

STRATÉGIE DE RECHERCHE
SUR LA GESTION
DU LISIER
DE PORC AU CANADA

**Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada**

STRATÉGIE DE RECHERCHE
SUR LA GESTION
DU LISIER
DE PORC AU CANADA

Direction générale de la recherche
Agriculture et Agroalimentaire Canada
1998

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1998
No de cat. A42-77/1998F
ISBN 0-662-82894-1

Aussi disponible sur internet : <http://res.agr.ca/manurenet/>

Also available in English under the title:
Research Strategy for Hog Manure Management in Canada

AVANT-PROPOS

L'industrie du porc est solidement implantée au Canada, et on y entrevoit l'avenir avec optimisme. Toutefois, ce secteur de l'économie canadienne fait face à des problèmes, en grande partie d'ordre environnemental, au plan de l'image projetée au sein de la population et sur ses effets sur l'environnement.

Au printemps 1997, Agriculture et Agroalimentaire Canada mettait sur pied un groupe de travail chargé d'apporter des solutions à la fois efficaces et économiquement viables aux problèmes d'environnement suscités par la production porcine.

La Direction générale de la recherche a été appelée à réunir les renseignements publiés sur le sujet à l'échelle internationale par l'entremise d'un groupe de consultation scientifique en provenance de centres de recherches de partout au pays.

Le présent rapport fait état des renseignements dont on dispose en plus d'offrir une réponse au défi environnemental fondée sur la recherche. J'ai bon espoir qu'il suscitera des solutions aux problèmes d'environnement auxquels la production porcine demeure confrontée.

Le Sous-ministre

Frank Claydon

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	i
Résumé	iii
Introduction	1
Principaux problèmes liés au lisier de porc	2
Les odeurs	3
Les émissions d'ammoniac	6
L'adéquation des sols ou des terres à l'épandage du lisier	8
Le phosphore	10
Contribution de la recherche	13
Nouvelles techniques pour résoudre les problèmes à court terme	13
Besoins en recherche à long terme	13
Conclusion	16
Membres du groupe de consultation	16
Bibliographie	17
Les odeurs	17
Les émissions d'ammoniac	18
L'adéquation des sols ou des terres à l'épandage du lisier	20
Le phosphore	23

RÉSUMÉ

L'industrie du porc a connu une croissance de 400 % depuis 1982. Les 12,2 millions d'animaux que compte le Canada produisent 24,4 tonnes de lisier annuellement. La tendance actuelle en matière de production porcine (un plus grand nombre d'animaux par ferme) amène une production excessive de lisier par rapport aux terres disponibles. Il faut donc transporter le lisier sur de plus grandes distances si on veut l'utiliser à des fins culturales sans générer de pollution. Or, la gestion actuelle du lisier de porc soulève certaines préoccupations environnementales.

La production porcine est notamment associée à

- des odeurs désagréables,
- la pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore
- des émissions d'ammoniac dans l'atmosphère.

Les odeurs constituent une préoccupation environnementale dans tout le Canada, tandis que la pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore est un problème dans certaines régions ou résulte d'une mauvaise gestion du lisier. Les émissions d'ammoniac posent problème en Colombie-Britannique et pourraient devenir préoccupantes dans d'autres régions dans le futur.

Réduction des odeurs

Les odeurs, le sujet de plaintes le plus courant, proviennent des porcheries, des installations d'entreposage du lisier, particulièrement pendant les périodes de brassage, et des épandages du lisier. Considérées généralement comme une nuisance, les odeurs peuvent avoir un effet négatif sur la santé humaine. Des odeurs désagréables sont produites par le lisier frais, mais leur intensité augmente pendant la décomposition anaérobie du lisier.

La première mesure de réduction des odeurs consiste à assurer la propreté des animaux et des installations et à réduire au minimum l'exposition à l'air du lisier pendant l'entreposage et l'épandage. La seconde mesure réside dans l'adoption de techniques rentables disponibles pour réduire les odeurs pendant l'entreposage et l'épandage. La troisième mesure vise entre autres

- à mener des recherches sur l'incidence des modifications au régime alimentaire et aux pratiques d'alimentation sur les émissions d'odeurs
- à chercher à améliorer la génétique des porcs en vue d'une meilleure utilisation de l'azote, du phosphore et d'autres précurseurs de composés odorants
- à mettre au point des systèmes de production porcine et de gestion du lisier susceptibles de réduire la production et la diffusion d'odeurs.

Réduction des émissions d'ammoniac

Les émissions d'ammoniac proviennent des porcheries, des installations d'entreposage et de l'épandage du lisier. Jusqu'à 75 % de l'azote excrété peut être perdu par les émissions d'ammoniac dans les systèmes de production porcine en place actuellement au Canada, qui recourent entre autres à l'entreposage du lisier dans des bassins et à l'épandage du lisier avec des systèmes d'irrigation. Les émissions d'ammoniac augmentent avec la température et l'exposition du lisier à l'air. La resédimentation de l'ammoniac ne peut être prédite et peut amener une acidification ainsi qu'un déséquilibre des éléments nutritifs dans les écosystèmes sensibles, y compris les eaux de surface.

Il existe quatre façons de réduire les émissions d'ammoniac :

- incorporer le lisier au sol immédiatement après l'épandage,
- mieux équilibrer le régime alimentaire des porcs en fonction de leurs besoins; modifier les régimes

- alimentaires en équilibrant les acides aminés ou en incorporant d'autres additifs susceptibles de réduire les émissions d'ammoniac,
- réduire l'exposition du lisier à l'air,
 - mener des recherches pour améliorer les régimes alimentaires et mettre au point des systèmes de production porcine et de gestion du lisier qui réduisent les émissions d'ammoniac.

Détermination de l'adéquation des sols à l'épandage du lisier

Les sols de certaines régions, en raison de leur texture grossière ou de leurs caractéristiques d'égouttement, ne conviennent pas à l'utilisation efficace du lisier de porc comme source d'éléments nutritifs. De tels sols présentent un risque de pollution de l'eau par les nitrates ou le phosphore. La présence à faible profondeur d'aquifères utilisés comme source d'eau potable ou encore de ruisseaux ou de lacs écosensibles peut également rendre un emplacement impropre à une ferme porcine.

Les mesures pouvant assurer l'adéquation des sols à l'épandage du lisier sont les suivantes :

- formuler des directives concernant l'épandage du lisier faisant en sorte que les éléments nutritifs contenus dans le lisier n'excèdent pas les besoins de la culture,
- prévoir d'autres débouchés pour le lisier des fermes porcines qui ont des surplus et qui sont situées dans des régions où les risques de pollution des eaux de surface et souterraines sont élevés,
- établir des cartes « des risques » identifiant les sols ou les régions les plus à risque et indiquant les taux d'épandage sécuritaires. Il faut aussi favoriser l'établissement d'exploitations porcines dans les régions à moindre risque.

Réduction des risques de pollution par le phosphore

Les lignes directrices sur l'épandage du lisier basées sur l'azote ont entraîné une accumulation de phosphore dans le sol. L'épandage à long terme au Québec, en Ontario et en Colombie-Britannique a augmenté les concentrations de phosphore dans le sol, augmentant du même coup le risque de pollution de l'eau par l'érosion du sol. L'épandage du lisier accroît également les concentrations de phosphore hydrosoluble.

Les mesures visant à réduire le risque de pollution par le phosphore sont les suivantes :

- planifier les épandages du lisier en fonction de la capacité des cultures à utiliser le phosphore et les effectuer à des périodes de l'année présentant un moins grand risque de pollution
- mettre au point des systèmes d'alimentation qui réduisent la teneur en phosphore du lisier, notamment par l'utilisation d'enzymes comme la phytase ou par une alimentation adaptée au stade de croissance des porcs
- trouver d'autres débouchés pour le lisier par la mise au point de produits à valeur ajoutée exportables en dehors des régions où les risques de pollution de l'eau sont élevés.

Vers une production porcine durable

Les odeurs et les risques de pollution de l'eau par les nitrates et le phosphore sont des préoccupations de premier ordre au Canada. Les émissions d'ammoniac liées à la production porcine ne jouent pas en faveur d'un système durable. Il faut adopter une approche par systèmes de production si l'on veut soutenir une industrie de la production porcine économiquement et écologiquement viable au Canada. Le recyclage des éléments nutritifs dans les cultures est actuellement la méthode la moins coûteuse d'utiliser le lisier, lorsque les ressources en terres sont suffisantes pour permettre une utilisation efficace du lisier; cette méthode pose cependant de plus en plus de problèmes à mesure que la production porcine s'intensifie.

Voici cinq points importants qu'il faut prendre en considération pour une production porcine durable :

- systèmes d'alimentation améliorés pour réduire les odeurs, l'excrétion de phosphore et d'azote et les émissions d'ammoniac par le lisier

- utilisation efficace du lisier comme source d'éléments nutritifs pour les cultures par de meilleures méthodes d'entreposage et d'épandage du lisier
- établissement de lignes directrices et de critères concernant l'adéquation des sols à l'épandage du lisier qui tiennent compte du risque de détérioration de l'eau par les nitrates, le phosphore, la demande biologique en oxygène (DBO) et les bactéries ainsi que d'accumulation de métaux dans le sol
- systèmes de traitement du lisier qui tiennent compte de toutes les préoccupations environnementales : les traitements visant à réduire les odeurs ou à « éliminer » l'azote et le phosphore favorisent souvent les émissions d'ammoniac
- nouveaux systèmes de stabulation et de gestion du lisier nécessaires pour une production porcine économiquement et écologiquement viable.

INTRODUCTION

Au cours des vingt dernières années, une bonne partie des fermes d'élevage canadiennes sont passées d'une production diversifiée à une production spécialisée et intensive. Ces changements se sont produits en réponse aux signaux du marché, particulièrement devant une demande accrue pour un nouveau produit. Dans plusieurs régions, cette intensification de la production a eu un effet sur la conservation des agroécosystèmes. La production porcine, en particulier, a connu une hausse sensible. Cette industrie est souvent perçue négativement par le public et les médias en raison de la concentration des unités de production dans certaines régions ainsi que de la nuisance et des problèmes de pollution qu'elle génère, particulièrement en rapport avec le lisier.

En moyenne, un porc produit environ une tonne de lisier par année. La population de porcs du Canada produit donc annuellement quelque 24,4 millions de tonnes de lisier. Le lisier de porc contient des éléments nutritifs importants et de la matière organique pouvant être utilisés pour les productions végétales et pour l'enrichissement des sols. Toutefois, comme de nombreuses unités de production ne disposent pas de ressources en terres suffisantes ou sont situées loin des régions de production végétale, l'élimination adquate et écologique du lisier amène des coûts supplémentaires non négligeables.

En Amérique du Nord, les techniques de stabulation et d'élevage des porcs sont à peu près partout les mêmes, de telle sorte que les problèmes sont aussi les mêmes : odeurs, pollution des eaux de surface et souterraines et volatilisation de l'ammoniac. La production porcine est donc à l'origine de problèmes potentiels pour les ressources en air, en eau et en sol; le public a des attentes élevées concernant :

- les odeurs émises par les unités de production et les installations d'entreposage du lisier et durant l'épandage
- les fortes concentrations d'éléments nutritifs (surtout de phosphore) et de métaux lourds qui s'accumulent dans les sols à la suite de l'épandage du lisier, particulièrement dans les régions comptant un grand nombre d'unités de production
- la contamination des nappes d'eau par les éléments nutritifs et les bactéries.

La réponse du Ministère est décrite dans « Agriculture en harmonie avec la nature », la stratégie de développement durable d'Agriculture et Agroalimentaire Canada. Le plan propose l'adoption de quatre orientations stratégiques pour résoudre les questions environnementales. Les pratiques de gestion actuelles doivent être réexaminées et de meilleures pratiques doivent être mises au point, en même temps que de nouvelles techniques pour le traitement et l'utilisation économique du fumier des animaux. Une approche basée sur les sols (utilisation du fumier pour les productions végétales) ne résoudra pas véritablement les problèmes de l'industrie; une approche holistique qui tient compte de tout le circuit de production, du mode de stabulation à l'alimentation des porcs, en passant par l'utilisation du lisier dans les champs et l'assimilation des éléments nutritifs par les cultures, doit être adoptée pour régler des problèmes comme les odeurs et la contamination de l'eau. Une telle approche, visant à réduire le volume de déchets d'origine animale et à en améliorer les caractéristiques, aidera à déterminer quelle partie du circuit de production crée les principaux problèmes environnementaux et à quel stade il sera possible de réaliser les meilleurs gains. Parallèlement, les besoins en recherche pour le futur se préciseront.

PRINCIPAUX PROBLÈMES LIÉS AU LISIER DE PORC

Un survol de la situation révèle à la fois des problèmes communs et des problèmes différents entre les régions selon le contexte agricole.

Le principal problème commun est lié aux odeurs émanant des unités de production

L'émanation d'odeurs, un problème étroitement lié aux porcheries, à l'élevage de porcs ainsi qu'à l'épandage du lisier, est le problème le plus important. La couverture médiatique engendre dans le public une perception négative de l'industrie porcine qui réduit davantage la tolérance des gens aux odeurs. Dans certaines régions, le problème des odeurs freine la croissance de l'industrie porcine. Il est donc impératif de trouver des solutions pour enrayer les odeurs. Pour ce faire, il faudra des efforts concertés pour améliorer les pratiques agricoles actuelles quant à la manipulation du lisier et à son utilisation comme engrais. Les principaux besoins techniques touchent aux points suivants :

- élimination des odeurs au long du cycle de production (circuits fermés, ventilation, alimentation, manipulation dans les unités de production, entreposage, manipulation)
- utilisation plus efficace et valorisation des déchets d'origine animale (transformation en compost, traitement, fractionnement, équipement amélioré, épandage selon les besoins culturaux, temps et techniques d'épandage, transport, nouvelles utilisations).

Préoccupations régionales

Provinces de l'Atlantique

- problèmes liés à l'épandage du lisier conformément aux règlements environnementaux de chaque province.

Québec

- problèmes liés à l'épandage du lisier, particulièrement l'accumulation de phosphore dans le sol et le rejet de phosphore et de nitrates dans les eaux souterraines et de ruissellement.

Ontario

- perte d'azote sous forme d'ammoniac
- problèmes liés à l'épandage du lisier et à l'incorporation des éléments nutritifs au sol avant qu'ils ne soient perdus
- contamination fréquente de drains et d'eaux de surface par les bactéries épandues avec le lisier.

Prairies

- entreposage du lisier
- installations de production porcine établies au-dessus de nappes phréatiques à faible profondeur
- capacité du sol à recevoir du lisier, selon le type de sol et la nature de la végétation.

Colombie-Britannique

- effets des éléments nutritifs du lisier sur la qualité des eaux de surface et souterraines
- effets de la production porcine sur la qualité de l'air (émissions de NH_3).

Ces préoccupations traduisent clairement les questions environnementales soulevées présentement dans les régions. Les problèmes qui semblent moins importants aujourd'hui pourraient prendre beaucoup plus d'importance dans le futur. Les stratégies visant à résoudre les problèmes environnementaux à long terme doivent présenter de véritables solutions, et non pas uniquement déplacer les problèmes.

LES ODEURS

Le problème

L'industrialisation de la production porcine de même que les changements démographiques qui sont intervenus dans les régions rurales (expansion urbaine substantielle en région agricole au cours des dernières décennies) ont engendré des problèmes aigus de cohabitation. Les odeurs générées par les porcheries, l'entreposage du lisier et l'épandage dans les champs sont des causes importantes de conflits entre les producteurs et leurs voisins; au Québec, par exemple, 10 % des plaintes à propos des odeurs concernaient des bâtiments agricoles, 20 % touchaient à l'entreposage du lisier et 70 % à des activités d'épandage : la gestion du lisier de porc en dehors des porcheries était donc à l'origine de 90 % des plaintes.

Les exploitations agricoles sont la source d'une variété de problèmes d'odeurs « d'origine naturelle ». Des gaz odorants sont générés lors de la décomposition des protéines végétales et animales par les microbes, et par l'entreposage anaérobie du lisier. Les principales sources d'odeurs proviennent de la production, de la manutention et du traitement des déchets d'origine animale; le problème s'est intensifié avec l'élevage à haute densité en bâtiments clos.

L'intensité de l'odeur varie selon

- le type d'installation de production et son importance
- les méthodes de production
- l'emplacement de l'unité et la topographie locale
- la saison et le climat
- le moment de la journée
- la direction et la force du vent
- la turbulence de l'air.

Il est souvent difficile de déterminer quels composés ou associations de produits chimiques causent le problème. Les êtres humains ont un odorat très sensible, mais tous ne sentent pas les mêmes choses; la réaction à l'intensité des odeurs est donc très variable et est fonction des antécédents des personnes, de leur perception de la production porcine, de leur sensibilité olfactive, etc.

La nature des odeurs est complexe.

- Les substances odorantes dans les bâtiments d'élevage sont produites principalement par des composés volatils et de la poussière. Des analyses des produits chimiques volatils générés par la production animale ont été entreprises. Plus de 150 composés volatils ont été identifiés; tous les composés volatils ne causent pas nécessairement des « mauvaises » odeurs et les composés les plus concentrés ne sont pas toujours les plus désagréables pour l'être humain. Ces composés volatils proviennent en grande partie du lisier, des planchers humides et des animaux sales.
- La poussière se compose de fines particules en suspension : composants alimentaires, matières fécales séchées, poils, cellules de peau, moisissures, champignons, virus et bactéries. La poussière dans les installations de production porcine amplifie la perception des odeurs : la concentration de certains constituants odorants peut être 40 millions de fois plus importante sur des particules de poussières en suspension que dans un volume égal d'air sans particules. Les particules de poussière sont également capables de transporter les odeurs sur de grandes distances.
- Les odeurs provenant de l'entreposage du lisier sont causées par la dégradation anaérobie de la fraction organique du lisier. Les odeurs sont très fortes durant l'homogénéisation du contenu du bassin d'entreposage et le chargement de l'épandeur de lisier.

- Les composés volatils sont rapidement libérés dans l'air lorsque le lisier est épandu; des odeurs très fortes sont alors émises dans les environs du champ. Les odeurs peuvent parfois atteindre des niveaux inacceptables pour le voisinage en raison de la gêne importante qu'elles créent.
- Un autre problème associé aux odeurs est la faible acceptabilité du lisier de porc par certains utilisateurs (les producteurs de cultures commerciales, p. ex.). Il s'agit d'une contrainte non négligeable pour les fermes porcines qui disposent d'un surplus de lisier; le manque de ressources en terres pour écouler les surplus de lisier se traduit souvent par une pollution du sol et de l'eau. Cette question sera traitée plus loin.
- Dans certaines régions, la crainte des mauvaises odeurs a limité l'expansion de l'industrie. L'élimination des odeurs est donc une préoccupation majeure pour les producteurs. Actuellement, il n'existe pas au Canada de technique de lutte antipollution économique susceptible de résoudre les problèmes d'odeurs des fermes porcines.
- Jusqu'à récemment, les odeurs étaient considérées essentiellement comme une nuisance; toutefois, il apparaît de plus en plus que les odeurs peuvent aussi avoir des effets négatifs sur la santé humaine, causant des nausées, des maux de tête, des troubles du sommeil, des dérangements d'estomac, des pertes d'appétit, des dépressions, etc. Les problèmes de santé peuvent être plus graves pour les travailleurs agricoles qui sont constamment exposés à des odeurs, à des poussières et à des gaz toxiques. Certains travailleurs agricoles ont contracté des maladies pulmonaires comme la bronchite chronique, l'asthme ou, pire encore, le poumon de fermier. Les exploitations d'élevage porcin gagnant en importance, de plus en plus de travailleurs sont exposés à ces conditions difficiles.

Vers une solution

1. La première mesure qui doit être prise pour réduire les odeurs est de formuler et de recommander des pratiques de gestion optimales et des normes concernant la stabulation des animaux et la gestion du lisier. Par exemple, des mesures destinées à améliorer la propreté des bâtiments agricoles et des recommandations concernant les conditions météorologiques et le moment appropriés pour procéder à l'épandage du lisier aurait un effet positif sur la réduction des odeurs.

Jusqu'à ce que de nouvelles techniques soient disponibles, les agriculteurs devraient adopter les « pratiques de gestion optimales » déjà en usage dans plusieurs provinces pour la gestion du lisier. En voici quelques-unes :

☒ garder les animaux et les installations propres

- introduire le lisier par le fond de la fosse
- injecter ou incorporer le lisier sous la surface du sol
- procéder à l'épandage du lisier lorsque le vent souffle en direction opposée des voisins
- procéder à l'épandage le matin ou pendant les journées nuageuses
- utiliser des arbres comme brise-vent pour favoriser la dispersion verticale des odeurs.

2. La deuxième mesure consiste à recenser et à promouvoir les techniques rentables de réduction des odeurs et d'assurance de la qualité de l'air en usage dans d'autres pays et adaptées au climat canadien et aux pratiques de gestion des fermes porcines.

Voici quelques possibilités relevées par les chercheurs en ce qui concerne les installations d'entreposage du lisier :

☒ Il est possible de réduire les odeurs de 90 % en couvrant les réservoirs.

☒ Des matériaux alcalins (des sous-produits de centrales électriques ou de cimenteries, p. ex.) peuvent réduire sensiblement les odeurs en élevant le pH au-dessus de 9,5, réduisant ainsi les émissions de sulfure d'hydrogène; une telle mesure, toutefois, augmente les émissions d'ammoniac, comme il en sera fait mention plus loin.

- C La pratique a montré que l'ajout de sphaigne ou d'autres amendements acidifiants dans les bassins réduit les odeurs.
- C Il est démontré que le lisier provenant de systèmes de digestion anaérobie est moins incommodant que le lisier non digéré.
- C L'oxygénation sans bulle réduit la production de sulfure d'hydrogène à des niveaux indétectables avec le tube détecteur Sensidyne de GasTec.
- C L'utilisation d'une toile perméable flottante a permis de réduire de 90 % les émissions d'ammoniac et de sulfure d'hydrogène.

Voici quelques possibilités relevées par les chercheurs en ce qui concerne l'épandage sur le sol :

- C Le lisier devrait être soit injecté dans le sol, soit incorporé au sol moins de 24 heures après l'épandage. Différents systèmes sont à l'étude pour l'injection/incorporation du lisier dans le cadre de systèmes de culture en ligne ou de grande production.
3. La troisième mesure consiste à établir un programme de recherche exhaustif à court et à long terme.

Recommandations à court terme

- C Évaluer les effets potentiels des modifications du régime alimentaire des porcs et des pratiques d'alimentation sur les émissions d'odeurs.

L'azote étant une source importante de l'ammoniac et d'autres composés odorants, plus la teneur en azote du lisier est forte, plus les risques d'odeurs sont élevés. La recherche sur l'indice de transformation des aliments et la réduction des odeurs se poursuit dans un bon nombre de directions :

- C Les concentrations d'azote dans le régime des porcs peuvent influencer la composition des acides gras volatils et la concentration de NH_3 .
 - C La substitution d'acides aminés synthétiques aux sources habituelles de protéines contribue à réduire l'excrétion d'azote chez les porcs.
 - C L'ajout d'enzymes protéolytiques dans les rations ou les suppléments alimentaires augmente la digestibilité des protéines.
 - C Des suppléments alimentaires comme la zéolite, la bentonite, le charbon de bois, etc., peuvent absorber les odeurs. Les effets de ces substances sur la croissance des porcs et l'efficacité de transformation des aliments doivent faire l'objet de recherches plus approfondies.
 - C Les extraits de plantes, les enzymes et les microorganismes à administration directe peuvent également contribuer à réduire les odeurs. Les extraits de yucca, comme additifs alimentaires, peuvent fixer l'ammoniac et d'autres gaz et ainsi réduire les émissions d'odeurs pendant l'entreposage du lisier. Les effets bénéfiques de ces additifs ont été démontrés chez les porcs et la volaille.
- C Acquérir des connaissances de l'Europe et des États-Unis sur les émissions, la diffusion et la réduction des odeurs.

En ayant des connaissances sur les concentrations d'odeurs, les experts peuvent fixer des objectifs et établir une base de comparaison pour améliorer les installations et les pratiques de gestion. Plusieurs techniques (la chromatographie en phase gazeuse, la distillation, la chromatographie en phase liquide, les pièges à ions spécifiques, etc.) ont été utilisées pour caractériser les odeurs et identifier leurs composants. L'odorat humain est le meilleur détecteur d'odeur disponible en l'absence de méthode standard pour mesurer les odeurs associées aux porcs : des olfactomètres dynamiques sont utilisés pour diluer l'air nauséabond à différentes concentrations avec de l'air inodore et l'odorat humain sert d'instrument de mesure.

- Mesurer l'efficacité, l'adaptabilité et la rentabilité des techniques disponibles dans les conditions locales.
- Évaluer l'utilité et la fiabilité des additifs pour lisier à l'aide de méthodes normalisées. De tels tests serviront à déterminer si un additif a des effets secondaires indésirables sur la qualité de l'air, du sol et de l'eau. Voici quelques exemples :
 - On a observé une réduction de 68 % des concentrations d'ammoniac dans les porcheries où on utilise De-Odorase[®] mais, comme les débits de ventilation étaient inconnus, il n'a pas été possible de calculer les taux absolus d'émission d'ammoniac.
 - Ajouté au régime des porcs à l'engraissement, De-Odorase[®] a permis de réduire la concentration et les émissions de NH₃ de 26 %, mais n'a pas influencé de manière appréciable la concentration ou les émissions d'odeurs et n'a pas influencé le gain de poids.

Recommandations à long terme

Les activités à long terme devraient être axées sur la recherche de solutions vraiment susceptibles de réduire les émissions d'odeurs et la pollution atmosphérique et d'améliorer les conditions de travail dans les bâtiments agricoles. Elles devraient viser entre autres :

- C l'acquisition d'une meilleure connaissance des mécanismes d'émission et de dispersion des odeurs : évaluation quantitative de l'incidence de nombreux facteurs liés à l'environnement et à la gestion animale et recommandation de règlements concernant les distances à respecter selon les caractéristiques des exploitations et les emplacements géographiques,
- C l'amélioration de la génétique animale : sélection d'animaux qui utilisent plus efficacement l'azote, le phosphore et les composés générant des odeurs,
- C la mise au point de techniques efficaces et économiques pour désodoriser le lisier et réduire ses effets négatifs sur la qualité de l'air, de l'eau et du sol,
- C la mise au point d'une méthodologie donnant des résultats reproductibles pour l'évaluation des odeurs de lisier en laboratoire.

LES ÉMISSIONS D'AMMONIAC

Le problème

Les émissions d'ammoniac provenant du lisier de porc comptent pour une bonne partie des pertes d'azote. Un modèle informatique du devenir de l'azote excrété, mis au point dans la zone côtière du sud de la Colombie-Britannique pour les modes de gestion des déchets et conditions climatiques spécifiques à cette région, a montré que plus de 40 % de l'azote excrété par les porcs est perdu dans l'atmosphère (dans les bâtiments, au cours de l'entreposage et à la suite de l'épandage). Dans cette région, le lisier de porc est généralement entreposé sous les porcheries ou dans des fosses en béton. Le modèle a démontré que la modification du régime alimentaire des animaux est la façon la plus efficace de réduire les émissions de NH_3 . En Caroline du Nord, la Division of Air Quality estime entre 85 et 95 % la perte d'azote provenant des installations d'entreposage du lisier de porc. Au Danemark, l'agriculture est responsable d'environ 93 % des émissions de NH_3 , avec 35, 20 et 40 % de la volatilisation de NH_3 provenant respectivement des bâtiments d'élevage, des installations d'entreposage et de l'épandage du lisier. Au Danemark, les installations d'entreposage du lisier se trouvent habituellement sous les bâtiments ou dans des réservoirs en béton.

L'ammoniac proprement dit a un court temps de séjour dans l'air : il peut revenir au sol sous forme de dépôts secs de NH_3 près de la source d'émission (6-14 %) ou être transformé en NO (<1 %) pour ensuite former des particules de nitrate d'ammonium ou de sulfate d'ammonium (86-94 %) qui peuvent être transportés à des distances atteignant 2 500 km. La plus grande partie du NH_3 se dépose près de la source de production. Au Danemark, plus de 85 % du NH_3 se dépose à moins de 100 km de la source, et 75 et près de 100 % de ces dépôts se font à moins de 4 km respectivement pendant le jour et la nuit. Aux Pays-Bas, on a mesuré des retombées d'azote de 68 et 42 kg ha^{-1} à des distances de 75 et 700 m d'un poulailler. La volatilisation du NH_3 a donc un effet important sur l'apport d'azote dans les écosystèmes environnants pauvres en éléments nutritifs.

Les émissions d'ammoniac soulèvent des préoccupations quant à l'environnement et à la santé humaine. Elles ont également des répercussions négatives sur la comptabilisation des éléments nutritifs et le recyclage de ceux-ci. Les retombées d'ammoniac et d'ammonium provoquent l'eutrophisation des eaux de surface et des écosystèmes terrestres. L'ammoniac est un polluant localisé qui n'est pas susceptible d'agir comme une toxine atmosphérique; toutefois, c'est un précurseur pour les particules ou les aérosols d'ammonium, qui sont des polluants non localisés. Les aérosols de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium sont des particules de moins de 2,5 μm de diamètre. On croit que ces particules présentent un risque important pour la santé humaine avec l'augmentation des concentrations de particules dans l'atmosphère : les particules de cette taille passent au travers des moyens de défenses naturels du système respiratoire. La quantité de NH_3 qui se combine avec les nitrates et les sulfates acides en suspension dans l'air pour former des aérosols est fonction de la concentration de ces composés dans l'atmosphère. Les nitrates et les sulfates acides sont produits par l'industrie et les automobiles. Ainsi, dans les environs de Los Angeles et de Vancouver, on a noté des quantités importantes d'aérosols de sulfate d'ammonium et de nitrate d'ammonium en raison de la présence d'unités de production animale intensive à proximité des centres urbains. Dans la partie est de la vallée du Fraser, en Colombie-Britannique, on a constaté que les aérosols de nitrate d'ammonium et de sulfate d'ammonium constituent jusqu'à 70 % des particules fines pendant l'été et provoquent une baisse de la visibilité.

Vers une solution

Les émissions d'ammoniac et les moyens de les réduire

Comme on l'a mentionné auparavant, il est parfois difficile de faire la distinction entre les émissions d'ammoniac qui proviennent des bâtiments et celles qui proviennent des installations d'entreposage parce que, dans certaines fermes, les fosses à lisier sont situées directement sous les bâtiments. Dans une étude récente réalisée en Europe, on a évalué que les émissions de NH_3 provenant de porcheries se situaient entre 37 et 40 % de l'azote excrété. En établissant le bilan de l'azote dans une installation d'élevage porcin ontarienne, on a estimé que 43 % de la quantité d'azote excrétée était rejetée des installations, principalement sous la forme de NH_3 . Des mesures directes des émissions de NH_3 provenant de porcheries de l'Ontario ont indiqué une perte de 9 à 19 % de l'azote excrété. Exprimé en fonction de la masse animale, le flux de NH_3 se situait entre 4,6 et 7 $\text{mg N h}^{-1} \text{kg}^{-1}$, des valeurs comparables aux valeurs de 2,5 à 6,5 $\text{mg N h}^{-1} \text{kg}^{-1}$ estimées pour des porcheries en Écosse.

Une grande partie des surplus de protéines alimentaires est excrétée sous forme d'urée. Or, l'hydrolyse de l'urée commence immédiatement sur le sol de la porcherie, ce qui provoque une hausse du pH qui entraîne des émissions de NH_3 . Dans le cas du fumier de bovins laitiers, les émissions de NH_3 étaient plus fortes au cours des 24 heures suivant l'excrétion. Les émissions d'ammoniac du lisier sont fonction du régime de l'animal et de l'exposition du lisier à l'air. Le taux d'émission de NH_3 pour le lisier est lié à la température, à l'échange d'air, au pH, à la profondeur du lisier et à la durée de l'exposition.

Améliorer les régimes alimentaires, particulièrement la teneur en protéines

- L'adaptation de l'alimentation au stade de développement et l'équilibrage des acides aminés dans la nourriture constituent la principale stratégie pour réduire les émissions de NH_3 générées par l'élevage porcin. Cette stratégie est réalisable dans la plupart des installations de production et constitue l'un des moyens les plus efficaces pour réduire les émissions de NH_3 .
- L'amélioration des régimes alimentaires a permis une réduction de 26 % de la quantité d'azote excrétée, qui s'est traduite par une réduction de 25 % des émissions de NH_3 .
- L'inclusion dans le régime alimentaire de substrats fermentescibles sous l'influence de bactéries a réduit les émissions de NH_3 de 18 % pendant la phase d'engraissement des porcs.

Diminuer la durée de l'exposition des excréments animales à l'air

- Fréquents nettoyages de la porcherie à l'aide de racleurs et de canaux à urine séparés; ce système classique et économique de gestion du lisier a donné de faibles émissions de NH_3 .
- L'utilisation de bacs collecteurs de lisier a contribué à diminuer les émissions de NH_3 de 30 %; en combinant régimes alimentaires améliorés, alimentation en fonction du stade de développement et stabulation améliorée, il a été possible de réduire de 45 % les émissions de NH_3 par comparaison aux systèmes d'alimentation et de stabulation ordinaires.
- Les installations à litière profonde pour les phases de croissance et d'engraissement des porcs peuvent aider à réduire de 70 % les émissions de NH_3 comparativement aux installations ordinaires, mais elles entraînent une nette augmentation de la production de N_2O , l'un des principaux gaz responsables du réchauffement de la planète.

Émissions d'ammoniac pendant l'entreposage du lisier

L'exposition du lisier à l'air est le principal facteur responsable des émissions de NH_3 . À la différence du lisier de bovins laitiers, le lisier de porc forme rarement une croûte au cours de l'entreposage, ce qui entraîne de fortes émissions de NH_3 . Aux États-Unis, on a estimé que les pertes d'azote au cours de l'entreposage et de la manutention variaient de 60 à 80 % en bassin anaérobie et de 30 à 65 % en fosse souterraine avec épandage liquide. Des pertes d'azote atteignant 95 % ont été observées dans

l'est des États-Unis pour le lisier entreposé dans des bassins.

Plusieurs recommandations pourraient être utiles :

- La réduction des pertes de NH_3 pendant l'entreposage du lisier peut nécessiter d'importants investissements pour la modification des systèmes d'entreposage. Au cours d'une expérience en laboratoire, on a enregistré des pertes de 24 % de l'azote total du fumier par volatilisation de NH_3 avec l'utilisation de couvercles artificiels sur du lisier de porcs, comparativement à 76 % pour une installation sans couvercle. La plupart des nouvelles exploitations d'élevage porcin des Prairies canadiennes sont dotées de grands bassins pour l'entreposage; à l'opposé, aux Pays-Bas, la tendance consiste à entreposer le lisier de porc liquide dans des fosses fermées ou des enceintes closes pour réduire au minimum les pertes de NH_3 .
- La sphaigne de même que les acides sulfurique et phosphorique contribuent à réduire d'au moins 75 % les émissions de NH_3 provenant du lisier entreposé.
- Une couverture de paille ou de plastique réduit les émissions de NH_3 respectivement de 65 à 70 % et de 77 à 84 %, tandis qu'une couche d'huile minérale les réduit de 34 à 95 %.
- Des réductions des émissions de NH_3 provenant d'installations d'entreposage du lisier de porcs à l'engraissement ont été réalisées par l'ajout d'acides organiques ou d'autres additifs au lisier ainsi que par le refroidissement ou la séparation, l'aération et la recirculation du lisier.
- Le compostage a été préconisé comme méthode plus écologique de gestion pour les matières solides du lisier de porc, le fumier des bâtiments à litière profonde ou peu profonde ou, encore, le lisier additionné de tourbe ou de paille. Toutefois, des émissions importantes de NH_3 et de N_2O sont produites pendant la transformation en compost des déchets d'élevage du porc.

Émissions d'ammoniac après l'épandage

L'azote sous forme d'ammonium constitue jusqu'à 90 % de l'azote présent dans le lisier entreposé en conditions anaérobies. Après épandage, le pH augmente avec l'oxydation des acides gras à chaîne courte. Cette augmentation de pH, associée à une exposition à l'air, amène une perte d'azote sous la forme de NH_3 . Les émissions d'ammoniac augmentent lorsque le lisier est épandu sur des sols imperméables ou à pH élevé et quand les températures et les vents sont élevés. Différentes valeurs ont été rapportées : jusqu'à 90 % de la fraction d'azote ammoniacal du lisier peut être perdue après l'épandage. En France, les pertes de NH_3 provenant de lisier épandu sur des prairies ou des terres labourables se situaient entre 37 et 63 % de l'azote ammoniacal présent dans le lisier, avec 83 % des émissions se produisant au cours des six premières heures lorsque l'épandage était effectué au milieu de la journée. Entre 25 et 50 % de l'azote ammoniacal du lisier de porc épandu s'était volatilisé au bout de 1,5 à 4 heures après l'épandage. Aux Pays-Bas, la perte de la fraction d'azote ammoniacal du lisier (NH_3) atteignait 36 à 78 % après l'épandage dans des pâturages. Au Royaume-Uni, de 24 à 39 % de l'ammoniac perdu avait été libéré au cours de la première heure et 85 % au cours des douze premières heures suivant l'épandage. Il est évident que toutes ces valeurs indiquent une importante perte d'azote.

Une solution pourrait être retenue dans ce qui suit :

- Une stratégie efficace et facilement réalisable de réduction des émissions de NH_3 consiste à améliorer l'épandage du lisier, soit par injection ou par incorporation immédiate dans les terres labourables, soit en utilisant un épandeur à applicateur traînant dans les prairies. L'incorporation immédiate du lisier est la méthode la plus efficace de réduire la perte de NH_3 après l'épandage. Le labourage du sol avant l'épandage a aussi permis de réduire les émissions de NH_3 : les émissions d'ammoniac étaient en effet 1,5 fois plus importantes après l'épandage de lisier sur une prairie que sur un sol labouré. L'utilisation d'un épandeur à applicateur traînant dans les prairies a amené des

diminutions importantes des émissions de NH_3 et une meilleure récupération de l'azote par les graminées.

L'ADÉQUATION DES SOLS OU DES TERRES À L'ÉPANDAGE DU LISIER

Le problème

Le lisier de porc doit être considéré comme une ressource; sa gestion et son utilisation doivent donc être abordées en conséquence. L'épandage du lisier sur les sols cultivés est l'une des méthodes les plus évidentes pour recycler les éléments nutritifs : les éléments nutritifs du sol contenus dans les produits récoltés servant à l'alimentation des animaux sont retournés en partie au sol sous forme de lisier. La disponibilité des éléments nutritifs contenus dans le lisier est fonction de la composition de ce dernier et d'autres facteurs comme les pratiques de gestion et les caractéristiques du sol.

Un certain nombre d'installations d'élevage porcin sont établies sur des terres de faible productivité pour des raisons économiques (plus particulièrement à cause du prix de la terre et de la proximité des marchés). Les terres agricoles de classes 4 et 5 ont généralement une texture allant de sablonneuse à loameuse et affichent fréquemment des caractéristiques d'humidité particulières : elles comportent différents types d'aquifères à faible profondeur et la qualité du sol et de l'eau y est fragile. Pour ces raisons, il est très important que les producteurs disposent de protocoles ou de lignes directrices acceptables du point de vue de l'environnement concernant l'épandage du lisier. Une base de données numériques sur les sols pourrait servir de fondement géographique à ces lignes directrices et des cartes d'épandage provisoires pourraient être produites au moyen de systèmes d'information géographique (SIG).

L'adéquation du sol à l'épandage du lisier est fonction de plusieurs paramètres :

- Les sols à texture forte sont peu perméables et ne favorisent pas la décomposition; le régime d'épandage du lisier doit donc y être plus faible que sur les sols à texture grossière, qui sont très perméables et favorisent une décomposition rapide du lisier.
- Les forts taux d'épandage du lisier sur des sols de texture grossière peuvent entraîner la contamination des eaux souterraines en raison du lessivage des éléments nutritifs; par contre, des taux d'épandage élevés sur des terres fortes peuvent être avantageux en raison de la forte capacité de rétention des éléments nutritifs de ces sols.
- Le lisier ne devrait pas être épandu sur la neige ou un sol gelé, particulièrement lorsque le sol est sujet à un rapide ruissellement printanier.
- Les champs fortement amendés avec du lisier ne devraient pas être laissés en jachère d'été pour éviter le lessivage de l'azote et la contamination possible de l'eau souterraine.

L'information concernant les effets du lisier de porc sur les propriétés physiques du sol est limitée. Toutefois, on peut s'attendre à ce que ces effets soient semblables à ceux rapportés pour le fumier de bovins : ce dernier améliore l'agrégation du sol, en diminue la densité apparente et en améliore la structure et la capacité de rétention d'eau grâce à une augmentation de la teneur en matière organique. Les changements de la composition chimique du sol sous l'effet de l'épandage de lisier dépendent surtout de facteurs comme la texture du sol, le taux d'épandage, la période et la méthode d'épandage du lisier ainsi que l'importance des précipitations locales et la nature des cultures.

Il a été démontré que de fortes doses de lisier augmentaient plus rapidement la teneur en nitrates, en phosphore assimilable ainsi qu'en potassium et en sodium échangeables que les engrais chimiques. L'épandage de lisier entraîne également l'accumulation de nitrates ainsi que de phosphore et de sodium extractibles dans le sous-sol : le niveau d'accumulation augmente avec le taux d'épandage. Le lisier de

porc affiche un rapport N/P plus bas que celui des plantes cultivées; ainsi, lorsque l'apport en azote dans une culture se fait par l'épandage de lisier, l'apport en phosphore excède les besoins des plantes, ce qui peut se traduire par une exportation du phosphore par lessivage et ruissellement. Cette question sera traitée plus en détails plus loin.

Dans le cas de forts taux d'épandage, le calcium et le magnésium peuvent être délogés des sites d'échange par les ions concurrents présents dans le lisier, comme Na^+ , K^+ , et NH_4^+ , et lessivés de la couche arable pour s'accumuler en partie dans les couches plus profondes. Les ions H^+ produits au cours de la conversion du NH_4^+ en NO_3^- peuvent déloger les cations Ca et Mg présents sur les colloïdes du sol et abaisser ainsi le pH à la surface du sol. Les sels ou les additifs présents dans le régime alimentaire peuvent changer la composition du lisier; différents ions peuvent s'accumuler dans le sol. Le lisier provenant de porcs dont l'alimentation est riche en cuivre a augmenté légèrement les teneurs en Cu, en Zn, en P, en Ca et en Mg du sol, par comparaison à un échantillon témoin. De la même façon, une augmentation de la salinité du régime alimentaire a amené un accroissement des niveaux de sodium dans le lisier et dans le sol.

L'intensité du lessivage des nitrates après l'épandage de fortes doses de lisier est fonction de facteurs comme le taux et la période d'épandage, le type de sol, le type de culture et sa durée ainsi que la fréquence et la quantité des précipitations. En régions tempérées, les concentrations de nitrates dans le sol sont généralement plus importantes en mai et diminuent par la suite, pendant la saison de végétation, en raison de l'assimilation de l'azote par les plantes et du lessivage. Le devenir de l'azote du lisier est aussi fonction, dans une certaine mesure, du contenu en carbone du lisier; ainsi, l'augmentation de la teneur en carbone du lisier peut augmenter le niveau de dénitrification dans le sol et réduire le risque de contamination des eaux souterraines par les nitrates. Au Québec, la concentration maximale de nitrates est atteinte à la fin de juin et au début de juillet. La dénitrification n'est pas particulièrement fonction du carbone dans les régions plus froides et humides et se produit dès que des conditions anoxiques se présentent : les émissions de N_2O sont importantes peu de temps après l'ajout d'engrais ou dans les 20 jours suivant l'épandage de lisier. Ici, la volatilisation est beaucoup plus importante que la dénitrification, qui représente seulement de 2 à 5 % des pertes. Le lessivage des éléments nutritifs en solution, en particulier les nitrates, vers les couches inférieures du sol peut être plus préoccupant lorsque le lisier est injecté plutôt qu'épandu en couverture, selon l'accessibilité des macropores du sol.

Vers une solution

L'adéquation du sol à l'épandage du lisier est une question d'intérêt national et international. La détermination des taux d'épandage est basée généralement sur la capacité des plantes à assimiler les éléments nutritifs, le plus souvent selon les besoins en azote de la culture.

- D'autres facteurs pourraient améliorer la gestion aussi bien des sols que des fumiers ainsi que la protection de l'environnement. Par exemple, des recommandations sur les taux d'épandage en fonction des sols seraient utiles aux producteurs et aux entreprises commerciales et profiteraient éventuellement au public en général. Elles pourraient être établies en combinant l'information pertinente sur les ressources (traitée avec des techniques de SIG) à des données sur le volume et la qualité du lisier.
- L'information concernant la capacité du sol à assimiler le lisier de porc est limitée. La recherche a été davantage orientée vers les techniques de traitement, de manipulation, d'épandage du lisier ainsi que de réduction des volumes de lisier. L'information disponible sur les sols et les cultures peut servir à établir des taux de charge de lisier présentés sous la forme de cartes du « risque » d'après le type de sol, le relief, l'hydrologie, la température, les précipitations, le type de culture et les pratiques culturales, la qualité du fumier et le moment de l'épandage. L'élaboration de lignes directrices sur l'utilisation du lisier de porc pour maintenir et améliorer la productivité des sols agricoles et non agricoles et offrir aux producteurs une option pour l'élimination et la valorisation

d'un sous-produit aura des répercussions importantes sur la gestion des terres et les pratiques culturales. Les risques relatifs aux taux de charge peuvent être établis.

- Il faudra notamment établir des lignes directrices sur les taux d'épandage qui tiendront compte du devenir des matières épandues de façon à optimiser l'utilisation des éléments nutritifs et à réduire au minimum les pertes par lessivage, à limiter l'accumulation de sels et de métaux dans le sol et à protéger les eaux souterraines.
- Les projets pluridisciplinaires réunissant l'expertise indispensable dans les domaines de la géochimie environnementale, de la pédologie, de la physico-chimie du sol et de la microbiologie contribueront de façon importante à la solution du problème.
- La connaissance détaillée des types de sol, de leurs caractéristiques chimiques, physiques, biologiques et minéralogiques et de leur variabilité spatiale ainsi que des conditions climatiques locales peut servir à définir les relations sol-plantes et la productivité potentielle.
- Les protocoles de recherche devraient avoir pour objet l'utilisation efficace du lisier pour améliorer la teneur en éléments nutritifs des sols. En outre, les méthodologies devraient incorporer de l'information sur les sols et les paysages telle que la perméabilité du sol (texture et épaisseur), le pH, la teneur en matière organique, la température et l'humidité du sol, le risque de ruissellement en surface, ainsi que la vitesse de biodégradation et la qualité du lisier (bilan des éléments nutritifs et des sels, teneur en oligo-éléments et en métaux lourds, etc.).
- L'information sur les ressources pédologiques de plusieurs provinces a été compilée dans des bases de données informatisées standard convenant à l'analyse et à la présentation à l'aide des techniques de SIG. L'information sur les sols d'Agro-Manitoba est maintenant informatisée et est gérée selon des formats standard pour être utilisée et appliquée dans un environnement de SIG. Une telle base de données peut faciliter l'extrapolation de recommandations sur la gestion aux terres et aux paysages agricoles.

LE PHOSPHORE

La gestion des déchets d'origine animale comme le lisier a contribué à l'expansion rapide de l'industrie du porc au Canada, et ce phénomène risque de se poursuivre dans les provinces des Prairies. En 1996, environ 55 % de l'ensemble des stocks de porcs se trouvaient au Québec et en Ontario et 42 % dans les Prairies, principalement en Alberta et au Manitoba. Le lisier était épandu en grande quantité et l'uniformité de l'épandage était un problème. Le Québec serait la seule province dotée d'une législation régissant la gestion des fumiers. Depuis 1978, la loi a spécifié la distance minimale devant séparer les immeubles des installations d'entreposage ainsi que le taux d'épandage selon les besoins en azote de la culture. La Colombie-Britannique possède une législation réglémentant certains aspects de la gestion des fumiers, dont la distance par rapport aux cours d'eau et aux immeubles et l'utilisation dans les champs. La Colombie-Britannique dispose également de lignes directrices concernant l'épandage qui sont basées sur l'azote et la culture.

Les taux d'épandage habituels sont basés sur les besoins en azote de la culture. Ceci a souvent amené une augmentation de la teneur en phosphore du sol, excédant les besoins de la culture, en raison du rapport azote-phosphore plus élevé dans le fumier (4/1, en moyenne) que dans les prélèvements par les cultures (7/3 pour les principales céréales et les fourrages). Le problème de l'accumulation de phosphore dans le sol est différent selon les régions au pays. Le lisier de porc n'est pas excessivement abondant dans les provinces de l'Atlantique. Les niveaux de phosphore constituent un problème en Ontario, au Québec et en Colombie-Britannique. La plupart des producteurs de porcs du Québec et de la Colombie-Britannique ne disposent pas de ressources en terres suffisantes pour utiliser tout le

lisier de manière écologique. Quelque 3 000 fermes sont dans cette situation au Québec. Les ressources en terres sont suffisantes dans les Prairies pour écouler le lisier. Les sols y sont considérés comme déficients en azote et en phosphore et demandent des apports annuels des deux éléments si l'on veut profiter d'une croissance optimale des cultures. La nature calcaire des sols restreint la mobilité du phosphore minéral. Toutefois, une gestion inadéquate du lisier crée un risque de contamination des eaux de surface par le phosphore en raison du ruissellement sur les terrains en pente. De plus, l'épandage de lisier en excès peut augmenter le risque de mouvement du phosphore organique vers les aquifères peu profonds.

Le problème

Le lisier, avec une teneur élevée en carbone et en phosphore solubles, peut entraîner la présence de fortes concentrations de phosphore hydrosoluble (P_w) dans la couche arable et le sous-sol, augmentant ainsi le risque de transport du phosphore par les eaux de surface et souterraines. Des études en parcelle ont démontré des pertes importantes de phosphore par le ruissellement, même à des taux d'épandage recommandés. La migration du phosphore est fonction des cultures : la migration est beaucoup plus importante dans le cas des cultures fourragères que pour le maïs, car les biopores sont plus accessibles lorsqu'il n'y a pas de travail du sol. Dans les sols sableux et argileux sans pente et mal égouttés, les drains peuvent contribuer à déplacer le phosphore vers les nappes d'eau lorsque les conditions sont favorables. Dans les sols argileux qui se crevassent, qui se gonflent et se rétractent, le phénomène de l'écoulement préférentiel peut causer le transport du lisier directement de la surface du sol jusqu'aux drains.

Des études menées dans des bassins hydrographiques québécois comportant une forte concentration d'unités d'élevage porcin ont montré une importante augmentation de la teneur en phosphore bio-assimilable dans le sol et une diminution de la capacité de sorption du phosphore dans les sols des fermes porcines. Des concentrations en phosphore très supérieures à la valeur seuil de $0,03 \text{ mg L}^{-1}$ ont été relevées dans des bouches d'évacuation de drains et dans les eaux de ruisseaux et de rivières. Au moins six bassins hydrographiques de la province de Québec affichent un surplus d'azote et de phosphore dépassant un million de kilogrammes par rapport aux besoins des cultures. Des taux d'épandage supérieurs aux besoins des cultures engendrent un enrichissement du sol et réduisent considérablement la capacité de rétention du sol : des augmentations de plus de $1\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ dans la couche arable, de 275 kg ha^{-1} dans l'horizon B et de 500 kg ha^{-1} dans l'horizon C ont été mesurées dans les sols de fermes porcines par rapport à des sols forestiers dans le bassin hydrographique de la rivière Beaurivage au Québec. Les sédiments du bassin hydrographique de la rivière Boyer, très importante pour le frai des éperlans, sont saturés de phosphore. Un rapport significatif entre la quantité de solides en suspension et la concentration totale de phosphore à l'embouchure a été établi pour 16 rivières importantes des basses terres du Saint-Laurent. Ceci donne à penser que l'érosion des sols enrichis en phosphore a été importante dans les terrains en pente, de même que l'infiltration préférentielle dans les sols drainés sans pente.

Au Québec, un projet de loi vise à empêcher l'épandage de lisier sur des sols riches en phosphore ou tout au moins à limiter les apports à la quantité prélevée par les plantes récoltées. Cette loi, qui n'est pas encore adoptée, pourrait aggraver le problème du lisier excédentaire dans certains bassins hydrographiques, car elle pourrait faire augmenter de manière importante et même doubler la superficie nécessaire pour écouler le lisier.

Dans les Prairies, des apports d'azote et de phosphore sont nécessaires pour répondre aux besoins des productions agricoles. Dans les sols calcaires, les phosphates minéraux solubles réagissent rapidement avec le calcium et le magnésium et sont ainsi immobilisés. Toutefois, seulement de 40 à 50 % du phosphore présent dans le lisier est minéralisé au cours de la première année suivant l'épandage. Des épandages de lisier mal planifiés peuvent polluer les eaux de surface par le ruissellement du phosphore sur les terres en pente ou le lessivage du phosphate organique dans les

aquifères à faible profondeur .

Vers une solution

Régimes alimentaires qui réduisent la teneur en phosphore du lisier

- L'ajout de phytase à la nourriture des porcs peut augmenter de 50 à 70 % l'assimilation du phosphore alimentaire et réduire le besoin en suppléments minéraux phosphorés (phosphates monocalcique et bicalcique) dans les rations.
- L'ajout de cellulase et l'emploi de techniques de traitement améliorées peuvent réduire de 5 à 30 % la teneur en phosphore du lisier.
- L'ajustement de la composition des aliments en fonction des besoins en éléments nutritifs à des stades précis de la croissance diminue l'excrétion de phosphore. Toutefois, cela peut avoir un certain effet sur le taux de croissance des animaux.
- L'augmentation de la digestibilité des aliments au moyen de techniques de traitement diminue les excès d'éléments nutritifs apportés pour atteindre un taux de croissance maximal et réduit jusqu'à 5 % l'excrétion de phosphore.

Implanter des pratiques agronomiques permettant de mesurer les effets du phosphore

- De nouvelles lignes directrices pour l'épandage du lisier établies en fonction du phosphore plutôt que de l'azote sont nécessaires. Il faudra toutefois de plus grandes superficies de terre pour écouler la même quantité de lisier.
- Des analyses de sol, basées sur les caractéristiques pédologiques qui jouent un rôle dans la migration du phosphore (pente, teneur en Al, drainage, tendance du sol à se crevasser, etc.), doivent être entreprises. Un système d'information sur les sols et la technique de SIG peuvent aider à mettre sur pied un système intégré et informatisé d'aide à la décision facilement utilisable par les agronomes et les agriculteurs.
- La gestion du lisier en fonction des bassins hydrographiques, assurée par les associations agricoles, sera nécessaire pour coordonner et promouvoir l'utilisation du lisier avant toute autre source d'éléments nutritifs. Des taux d'épandage spécifiques aux différents sols doivent être établis. Il faut également examiner les répercussions à long terme d'apports répétés.
- L'extraction de la partie solide (5 % en volume) du lisier de porc permettrait de réduire de 50 % le contenu en phosphore. La partie liquide pourrait ensuite être concentrée.
- Un traitement avec du sulfate d'aluminium pour précipiter le phosphate, comme on le fait avec les boues urbaines, pourrait transformer le phosphore du lisier en des formes très peu solubles qui pourraient être épandues dans les champs sans trop augmenter leur teneur en d'autres éléments instables. Cependant, la biodisponibilité à long terme de ces composés doit faire l'objet d'une recherche plus poussée.
- Comme solution de rechange, il est possible d'utiliser de la litière comportant un rapport C/P élevé ou d'incorporer au lisier des matières riches en carbone (copeaux de bois, résidus de pâtes et papier, etc.) afin de produire des composts qui seront utilisés ailleurs pour remettre en état des sols pauvres en matière organique.

Pratiquer une gestion du lisier permettant de limiter l'accumulation du phosphore

- L'épandage du lisier à l'automne sans incorporation au sol devrait être interdit, car une forte pluie entraînerait une sérieuse contamination de l'eau et des sédiments.
- L'étalonnage de l'équipement d'épandage du lisier est nécessaire pour permettre un apport approprié en éléments nutritifs.
- Les systèmes de culture en bandes alternantes avec graminées vivaces ou la plantation de haies pluriétagées pour servir de tampon le long des cours d'eau sont grandement susceptibles de réduire la contamination par le phosphore attribuable au ruissellement sur les terres en pente. De tels

systèmes peuvent aussi permettre d'éliminer le phosphore des veines d'eau souterraines latérales dans les sols peu profonds et de retenir les particules emportées par le vent.

- Un léger travail du sol peut réduire les pertes de phosphore par ruissellement sur les terres en pente et augmenter les prélèvements de phosphore dans les Prairies aux endroits où les pertes de phosphore dans les eaux de drainage sont limitées.
- L'épandage stratégique d'azote sous la forme d'ammoniaque est reconnu pour accroître les prélèvements de phosphore, soit directement, soit en augmentant la solubilité du phosphore présent dans le sol.
- Les recommandations doivent viser l'utilisation du phosphore résiduel dans le sol en combinaison avec de petites quantités de phosphore soluble comme engrais de démarrage.
- L'utilisation de cultures-abris pour la production céréalière de printemps peut permettre l'épandage de lisier à l'automne dans les régions à faibles précipitations.
- La mise en place de cultures à fort prélèvement de phosphore (le maïs-ensilage dans les zones de plus de 2 500 U.T.M. ou le canola dans les zones de climat frais de moins de 2 500 U.T.M., par exemple).
- L'utilisation d'autres cultures comme les fourrages ou les arbres (érables à sucre, p. ex.) devrait être envisagée.

Assurer la gestion de l'eau

- Le travail de conservation du sol peut réduire les transferts de sol et de phosphore dans les eaux de ruissellement, bien que la proportion de phosphore biodisponible à la fois sous la forme soluble et sous la forme de particules puisse augmenter. En conséquence, les décisions agricoles pouvant avoir un lien avec l'eutrophisation devraient tenir compte des pertes de phosphore total et de phosphore biodisponible du lisier.
- L'utilisation de méthodes appropriées pour évaluer la biodisponibilité du phosphore sous la forme de phosphore soluble et de phosphore particulaire biodisponible est nécessaire pour déterminer l'effet de l'épandage du lisier de porc ou des pratiques de gestion agricole sur la productivité biologique des eaux de surface.
- Il faudrait évaluer la réponse potentielle à la teneur résiduelle en phosphore des sols amendés avec du lisier, avec ou sans rotations, à court et à long terme.

CONTRIBUTION DE LA RECHERCHE

Nouvelles techniques de résolution des problèmes à court terme

- Établir une méthode standard pour évaluer la qualité des additifs, de l'air, du sol et de l'eau ainsi que les odeurs inconfortables.
- Améliorer les pratiques d'épandage du lisier afin de réduire les émissions de NH_3 .
- Réduire les pertes de NH_3 pendant l'entreposage.
- Élaborer des lignes directrices concernant la gestion du lisier qui tiennent compte de l'interaction entre le sol et les éléments nutritifs du lisier, des caractéristiques du sol, des facteurs saisonniers, des interactions entre les minéraux, des mouvements des eaux de surface et souterraines, etc.
- Étudier les effets de l'ajout de matières riches en carbone au lisier pour améliorer le comportement des éléments nutritifs du lisier.
- Évaluer l'adaptabilité et les aspects économiques de la mise en œuvre des techniques disponibles.

- Évaluer les effets de l'alimentation adaptée au stade de développement, de la composition des régimes alimentaires et de l'équilibre des acides aminés dans les aliments sur la réduction des émissions d'ammoniac, la composition du lisier et la réduction des odeurs émanant du lisier.
- Séparer les parties liquide et solide du lisier et transformer les solides en compost pour réduire les émissions de gaz.
- Modifier la conception des installations d'élevage pour améliorer la gestion du lisier et réduire les émissions de gaz.
- Amasser de l'information sur les cycles des éléments nutritifs présents dans le lisier et leur utilisation effective par les cultures annuelles (il s'agit aussi d'un objectif à long terme).
- Déterminer quelles sont les cultures qui, dans les conditions climatiques du Canada, prélèvent des éléments nutritifs en automne; ces dernières permettraient l'épandage de lisier en automne et réduiraient du même coup la période totale d'entreposage.
- Continuer l'évaluation des types de sols et de leur adéquation à différentes méthodes d'épandage.
- Augmenter l'efficacité des phosphates dans les régimes alimentaires (phytase, cellulase, formulation) pour réduire l'utilisation excessive de suppléments.

Besoins en recherche à long terme

La production porcine, une industrie totalisant plus de deux milliards de dollars, est pratiquée partout au Canada. Cette activité est en expansion, mais à des rythmes différents selon les provinces. Dans l'ensemble, la production a connu une hausse de 7 % en 1995 par rapport à l'année précédente. Il est à noter qu'une importante part de la production va à l'exportation. Environ 30 % de la production canadienne a été exportée dans 55 pays, et le potentiel d'expansion de la production est réel. Cependant, toute augmentation de la production sera accompagnée d'une augmentation des besoins : aliments pour animaux, qualité des aliments, installations d'élevage, entreposage du lisier, et ressources en terres pour l'épandage. De plus, un grand nombre de personnes seront touchées par les problèmes environnementaux occasionnés par l'élevage.

Quatre problèmes ont été vus dans les chapitres précédents. Il s'agit :

- de la production d'odeurs émanant des installations d'élevage et de l'entreposage du lisier
- de la pollution de l'air
- de l'adéquation des sols à l'épandage de lisier
- de l'accumulation du phosphore dans les sols amendés avec du lisier.

Ces questions peuvent être considérées comme des problèmes à court terme à l'égard desquels, semble-t-il, d'importants progrès seront réalisés au cours des quatre prochaines années. Les effets de la production porcine sur la qualité de l'eau ont également été soulevés.

Les aspects à long terme de la production porcine ainsi que de la manipulation et de l'élimination du lisier sont multiples. Pour s'attaquer aux problèmes dans leur ensemble, il est nécessaire de mettre au point un plan intégré qui tient compte de tout le cycle de production. Le plan traitera entre autres des questions suivantes :

- les aliments et l'alimentation
- les bâtiments
- la santé des porcs
- la production et l'entreposage du lisier
- les odeurs du lisier et la production de gaz

- la manutention et l'épandage du lisier axés sur la conservation des éléments nutritifs utiles
- les moyens rentables de traitement ou de conditionnement du lisier pour son utilisation ultérieure
- les effets du lisier sur l'environnement.

Il faut travailler de façon soutenue sur ces points et, en bout de ligne, y trouver une solution acceptable si l'on veut que le problème de l'augmentation de la production porcine soit résolu de manière satisfaisante.

Pour réussir, il faudra que le secteur privé, les producteurs et les entreprises de génie rural de même que les groupes de recherche participent activement.

Aliments et alimentation

- Mettre au point des aliments qui optimisent la croissance, réduisent au minimum les coûts et maximisent les profits des producteurs, qui cherchent des moyens d'optimiser l'efficacité de la production. D'autres problèmes peuvent être réglés en agissant sur la formulation des rations.
- Modifier l'équilibre des acides aminés dans les rations afin de réduire les concentrations d'azote dans les fèces. L'augmentation de l'efficacité des aliments de porcs peut amener une diminution des coûts d'alimentation et de la quantité de lisier à gérer. La modification de la composition du lisier aura des répercussions sur le type de fermentation qui se produira dans la fosse à lisier, les odeurs (les composés qui les produisent sont des sous-produits des ingrédients du lisier) et la production de gaz (les gaz sont des sous-produits de la fermentation des éléments nutritifs du lisier, du recyclage de minéraux, etc.)
- Complexes minéraux : les minéraux présents dans les aliments s'y trouvent normalement sous la forme de complexes organo-minéraux. Le mélange de différents aliments peut amener la formation de nouveaux complexes organo-minéraux qui peuvent rendre certains minéraux moins disponibles pour les animaux et rendre également ces mêmes minéraux dans le lisier moins disponibles pour les plantes dans les champs.

Environnement et bâtiments des animaux

- La ventilation est le principal facteur. Les porcs ont des besoins très particuliers en air frais. L'air frais est en effet indispensable pour maintenir la santé des animaux, régulariser la température de leur corps, diminuer les concentrations de poussières dans l'atmosphère, maintenir les taux de croissance grâce à un métabolisme bien régularisé, etc. La plupart des techniques s'appliquant à ce volet de l'environnement sont bien comprises, mais elles doivent être mises en pratique pour produire les effets désirés.

Entreposage du lisier

- Installations d'entreposage : beaucoup d'efforts ont été consentis pour déterminer les conditions adéquates pour l'entreposage du lisier. De nombreux systèmes d'entreposage peuvent être choisis, selon le type de bâtiments, le nombre d'animaux, la topographie naturelle, la pluviométrie, etc. Le principal problème est de déterminer le type d'installation d'entreposage convenant à chaque exploitation et ses dimensions. Le coût est également un facteur important.
- Entreposage et séparation du lisier : l'entreposage du lisier nécessite le stockage et la manipulation de grandes quantités d'eau pendant une bonne partie de l'année. Si le lisier est séparé en fractions liquide et solide, chacune sera gérée séparément. La partie liquide peut être concentrée, fermentée, séchée, utilisée comme milieu hydroponique, ajoutée à l'eau d'irrigation, etc. La partie solide peut

être séchée et entreposée à moindre coût, transformée en compost, ensachée, épandue avec de l'équipement classique, etc.

- Association du lisier avec d'autres déchets dans la fosse à lisier : de nombreux résidus des forêts, des pêches et de l'agriculture peuvent effectivement être combinés au lisier pour en augmenter la stabilité ou pour ajouter des éléments nutritifs au produit final.

Épandage du lisier

- Épandage du lisier à l'automne : lorsque la croissance des cultures cesse à l'automne, l'épandage du lisier risque fort de se traduire par une perte d'éléments nutritifs sous l'action de la pluie, du ruissellement de surface et de la fonte des neiges au printemps. Les producteurs de porcs doivent vider leurs réservoirs à l'automne pour faire de la place en vue de la production de l'hiver et du printemps. Les besoins annuels d'entreposage peuvent atteindre neuf mois dans certaines parties du Canada. Il faut donc recourir à des espèces végétales qui présentent une certaine tolérance au gel et dont la croissance se poursuit tard à l'automne. Il faut en outre déterminer le meilleur moment et la meilleure méthode pour l'épandage du lisier à l'automne.
- Manutention des composants humides et secs du lisier : le choix d'une méthode sera fonction de l'adoption d'un mode de conservation du lisier entier ou d'un mode de conservation du lisier en composants distincts (liquides et solides).
- Effets des conditions pédologiques et de la température sur la perte de composants volatils du lisier : l'effet de la température, du moment du jour, des précipitations à venir, du vent, de l'humidité relative, du type de sol et de sa surface, de la topographie, du type de lisier, de la culture, du type d'équipement d'épandage, de la taille du tracteur, etc., peut influencer fortement sur l'efficacité de l'épandage du lisier.
- Adaptation des systèmes d'épandage du lisier aux méthodes culturales de conservation du sol : les méthodes culturales de conservation du sol n'ouvrent pas le sol de sorte que le lisier épandu en surface pourrait être enterré et protégé des facteurs qui favorisent la libération des composants volatils. Des adaptations semblables des techniques d'épandage pour les cultures vivaces, comme les fourrages, sont requises.
- Accumulation de bactéries présentes dans le lisier : l'effet des bactéries d'origine animale ou environnementale qui sont disséminées avec le lisier n'est pas encore bien compris. Ont-elles un effet cumulatif à long terme sur le sol ou sur les cultures? Les pathogènes sont-ils anaérobies et, par le fait même, tués lorsqu'ils sont répandus dans un environnement aérobie? Est-il nécessaire de transformer le lisier en compost pour éviter de réinfecter les animaux nourris de plantes fertilisées avec leur propre lisier?
- Le problème des bactéries doit aussi être envisagé du point de vue de la salubrité des aliments.

L'eau

- Manipuler la partie liquide du lisier : cette partie du lisier contient de grandes quantités d'éléments nutritifs solubles qui sont immédiatement assimilables par les plantes et facilement transportés dans l'environnement par les eaux de surface. À mesure que des procédés de séparation des parties liquide et solide du lisier sont mises au point, des techniques pour le transport et l'épandage de cette partie liquide doivent aussi être élaborées.
- Évaluer la possibilité de migration d'éléments nutritifs solubles et d'autres éléments (Zn, Cu, etc.) vers les eaux souterraines. La plupart des données de base sur le mouvement de l'eau et des produits chimiques dissous dans les différents types de sol sont connues. Elles doivent cependant

être résumées en un format facile à comprendre et présentées aux producteurs afin qu'ils puissent éviter de contaminer les eaux souterraines à leur insu. Une telle démarche tiendra également compte des réserves d'eau potable pour la consommation humaine et du recyclage des éléments nutritifs dans l'élevage du bétail.

- Élaborer des règles de gestion des éléments nutritifs que peuvent contenir les eaux de surface et qui peuvent être entraînés vers des champs voisins, des mares-réservoirs des fermes ou des ruisseaux et des rivières écologiquement vulnérables. Il faut notamment tenir compte du moment de l'épandage, de la capacité d'absorption des sols, du niveau de la nappe phréatique, du taux d'incorporation de l'eau à la matrice du sol, des interactions entre les minéraux, du pH, etc.

CONCLUSION

L'existence d'une production porcine économiquement et écologiquement viable au Canada nécessite l'adoption d'une démarche par systèmes.

- La réduction des émissions de NH_3 par les élevages porcins doit être réalisée dans le cadre d'une approche par systèmes qui tient compte à la fois de la viabilité économique et de la pérennité de l'environnement. L'environnement est en effet menacé par les émissions de NH_3 et de gaz à effet de serre, les odeurs et la détérioration des eaux de surface et souterraines par les nitrates et la DBO. La plupart des installations d'élevage porcine ont été conçues sans que l'on se soucie de disposer d'une méthode rentable de gestion du lisier qui valoriserait les éléments nutritifs de ce dernier et limiterait les dommages à l'environnement. Comme la taille des installations d'élevage porcine augmente au Canada, il est impératif de tenir compte du coût d'une gestion écologique du lisier.
- La réduction des émissions de NH_3 causées par les installations d'entreposage et l'épandage du lisier peut accroître les coûts de production en raison de l'augmentation du coût en capital engendrée par les installations d'entreposage et l'équipement ainsi que du besoin de plus grandes superficies de terres pour épandre le lisier sans accroître le risque de contamination de l'eau souterraine par les nitrates et le phosphore.
- De meilleures stratégies d'alimentation peuvent se traduire par des coûts en aliments légèrement plus élevés, mais peuvent réduire du même coup la quantité de terres nécessaires pour un épandage écologique du lisier.
- La gestion écologique du lisier doit faire partie intégrante de l'équation économique de la production porcine. Une telle approche pourra mener à la mise au point de nouvelles stratégies de production, comme la stabulation en groupe sur de la litière pouvant être transformée en compost et exportée à l'extérieur des exploitations d'élevage intensif. La créativité doit être combinée à une pleine compréhension des répercussions environnementales des systèmes de production.

Membres du groupe de consultation

Les personnes suivantes, membres du groupe de consultation, ont participé à la préparation du présent rapport :

Lorraine Bailey, Brandon
Bruce Bowman, London

Katherine Buckley, Brandon
Roy Bush, Nappan
Robert Eilers, Winnipeg
Daniel Massé, Lennoxville
John W. Paul, Agassiz
Vernon Rodd, Nappan
Régis Simard, Sainte-Foy
Christian De Kimpe, éditeur, Ottawa

Bibliographie

LES ODEURS

- Aerial Environment in Animal Housing - Concentration in and Emissions from Farm Buildings. Working Group Report Series - No. 94.1.
- Al-Kanani, T., Akochi, E., Mackenzie, A.F., Alli, I., et S. Barrington. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. *J. Environ. Qual.* **21** : 709-715.
- Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R.W., Phillips, V.R., Misselbrook, T.H., et Pain, B.F. 1995. Odour and ammonia emissions from broiler houses: a farm scale study on the use of De-Odorase[®] and clinoptilolite zeolite. In : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre, 1995. pp. 56-60.
- Anonyme. 1995. Option for Managing Odors. A report from the Swine Odor Task Force, North Carolina Agricultural Research Service, North Carolina State University. 34 pp.
- Barrington, S. 1995. Zeolite to control manure odours and nitrogen volatilization. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 65-68.
- Barrington, S., et Moreno, R.C. 1995. Swine manure nitrogen conservation in storage using sphagnum moss. *J. Environ. Qual.* **24**: 603-307.
- Bourque, D., Bisailon, J.G., Beaudet, R., Sylvestre, M., Ishaque, M., et Morin, A. 1987. Microbiological Degradation of Malodorous Substances of Swine Waste under Aerobic Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, **53**: 137-141
- Bundy, D.S., et Greene, G. 1995. Evaluation of alkaline by-products for the control of swine odours in manure storages. *in* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 73-76.
- Burnett, W.E. 1969. Air pollution from animal wastes. *Environ. Sci. Technol.* **3** : 744-749.
- De Bode, M.J.C. 1990. Odour and Ammonia Emission from Manure Storage. *In* : Nielson, V.C., Voorburg, J.H., L'Hermite, P., éd. *Odour and Ammonia Emissions from Livestock Farming*. Elsevier Applied Science, London. pp. 59-66
- Donham K.J., Yeggy, J., et Dague, R.R. 1985. Chemical and Physical Parameters of Liquid Manure from Swine Confinement Facilities: Health Implications for workers, Swine and the Environnement. *Agricultural Wastes* **14**. pp. 97-113
- Dorling, T. A. 1977. Measurement of odour intensity in farming situations. *Agr. Environ.* **3**: 109-120.
- Frost, J.P. 1994. Effect of spreading method, application rate and dilution on ammonia volatilization from cattle slurry. *Grass For. Sci.* **4** : 391-400.
- Frus, J.D., Jazen, T.E., et Miner, J. R. 1971. Chemical oxygen demand of gaseous air contaminants. *Trans. Am. Soc. Eng.* **14** : 837-840.
- Goodrich, P.R., Martinez, B.C., McEvoy, T.J., Arbisi, D.S., Conover, S.P., et Lam, R. 1995. Odor reduction in swine manure using bubbleless oxygenation. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 2-4.
- Hammond, E.G., Fedler, C., et Smith, R.J. 1981. Analysis of particle-borne swine house odors. *Agric Envir.* **6** : 395-401.

- Hangartner, M. 1988. Scaling of Odour Intensity. *In* : Measurement of Odour Emissions. Proceeding of a Workshop of the Ad Hoc EEC Group on Odours, Zurich, Suisse, pp. 20-21.
- Hartung, J., et Philips, V.R. 1994. Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. *J. Agric. Engng Res.* **57** : 173-189.
- Hobbs, P., Pain, B.F., et Misselbrook, T.H. 1995. Odorous compounds and the emission rates from livestock wastes. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 5-10.
- Hodgson, A.S. 1971. The elimination of odour from the effluent gases of a chicken manure drying plant. *J. Agric. Engng Res.* **16** : 387-393.
- Jongebreur, A.A. 1977. Odor problems and odor control in intensive livestock husbandry farms in the Netherlands. *Agric. Environ.* **3** : 259-265.
- Mensch, R.L., Johnson, J., et Nicolai, R.E. 1996. Evaluation of Commercial Manure Additive Odor Control Products in Deep Pit Barns. No de document de l'ASAE 96-4090. Réunion de l'ASAE, à Phoenix, Arizona, 14-18 juillet.
- Miner, J., R. 1982. Controlling Odors From Livestock Production Facilities. Published in North Central Regional Research Publication no. 284. Midwest Plan Service. Iowa State University, Ames, IA 50011.
- Miner, J. R., et Hongde, P. 1995. A floating permeable blanket to prevent odour escape. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 28-34.
- North Carolina Swine Odour Task Force. 1995. Options for managing odor. Report from the Swine Odour Task Force.
- O'Neill, D.H., Stewart, I.W., et Phillips, V.R. 1992. A review of the control of odour nuisance from livestock buildings : Part 2, the costs of odour abatement systems as predicted from ventilation requirements. *J. Agric. Engng Res.* **51** : 157-165.
- O'Neill, D.H., Phillips, V.R. 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. *J. Agric. Engng Res.* **53** : 23-50.
- Ontario Best Management Practices. 1994. Livestock and Poultry Waste Management.
- Pain, B.F., Misselbrook, T.H., et C.R. Clarkson. 1990. Odour and ammonia emissions following the spreading of anaerobically digested pig slurry on grassland. *Biol. Wastes*, **34** : 259-267.
- Phillips, V.R., Holden, M.R., White, R.P., Sneath, R.W., Demmers, T.G.M., Wathes, C.M. 1995. Measuring and Reducing Gaseous and Particulate air Pollution from UK Livestock Buildings. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Waste. ASAE, 241-251.
- Ritter, W.F., et Eastburn, R.P. 1980. Odor control in liquid swine and dairy manure with commercial products. *Canadian Agricultural Engineering*, **22** : 117-118.
- Rom, H.B. 1993. Ammonia Emmission from Livestock Buildings in Denmark. Livestock environment IV, Fourth International Symposium, University of Warwick, Coventry, England. ASAE, 1161-1169.
- Schmitt, M.A., Evans, S.D., et Randall, G.W., 1995. Effect of liquid manure application methods on soil nitrogen and corn grain yields. *J. Prod. Agric.* **2** : 186-189.
- Smith, R.J. 1993. Dispersion of odours from Ground Level Agricultural Sources. *J. Agric. Engng Res.*

54 : 187-200.

- Stephens, E.R. 1971. Identification of odours from cattle feedlots. *Calif. Agric.* **25** : 10-11.
- Sutton, A.L., Kephart, K.B., Patterson, J.A., Mumma, R., Kelly, D.T., Bogus, E., Jones, D.D., et Heber, A. 1995. Changing nitrogen levels in swine diets to reduce odors. *In* : Proceedings of the International Livestock Odor Conference '95, Iowa State University. 16-18 octobre 1995. pp. 127-130.
- Sweeten, J.M. 1989. Odor Measurement Technology and Applications : A State of the art Review. Seventh International Symposium on Agricultural and Food Processing Wastes. ASAE, 214-299.
- Thomas, E.D. 1996. All about odours. *In* : Animal Agriculture and the Environment. Proceedings from the Animal Agriculture and the Environment North American Conference. Rochester, New York, 11-13 décembre 1996. pp. 214-219.
- Waburton, D.J., Scarborough, J.N., Day, D.L., Mueling, A.J., Curtis, S.E., et Jensen, A.H. 1980. Evaluation of commercial products for odor control and solids reduction of liquid swine manure. *In* : Livestock Waste: A renewable resource, Proceedings, 4th International Symposium on livestock Wastes, Amarillo, Texas. pp. 201-203.
- Welsh, F.W., Schulte, D.D., Kroeker, E.J., et H.M. Lapp. 1977. The effect of anaerobic digestion upon swine manure odors. *Can. Agric. Eng.* **19** : 122-126.
- Yasuhara, A., et K. Fuwa. 1983. Isolation and analysis of odorous components in swine manure. *J. Chrom.* **281** : 225-236.
- Yasuhara A., Fuwa, K., et Jimbu, M. 1984. Identification of odorous compounds in fresh and rotten swine manure. *Agric. Biol. Chem.* **48** : 3001-3010.

LES ÉMISSIONS D'AMMONIAC

- Aasman, W.A., Pinksterboer, E.F., Maas, H.F., Erisman, J.W., Waijers-Ypelaan, A., Slanina, J., et Horst, T.W. 1989. Gradients of the ammonia concentration in a nature reserve: Model results and measurements. *Atmos. Environ.* **23** : 2259.
- Aasman, W.A.H., Hertel, O., Berkowiz, R., Christensen, J., Runge, E.H., Sorenson, L.L., Granby, K., Nielsen, H., Jensen, B., Gryning, S.E., Sempreviva, A.M., Larsen, S., Hummelshoj, P., Hensen, N.O., Allerup, P., Jorgensen, J., Madsen, H., Ivergaard, S., et Vejen, F. 1995. Atmospheric input to the Kattegat Strait. Institut national de recherches, Roskilde, Danemark.
- Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A.F., Alli, I., et Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. *J. Environ. Qual.* **21** : 709-715.
- Amon, M., Dobeic, M., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., Phillips, V.R., et Sneath, R.W. 1995. A farm scale study on the use of De-Odorase[®] for reducing odor and ammonia emission from intensive fattening piggeries. *Bioresource Technology*, **51** : 163-169.
- Andersson, M. 1995. Cooling of manure in manure culverts. A method of reducing ammonia emissions in pig buildings. Institut de technologie et des biosystèmes agricoles de Specialmeddelande, Université suédoise d'agronomie, Lund, Suède.
- Berendse, F., Laurijsen, C., et Okkerman, P. 1988. The acidifying effect of ammonia volatilized from farm manure on forest soils. *Ecol. Bull.* **39** : 136-138.
- Brewer, R.L., Gordon, J., et Shepard, L.S. 1983. Chemistry of mist and fog from the Log Angeles urban area. *Atmos. Environ.* **17** : 2267-2270.

- Burton, D.L., et Beauchamp, E.G. 1986. Nitrogen losses from swine housings. *Agricultural Wastes*, **15** : 59-64.
- Derikx, P.J.L., et Aarnink, A.J.A. 1993. Reduction of ammonia emission from slurry by application of liquid top layers. *In* M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen et J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, Pays-Bas.
- Gaider, K.M. 1997. Analysis of atmospheric ammonia as a potential atmospheric toxin. Direction de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.
- Groenestein, C.M. 1993. Animal waste management and emission of ammonia from livestock housing systems: field studies. *In* : E. Collins and C. Boon, éd. Livestock Environment IV. Proceedings of a conference held in Coventry, UK. ASAE. St. Joseph, MI.
- Hendriks, J.G.L., den Brok, G.M., et Voermans, M.P. 1995. Farrowing pens with low ammonia emission. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.134. Rosmalen, Pays-Bas.
- Hendriks, J.G.L., et Vrieling, M.G.M. 1996. Acidification of fattening pig manure with organic acids. Annual report of the Research Centre for Pig Production, No. 1.148. Rosmalen, Pays-Bas.
- Hoeksma, P., Verdoes, N., Oosthoek, J., et Voermans, J. 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. *Livestock Prod. Sci.* **31** : 121-132.
- Hoff, J.D., Nelson, D.W., et Sutton, A.L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. *J. Environ. Qual.* **10** : 90-95.
- Horlacher, D., et Marschner, H. 1990. Schatzrahmen zur beurteilung von ammoniakverlusten nach ausbringung von rinderflüssigmist. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **153** : 107-115.
- Katzel, R., Einert, P., Patz, G., Ritter, G., et Strohbach, B. 1995. Recovery of Scots pine stands near the former area of nitrogen emission at Lichterfelde/Britz. I. Air quality, soil conditions, vegetation and nutrient status of Scots pine stands. *Beiträge für Forstwirtschaft und Landschaftsökologie*, **29** : 5-9.
- Kreuzer, M., et Machmüller, A. 1993. Reduction of gaseous nitrogen emission from pig manure by increasing the level of bacterially fermentable substrates in the ration. *In* M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen et J.H.M. Metz, eds. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, Pays-Bas.
- Latimer, P., et Dourmad, J.Y. 1993. Effect of three protein strategies for growing-finishing pigs on growth performance and nitrogen output in the slurry and in the air. *In* : M.W.A. Verstegen, L.A. den Hartog, G.J.M. van Kempen et J.H.M. Metz, éditeurs. Nitrogen flow in pig production and environmental consequences. Proc. First Int. Symposium, PUDOC, Wageningen, Pays-Bas.
- Liao, P.H., Chen, A., et Lo, K.V. 1995. Removal of nitrogen from swine wastewaters by ammonia stripping. *Bioresource Technology*, **54** : 17-20.
- Lockyer, D.R., Pain, B.F., et Klarenbeek, J.V. 1989. Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. *Environ. Pollution*, **56** : 19-30.
- Moal, J.F., Martinez, J., Guiziou, F., et Coste, C.M. 1995. Ammonia volatilization following surface applied pig and cattle slurry in France. *J. Agric. Sci.* **125** : 245-252.
- Muck, R.E., et Steenhuis, T.S. 1981. Nitrogen losses in free stall dairy barns. *In* Proc. 4th Int. Symp. Livestock Wastes ASAE, St. Joseph, Mich. pp. 406-409.
- Pain, B.F., Phillips, V.R., Clarkson, C.R., et Klarenbeek, J.V. 1989. Loss of nitrogen through

- ammonia volatilization during and following application of pig or dairy slurry to grassland. *J. Sci. Food Agric.* **47** : 1-12.
- Paul, J.W., et Beauchamp, E.G. 1995. Nitrogen flow on two livestock farms in Ontario: a simple model to evaluate strategies to improve N utilization. *J. Sustainable Agriculture*, **54** : 35-50.
- Paul, J.W., Scott, T.A., et Barton, P.K. 1997. Ammonia emissions and nitrogen balances during poultry broiler production. Pacific Agriculture Research Centre Technical Rep. 133. Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Robertson, A.M., et Galbraith, H. 1971. Effect of ventilation on the gas concentration in a part-slatted piggery. *Farm Building R & D Studies*. (May 1971), pp. 17-28.
- Rom, H.B. 1993. Ammonia emissions from livestock buildings in Denmark. *In* : E. Collins and C. Boon, eds. *Livestock Environment IV. Compte rendu d'une conférence tenue à Coventry, R.-U.* ASAE. St. Joseph, MI.
- Schulze, E.D., de Vries, W., Hauhs, M., Rosen, K., Rasmussen, L., Tamm, S.O., et Nilsson, J. 1989. Critical loads for nitrogen deposition on forest ecosystems. *Water Air Soil Pollut.* **48** : 451-456.
- Sommer, S.G., Christensen, B.T., Nielsen, N.E., et Schjorring, J.K. 1993. Ammonia volatilization during storage of cattle and pig slurry: effect of surface cover. *J. Agric. Sci.* **121** : 63-71.
- Sommer, S.G., Mikkelsen, H., et Mellqvist, J. 1995. Evaluation of meteorological techniques for measurement of ammonia loss from pig slurry. *Agric. and Forest Meteorology*, **47** : 169-179.
- Ter Elste Wahle, E.R., et den Brok, G.M. 1996. Ammonia emission in a fattening pig house with application of a liquid top layer on the slurry. *Rapport annuel du Centre de recherches en production porcine*, No. 1.146. Rosmalen, Pays-Bas.
- Thompson, R.B., Ryden, J.C., et Lockyer, D.R. 1990. Ammonia volatilization from cattle slurry following surface application to grassland. I. Influence of mechanical separation, changes in chemical composition during volatilization and presence of a grass sward. *Plant and Soil*, **125** : 109-118.
- Van Cuyck, J., den Brok, G., et Verdoes, N. 1993. Slurry pan: on the fire or in the pig house? *Praktijkonderzoek Varkenshouderij*, **7** : 13-15.
- Vanderholm, D.H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment et handling. *In Proc. 3rd Int. Symp. on Livestock Wastes*, ASAE Pub. Proc-275, ASAE, St. Joseph, MI. pp. 282-285.
- Van der Molen, J., Van Fassen, H.G., Leclerc, M.Y., Vriesma, R., et Chadon, W.J. 1990. Ammonia volatilization from arable land after application of cattle slurry. I. Field estimates. *Neth. J. Agric. Sci.* **38** : 145-158.
- Vander Peet Schwering, C.M.C., Verdoes, N., Voermans, M.P., et Beelen, G.M. 1996. Effect of feeding and housing on the ammonia emission of growing and finishing pig facilities. *Annual report of the Research Centre for Pig Production*, No. 1.145. Rosmalen, the Netherlands.
- Verboon, M.C., et Mandersloot, F. 1993. Practical possibilities for using a straw casing as covering for slurry silos. *Praktijkonderzoek, Proefstation voor de Rundveehouderij, Schapenhouderij and Paardenhouderij*. No. 1.
- Zebarth, B.J., Paul, J.W., Kowalenko, C.G., et van Kleeck, R. 1997. Estimation of the impact of agricultural production on water and air quality on a regional basis. (Manuscrit en cours de préparation, Pacific Agri-Food Research Centre, Agriculture et Agroalimentaire Canada).

L'ADÉQUATION DES SOLS OU DES TERRES À L'ÉPANDAGE DU LISIER

- Agriculture et Agroalimentaire Canada. 1997. Sector Profile of Production, Trends and Environmental Issues.
- Al-Kanani, T., Akochi, E., MacKenzie, A. F., Alli, I., et Barrington, S. 1992. Organic and inorganic amendments to reduce ammonia losses from liquid hog manure. *Journal of Environmental Quality*, **21** : 709-715.
- Alberta Agriculture. 1984. Swine manure as fertilizer. Agdex-440/27-1. Alberta Agriculture, Edmonton, Canada.
- Azevedo, J., et Stout, P. R. 1974. Farm animal manures: an overview of their role in the agricultural environment. Manual 44. California Agricultural Experiment Station Extension Service. p. 109.
- Baidoo, S.K. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. p.161-168.
- Barnett, G.M., et Pesant, A.R. 1996. The swine industry at the forefront of environment issues, *Compte rendu du symposium, Saint-Hyacinthe, Québec*. pp. 1-9.
- Beauchamp, E.G. 1983. Response of corn to nitrogen in preplant and sidedress applications of liquid dairy cattle manure. *Can. J. Soil Sci.* **63** : 377-386.
- Beauchamp, E.G., Kidd, G. E., et Thurtell, G. 1982. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. *Can. J. Soil Sci.* **62** : 11-19.
- Bernal, M.P., et Kirchmann, H. 1992. Carbon and nitrogen mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biology and Fertility of Soils*, **13** : 135-141.
- Brumm, M.C., et Sutton, A.L. 1979. Effect of copper in swine diets on fresh waste composition and anaerobic decomposition. *J. Animal Sci.* **49** : 20-25.
- Burns, J.C., Westerman, P.W., King, L.D., Cummings, G.A., Overcash, M.R., et Goode, L. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: I. Forage yield, quality, and elemental removal. *Journal of Environmental Quality*, **14** : 9-14.
- Burns, J.C., Westerman, P.W., King, L.D., Overcash, M.R., et Cummings, G.A. 1987. Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture: I. Persistence, yield, quality, and elemental removal. *Journal of Environmental Quality*, **16** : 99-105.
- Burns, J.C., King, L.D., et Westerman, P.W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' Bermudagrass: I. Yield, quality, and elemental removal. *Journal of Environmental Quality*, **19** : 749-756.
- Burton, D.L., Younie, M.F., Beauchamp, E.G., Kachanoski, R.G., et Loro, P. 1994. Impact of manure application on nitrate leaching to groundwater. *In* : Proc. 37th Annual Manitoba Society of Soil Science Meeting. Dept. of Soil Sci., University of Manitoba, Winnipeg. Canada. 190-201.
- Chase, C., Duffy, M., et Lotz, W. 1991. Economic impact of varying swine manure application rates on continuous corn. *Journal of Soil and Water Conservation*, **46** : 460- 464.
- Elson, J. 1941. A comparison of the effect of fertilizer and manure, organic matter, and carbon-nitrogen ratio on water-stable soil aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **6** : 86-90.
- Evans, S.D., Goodrich, P.R., Munter, R.C., et Smith, R.E. 1977. Effects of solid and liquid beef manure and liquid hog manure on soil characteristics and on growth, yield, and composition of

- corn. *Journal of Environmental Quality*, **4** : 361-368.
- Ewanek, J. 1996. *Manure Management Symposium Proceedings*, Winnipeg, MB. pp. 93-100
- FAO (Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture). 1993. *FAO Agrostat PC. Série informatique de la FAO. Production*. Rome, 1993.
- Franco, D., Pereilli, M., et Scallolin, M. 1996. *Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, their Processes and Potential in Water Protection*, Heythrop, R.-U.
- Freeze, B.S., et Sommerfeldt, T.G. 1985. Breakeven hauling distances for beef feedlot manure in southern Alberta. *Can. J. Soil Sci.* **65** : 687-693.
- Gilbertson, C.B., Van Dyne, D.L., Clanton, C.J., et White, R.K. 1979. Estimating quantity and constituents in livestock and poultry manure residue as reflected by management systems. *Transactions of the ASAE*, **22** : 602-611.
- Hafez, A.A.R. 1974. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixtures of manures from various domestic animals. *Soil Science*, **118** : 53-59.
- Hilborn, D. 1996. *Manure Management Symposium Proceedings*, Winnipeg, MB. p.101-105.
- Hoff, J.D., Nelson, D.W., et Sutton, A.L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. *Journal of Environmental Quality*, **10** : 90-95.
- Humenik, F.J., Skaggs, R.W., Willey, C.R., et Huisingsh, D. 1972. Evaluation of swine waste treatment alternatives. *In Waste Management Research*. Graphics Corporation, Washington, D. C. pp. 341-352.
- Khan, N. 1996. *Feed Mix*, **4** :22-25.
- King, L.D., Westerman, P.W., Cummings, G.A., Overcash, M.R., et Burns, J.C. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: II. Effects on soil. *Journal of Environmental Quality*, **14** : 14-21.
- King, L.D., Burns, J.C., et Westerman, P.W. 1990. Long-term swine lagoon effluent applications on 'Costal' bermudagrass: II. Effect on nutrient accumulation in soil. *Journal of Environmental Quality*, **19** : 756-760.
- Klausner, S.D., et Guest, R.W. 1981. Influence of NH₃ conservation from dairy manure on the yield of corn. *Agronomy Journal*, **73** : 720-723.
- Kornegay, E.T., Hedges, J.D., Martens, D.C., et Kramer, C.Y. 1976. Effect on soil and plant mineral levels following application of manures of different copper contents. *Plant and Soil*, **45** : 151-162.
- Larson, B.G. 1991. *Saskatchewan pork industry manure management recommendations*. Saskatchewan Pork Producers' Marketing Board, Saskatoon, SK. pp. 30.
- Lauer, D.A., Bouldin, D.R., et Klausner, S.D. 1976. Ammonia volatilization from dairy manure spread on the soil surface. *Journal of Environmental Quality*, **5** : 134-141.
- Long, N.J., et Gracey, H.I. 1990. Herbage production and nitrogen recovery from slurry injection and fertilizer nitrogen application. *Grass and Forage Science*, **45** : 77-82.
- Lorenz, F., et Steffens, G. 1992. Agronomically efficient and environmentally careful slurry application to arable crops. *Aspects of Applied Biology*, **30** : 109-116.
- McEachron, L.W., Zwerman, P.J., Kearl, C.D., et Musgrave, R.B. 1969. Economic return from

- various land disposal systems for dairy cattle manure. *In* : Animal Waste Management. Proceedings Cornell University Waste Management Conference 13-15 Jan. 1969. Syracuse, N.Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. pp. 393-400.
- McKenna, M.F., et Clark, J.H. 1970. The economics of storing, handling and spreading of liquid hog manure for confined feeder hog enterprises. *In* : Relationship of agriculture to soil and water pollution. Proc. Cornell Un. Agr. Waste Management Conference 19-21 Jan. 1970. Rochester, N. Y. Cornell University Press, Ithaca, N. Y. pp. 98-110.
- Menzies, J.D., et Chaney, R.L. 1974. Waste Characteristics. *In* : Factors Involved in Land Application of Agricultural and Municipal Wastes. USDA, ARS.
- Miller, P.L., et MacKenzie, A.F. 1978. Effects of manures, ammonium nitrate and S-coated urea on yield and uptake of N by corn and on subsequent inorganic N levels in soils in southern Quebec. *Can. J. Soil Sci.* **58** : 153-158.
- Petříková, V. 1992. Hnojení při biologické rekultivaci důlních výsypků a složišť popelce (Fertilizer for biological reclamation of mine spoil and ash dumps). *Rostlinná Výroba*, **38**: 327-335.
- Powers, W.K., Wallingford, G.W., et Murphy, L.S. 1975. Research status on effects of land application on animal wastes. Environmental Protection Technology Series, EPA 660/2-75-010. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. pp. 44-46.
- Pries, J. 1996. Manure Management Symposium Proceedings, Winnipeg, MB. pp.119-126.
- Richards, J.E., et Martel, Y.A. 1991. Agronomic management of manure - A position paper. *In* : Expert Committee on Soil and Water Management. Station de recherches, Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada, Fredericton, N.-B. Canada.
- Safley, L.M., Jr., Lessman, G.M., Wolt, J.D., et Smith, M.C. 1981. Comparisons of corn yields between broadcast and injected applications of swine manure slurry. *In* : Livestock Waste: a renewable resource. Proc. Int. Symposium on Livestock Wastes, Amarillo, Texas 15-17 Apr. 1980. Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich. pp. 178-180.
- Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., et Beauchemin, S. 1995. Phosphorus status of forest and agricultural soils from a watershed of high animal density. *J. Environ. Qual.* **24** :1010- 1017.
- Simard, R.R., Hamel, C., et Garand, M.J. 1996. The swine industry at the forefront of environment issues, *Compte rendu du symposium*, Saint-Hyacinthe, Québec. pp. 31-41.
- Sommerfeldt, T.G., et Chang, C. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **49** : 983-987.
- Sutton, A.L., Mayrose, V.B., Nye, J.C., et Nelson, D.W. 1976. Effect of dietary salt level and liquid handling systems on swine waste composition. *J. Animal Sci.* **43** : 1129-1134.
- Sutton, A.L., Nelson, D.W., Mayrose, V.B., et Nye, J.C. 1978. Effects of liquid swine waste applications on corn yield and soil chemical composition. *Journal of Environmental Quality*, **7** : 325-333.
- Sutton, A.L., Nelson, D.W., Hoff, J.D., et Mayrose, V.B. 1982. Effects of injection and surface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. *Journal of Environmental Quality*, **11** : 468-472.
- Sutton, A.L., Melvin, S.W., et Vanderholm, D.H. 1984. Fertilizer value of swine manure. AS-453. Iowa State Cooperative Extension Service, Ames, Iowa. 6 pp.
- Sutton, A.L., Nelson, D.W., Mayrose, V.B., Nye, J.C., et Kelly, D.T. 1984. Effects of varying salt

- levels in liquid swine manure on soil composition and corn yield. *Journal of Environmental Quality*, **13** : 49-59.
- Tabi, M., Tardif, L., Carrier, D., Laflamme, G., et Rompré, M. 1990. Rapport synthèse, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- Tiarks, A.E., Mazurak, A.P., et Chesnin, L. 1974. Physical and chemical properties of soil associated with heavy applications of manure from cattle feedlots. *Soil Sci. Soc.Am. Proc.* **38** : 826-830.
- Unger, P.W., et Stewart, B.A. 1974. Feedlot waste effects on soil conditions and water evaporation. *Soil Sci. Soc.Am. Proc.* **38** : 954-957.
- Vanderholm, D.H. 1975. Nutrient losses from livestock waste during storage, treatment and handling. *In* : Managing livestock wastes. Proc. 3rd Int. Symposium on Livestock Wastes, Urbana-Champaign, Ill. 21-24 Apr. 1975. *Am. Soc. Agric. Eng., St. Joseph, Mich.* pp. 282-285
- Wallace, H.D., McCall, J.T., Bass, B., et Combs, G.E. 1960. High level copper for growing-finishing swine. *J. Animal Sci.* **19** : 1153-1163.
- Warman, P.R. 1986. Effects of fertilizer, pig manure, and sewage sludge on timothy and soils. *Journal of Environmental Quality*, **15** : 95-100.
- Webber, L.R., Lane, T.H., et Nodwell, J.H. 1968. Guidelines to land requirements for disposal of liquid manure. Paper presented at the 8th Ind. Water and Wastewater Conf., Lubbock, Texas (June 6-7, 1968). pp. 13 pp.
- Weil, R.R., et Kroontje, W. 1979. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. *Journal of Environmental Quality*, **8** : 387-392.
- Westerman, P.W., Overcash, M.R., Evans, R.O., King, L.D., Burns, J.C., et Cummings, G.A. 1985. Swine lagoon effluent applied to 'Costal' Bermudagrass: III. Irrigation and rainfall runoff. *Journal of Environmental Quality*, **14** : 22-25.
- Williams, R.J.B., et Cooke, G.W. 1961. Some effects of farmyard manure and of grass residues on soil structure. *Soil Science*, **92** : 30-39.
- Xie, R., et MacKenzie, A.F. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* **50** : 1504-1509.
- Zhu, Y.M., Berry, D.F., et Martens, D.C. 1991. Copper availability in two soils amended with eleven annual applications of copper-enriched hog manure. *Communications in Soil Science & Plant Analysis*, **22** : 769-783.

LE PHOSPHORE

- Barnett, G.M. 1996. Animal Waste in Canada. *In* : C. Chang, ed. Proc. Can. Soc. of Soil Sci. Waste Management Workshop, July 7th 1996, Lethbridge, AB. pp. 28-45.
- Beauchemin, S., Simard, R.R., et Cluis, D. 1996. Phosphorus sorption-desorption kinetics of soil under contrasting land uses. *Journal of Environmental Quality*, **25** : 1317-1325.
- CPVQ. 1995. Coefficients d'efficacité des engrais de ferme. Bulletin technique 22. AGDEX 538. Québec, QC, 18 pp.
- Gangbazo, G., Pesant, A.R., et Barnett, G.M. 1997. Effet de l'épandage des engrais minéraux et de grandes quantités de lisier de porc sur l'eau, le sol et les cultures. Rapport de Recherche, Direction des écosystèmes aquatiques, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec,

Québec, QC. 46 pp.

Grimard, Y. 1990. Qualité générale de l'eau au Québec. *In* : "Colloque sur la qualité de l'eau en milieu agricole". Conseil des productions végétales du Québec, Québec, QC. pp. 24-37.

Ordre des Agronomes du Québec. 1996. Mise à jour sur le projet de règlement sur la réduction de la pollution d'origine agricole. 96-03-28. 6 pp.

Patoine, M. 1995. Perspectives et approche du Québec pour faire face à la problématique environnementale associée à l'intensification et la concentration des élevages. *In* : *Siting livestock and poultry operations in the 21st Century Symposium*, July 13-14 Ottawa, Canada. pp. 45-62.

Simard, R.R. 1996. Manure management in Québec: the urgent need for solutions. *In* : C. Chang (ed.) *Proc. Can. Soc. Soil Sci. Waste Management Workshop*, July 7th 1996, Lethbridge, AB. pp. 65-80.

Simard, R.R. 1997. Étude de la qualité de l'eau, des sédiments et des sols du bassin-versant de la rivière Boyer. Rapport préliminaire, Agriculture et Agroalimentaire Canada, 17 pp.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., et Pesant, A. 1994. Phosphorus in the Beauvillage River Watershed. *In* : R.N. Yong (ed.) *Compte rendu de la conférence nationale conjointe de la SCGC-ASCE sur le génie environnemental*, Montréal, QC. pp. 509-516.

Simard, R.R., Cluis, D., Gangbazo, G., et Beauchemin, S. 1995. Phosphorus status of forest and agricultural soils from a watershed of high animal density. *Journal of Environmental Quality*, **24** : 1010-1017.

Simard, R.R., Drury, C.F., et Lafond, J. 1996. Cropping effects on phosphorus leaching in clay soils. *Better Crops with Plant Food*, **80** : 24-27.

Simoneau, M. 1996. Qualité des eaux du bassin de la rivière Châteauguay, 1979 à 1994. Direction des écosystèmes aquatiques. Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec, Québec, QC.

Sims, J.T., Simard, R. R., et Joern, B. C. 1997. Phosphorus losses in agricultural drainage: historical perspective and current research. *Journal of Environmental Quality* **26** : (sous presse).