnésium, le soufre et le fer) et les micro-éléments (le bore, le cuivre, le manganèse, le molybdène, le sélénium et le zinc).

Purin : liquides qui s'écoulent des fumiers solides et qui sont contaminés par des éléments contenus dans le fumier. Ces liquides proviennent des urines produites par les animaux, de la pluie qui lessive les fumiers lors de leur entreposage à l'extérieur et de l'eau formée pendant la décomposition des fumiers.

Volatilisation : perte de gaz dans l'atmosphère.