

## SOLS

Le sol est étroitement associé à l'eau lorsque l'on pense à la gestion des fumiers/lisiers et la gestion des éléments fertilisants, donc le chapitre traitant de l'eau devrait aussi être consulté pour compléter l'information contenue dans cette section.

### *Lexique*

**Ammonium:** l'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) est une molécule chargée positivement (cation) composée d'azote (N) et d'hydrogène (H). Une bonne partie du N contenu dans les protéines qui sont métabolisées par les animaux est excrétée sous forme d'urée, qui est rapidement transformée en  $\text{NH}_4^+$ . Sa charge positive rend cette molécule peu mobile dans le sol.

**Ammoniaque:** l'ammoniaque ( $\text{NH}_3$ ) est composé de N et de H. La plus grande partie du  $\text{NH}_3$  émis par les activités agricoles à l'atmosphère provient de la transformation de l'urée.

**Nitrate:** le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) est une molécule chargée négativement (anion) composée de N et d'oxygène (O). Il résulte de la nitrification de d'autres composés azotés. Le  $\text{NO}_3^-$  est très soluble et il est mobile dans le sol.

**Nitrification:** la nitrification est un procédé par lequel les bactéries du sol oxydent les composés azotés (comme les ions ammonium) en nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) qui peuvent ensuite être transformés en nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ).

**Minéralisation:** la minéralisation est un processus par lequel la matière organique est transformée en molécules inorganiques plus simples qui sont plus facilement assimilables par les plantes.

**Dénitrification:** la dénitrification est un processus où des bactéries décomposent des composés azotés ( $\text{NO}_3^-$  and  $\text{NO}_2^-$ ) en composés moins oxydés comme le N gazeux ( $\text{N}_2$ ) et les oxydes nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ).

**Immobilisation:** l'immobilisation est un processus par lequel un élément fertilisant est retiré de la solution du sol et devient attaché aux particules de sol ou est incorporé aux molécules organiques par l'absorption des microorganismes du sol. Le P par exemple est immobilisé par les minéraux argileux.

## **SOL ET LE CYCLE DES ÉLÉMENTS FERTILISANTS**

Le sol fournit un support aux plantes et il joue un rôle important dans le cycle des éléments nutritifs/fertilisants, en emmagasinant ceux-ci dans certaines conditions et en les rendant disponibles aux plantes dans d'autres conditions. Selon l'élément et les variations dans les caractéristiques du sol (comme texture, structure, pH, densité, contenu en matière organique, drainage, concentrations des macro et micro éléments, capacité d'échange cationique et le niveau d'activité des micro-organismes), le climat, le cycle des éléments et la capacité des plantes à récupérer ces éléments, son cycle sera grandement affecté par la localisation (OMAFRA, 1994b). La disponibilité des éléments pour les plantes varie avec le temps; seulement une fraction de ce qui est appliqué est utilisée la première année par les plantes et la portion restante devient disponible aux plantes lentement sur les années qui suivent. Pour le N, cette fraction varie de 50 à 70% d'utilisation la première année; pour le P, la portion utilisée la première année peut varier de 10 à 40% selon le mode d'épandage et pour le potassium (K) l'utilisation représente de 20 à 25% (OMAF 1994b; FB 1994). La détermination d'un taux d'épandage ne peut donc pas être faite en considérant seulement les éléments présents dans le fumier/lisier et les besoins des plantes à fertiliser.

Pour les éléments comme le N, qui est libéré en quantité relativement importante par la minéralisation de la matière organique dans les sols (50 - 100 kg N/ha par an), la capacité du sol à libérer des éléments doit être considérée et des analyses de sol doivent être réalisées de manière régulières pour déterminer les éléments additionnels qui sont nécessaires aux plantes et qui ne sont pas déjà disponibles dans le sol (Lorimer 1995; OMAF 1994b; Schmitt et Rehm 1997; Goss et al. 1996). De plus l'estimation des

rendements de culture devraient être basés sur les rendements des années antérieures. Une surestimation de rendement peut entraîner une surfertilisation et un lessivage ou une accumulation d'éléments fertilisants au niveau du sol. Toutefois une sous-estimation de rendements peut entraîner une sous-fertilisation et ainsi réduire les rendements et la marge de profit ( OMAF 1994b; Schmitt et Rehm 1997; Lorimer 1995).

Différentes réactions vont survenir après l'épandage. Certaines pertes se produiront sous forme de volatilisation de N ( $\text{NH}_3$ ), de ruissellement, d'érosion, de lessivage et de dénitrification (pertes directes de N sous forme de  $\text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  ou  $\text{NO}$ ) (FB 1994; OMAF 1994b). Le N et le P sous formes minérales sont trouvés dans le fumier/lisier mais la plus grande partie de ceux-ci est présente sous forme organique.

Le P est retenu par les particules dans le sol jusqu'à une certaine concentration, toutefois lorsque plus de P est ajouté du lessivage se produira (FB 1994; Evans et al. 1984; Lorimer 1995; Simard et al. 1996). Le P inorganique est cependant très mobile et s'attache aux particules de sol et le mouvement du P surviendra par érosion éolienne et hydrique (OMAF 1994b; Lorimer 1995). Un résultat d'analyse de sol donnant une concentration en P de plus de 30 ppm indique que les taux d'application de fumier/lisier doivent être ajustés et que le P doit devenir l'élément limitant dans le calcul des taux d'épandage (Lorimer, 1995). Pour ce qui est du P, des taux élevés d'épandage entraîne une augmentation de la concentration de P dans le sol avec le temps. Par exemple, des analyses faites dans les premiers 20 cm d'un loam limoneux ont montré une augmentation de 50% de la concentration en P de 42 ppm en 1990 à 63 ppm en 1996 et ce pour un taux d'épandage de 77 kg de P/ha-an. Pour la même période, la concentration a augmenté de 49 à 85 ppm pour un taux d'épandage de 97 kg de P/ha-an (Randall, 1997).

Le N présent dans le lisier non traité est principalement sous forme organique et ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) et n'est pas mobile lorsqu'incorporé dans le sol (OMAF 1994b). La forme organique du N et du  $\text{NH}_4^+$  peut toutefois se déplacer aux eaux de surfaces si le lisier n'est pas incorporé après l'épandage et que d'importantes précipitations surviennent causant du ruissellement. Dans le sol, la minéralisation transforme la partie organique du N en  $\text{NH}_4^+$ , et généralement la nitrification suivra pour transformer le  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$ . Les sols qui ont un haut taux de  $\text{NO}_3^-$  sont plus propices au lessivage de ce composé vers les eaux souterraines ou vers les eaux de surface particulièrement si les sols sont équipés de systèmes de drainage car cette forme de N est très mobile dans les sols. Le lessivage à travers les sols jusqu'à la nappe phréatique peut se produire sur une longue période selon la quantité de précipitations qui survient. De manière à rencontrer les quantités de N nécessaires aux plantes, la contribution en N du sol avant la fertilisation par engrais minéraux ou organiques (fumier/lisier), la minéralisation du N provenant de la matière organique, la contribution directe de N de l'atmosphère et la contribution provenant de l'engrais appliqué doivent tous être considérées (Lorimer 1995; FB 1994; Goss et al. 1996).

## **TECHNIQUES D'ÉPANDAGE**

L'incorporation réduit les risques de ruissellement et diminue les pertes en N par la volatilisation du  $\text{NH}_3$  (Lorimer 1995; Schoenau 1997; Schmitt et Rehm 1997). Cependant dans les sols érodibles, les risques d'érosion et de ruissellement peuvent être augmentés si le couvert de résidus est modifié par les équipements d'incorporation (Randall, 1997).

## **PÉRIODES D'ÉPANDAGE**

La température lors de l'épandage a un effet sur les risques potentiels associés à cette activité et la capacité du sol à retenir et emmagasiner les éléments fertilisants pour une future utilisation par les plantes (Beauchamp 1996). Par exemple, la volatilisation du  $\text{NH}_3$  est plus importante en conditions chaudes et sèches. La nitrification transforme rapidement le  $\text{NH}_4^+$  en  $\text{NO}_3^-$  lorsque le sol est chaud. Par conséquent l'épandage au printemps près du temps où les plantes peuvent rapidement utiliser le N est le temps idéal. L'épandage du fumier/lisier tôt à l'automne résulte en un entreposage du  $\text{NO}_3^-$  dans le sol bien avant que les plantes puissent les utiliser augmentant ainsi les risques de lessivage. Lorsque le fumier/lisier est

appliqué tard à l'automne, la transformation du N en  $\text{NO}_3^-$  est ralentie, cependant des pertes en N peuvent survenir par ruissellement durant l'automne et tôt au printemps lorsque les sols sont saturés en eau (Lorimer 1995; Schoenau 1997; Simard et al. 1996).

## **ACCUMULATION DE CUIVRE DANS LES SOLS**

L'épandage du lisier de porcs, qui ont reçu une alimentation enrichie en cuivre (Cu), peut conduire à une accumulation de Cu au niveau des sols. Par conséquent, l'ajout de Cu dans la ration devrait être maintenu à un minimum pour seulement rencontrer les besoins des porcs selon leur stade de croissance. La concentration de Cu maximale recommandée dans la ration est de 125 ppm (de Lange, 1997), et elle pourrait être réduite à 35 ppm pour les porcs en croissance-finition car d'autres facteurs de croissance ont été introduits récemment (Coppenet, 1981). Lorsque l'ajout de Cu est élevé et que les taux d'épandage sont excessifs, l'accumulation est particulièrement rapide. La quantité de Cu qui est absorbée par la plante va augmenter, ce qui augmente aussi les risques de phytotoxicité (toxicité pour les plantes) et aussi de toxicité pour les animaux qui paissent ou qui sont nourris du fourrage provenant de ces sols. Les ovins sont plus susceptibles que les bovins à l'empoisonnement chronique au cuivre et ils auront des réactions plus rapides lorsqu'ils paissent ou sont nourris de fourrage provenant de champs où des fumiers/lisiers à forte concentration en cuivre sont épandus (Bremmer, 1981). McGrath (1981) rapporte une expérience où les sols et les plantes ont été testés pour déterminer leur contenu en cuivre. Des expériences en pots ont aussi été réalisées pour aider à analyser les résultats. Le contenu en cuivre des fourrages provenant de champs qui avaient reçu du lisier variait de moins de 0.004 g/kg à 0.1 g/kg (soit de 4 à 100 ppm). Différents facteurs influencent le contenu en cuivre comme : les pratiques culturales, les saisons, le patron des précipitations après l'épandage des fumiers/lisiers et le type de culture. L'accumulation de cuivre dans le sol survient près ou à la surface de celui-ci. Coppenet (1981) a aussi étudié 190 champs pour vérifier l'accumulation de Cu dans les sols de Bretagne; un suivi à l'échelle de pots et de micro-parcelles a aussi été réalisé par incorporation de  $\text{CuSO}_4$  au sol. Une enquête, réalisée sur une période de plus de 6 années sur ces sols, a montré que durant cette période, une accumulation de Cu et de Zn a pu être observée avec une augmentation moyenne de 1.23 ppm et 2.96 ppm, respectivement. Sur les fermes où la densité de porcs était la plus élevée, les accumulations étaient de 2.82 ppm pour le Cu et 9.06 ppm pour le Zn. Une simulation a été réalisée en considérant un taux d'épandage de 50 tonnes de lisier/ha-an. Ce lisier provenait de 70 porcs (représentant une densité de 70 porcs/ha) qui avaient reçu une ration enrichie de 125 ppm de Cu et 150 ppm de Zn. Les résultats ont montré qu'il faudrait deux siècles avant que la concentration de ces deux éléments atteignent 500 kg/ha dans la couche de sol arable. Comme la phytotoxicité du Cu et du Zn est complémentaire, le problème ne devrait survenir qu'après un siècle (si on considère une application annuelle sur un hectare du lisier provenant des 70 porcs).

## **STABILITÉ STRUCTURALE DU SOL**

Le lisier de porcs ne contient pas beaucoup de matières organiques et son contenu en matières sèches est généralement de 45%. La petite contribution du lisier de porcs à la matière organique du sol contribue peu à améliorer la stabilité structurale des sols comparativement à des fumiers provenant de d'autres espèces et contenant une grande proportion de matières sèches (surtout s'il y a addition de litière). Cependant comme présenté par Simard et al. (1996), l'épandage de lisier de porcs peut améliorer la stabilité structurale des sols et entraîner une réduction de la densité apparente des sols par l'augmentation de l'activité microbienne.

## **DÉGRADATION DES SOLS PAR LA COMPACTION**

Le lisier de porcs est un produit fertilisant très dilué (Schoenau, 1997). Une majeure partie du volume produit est constituée d'eau (contenu à moins de 5% en matières sèches) impliquant que la totalité de ce volume doit être transportée et épandue. Comparativement aux fertilisants commerciaux, les taux

d'épandage nécessaires pour combler les besoins des plantes sont élevés et une attention doit être portée au poids total que représente de tels volumes à épandre. Comme la taille des troupeaux augmente, plus de lisier doit être épandu et cette activité est généralement réglementée réduisant la période où l'épandage est permis. La plupart des producteurs ont tendance à augmenter la capacité de leurs épandeurs à lisier de manière à pouvoir réaliser l'épandage sur les courtes périodes où cette activité est possible (Tessier et al., 1995). Cependant, les épandeurs de grande capacité sont lourds et peuvent produire de la compaction dans les sols comme une étude réalisée au Québec le démontre (Bédard et al., 1997). Selon le type de sol (les argiles qui ont une faible capacité d'expansion et de rétraction sont particulièrement sensibles à la circulation lourde), des réductions à long terme des rendements peuvent être observées lorsqu'il y a compaction. Les effets négatifs associés à l'épandage doivent être considérés comme un paramètre important dans le choix des équipements d'épandage. Des simulations par ordinateur et des tests aux champs ont montrés que des pneus à basse pression ou des pneus surdimensionnés (28L-26) et l'utilisation de réservoirs de taille moyenne, montés sur un système porteur (13.6 m<sup>3</sup>) devraient être considérés comme des moyens de réduire l'impact de l'épandage sur les sols (Chi et al. 1993; Bédard et al. 1997; Tessier et al. 1995). Plusieurs manufacturiers ont installé des systèmes porteurs à essieux multiples sur leurs épandeurs de manière à réduire la compaction causée lors de l'épandage. Cependant dans la plupart des cas, la capacité des épandeurs équipés avec ces systèmes a aussi augmenté et les bénéfices des systèmes porteurs se retrouvent annulés (Bédard et al., 1997).

## **QUELLES SONT LES PROCHAINES ÉTAPES?**

Plus de travaux sur la disponibilité des éléments fertilisants présents dans le sol sont nécessaires car la disponibilité représente un facteur important dans la détermination des taux d'épandage et un épandage excessif peut dépasser la capacité des sols à emmagasiner ces éléments (Schoenau, 1997). Lors de la détermination de l'apport de ces éléments aux plantes plusieurs paramètres doivent aussi être inclus comme par exemple pour le N: il est essentiel de bien estimer la contribution en N provenant de l'atmosphère, la minéralisation au niveau du sol (selon les conditions) et la dénitrification qui retire du N du sol (FB et al. 1994; Goss et al. 1996).

Il est essentiel d'encourager et de favoriser le développement et l'intégration aux pratiques agricoles de nouveaux équipements d'épandage qui réduisent les risques de compaction et qui permettent l'épandage à un taux et une période où la plante peut efficacement utiliser les éléments fertilisants. Plus de travaux sont nécessaires pour développer des techniques efficaces d'injection de lisier sur les prairies, pâturages et cultures sans travail du sol.

Comme la technologie et les connaissances ne peuvent à elles seules protéger la qualité des eaux et du sol, plus d'emphase doit être mise sur des programmes de sensibilisation et d'éducation qui font la promotion de pratiques agricoles durables qui minimisent l'impact sur l'environnement.

## ***Références***

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

Beauchamp, E.G. Availability of Macronutrients to Field Crops from Alternative Manure Systems. Dans *Managing Manure for Dairy and Swine - Towards Developing a Decision Support System*. Edité par M.J. Goss, D.P. Stonehouse and J.C. Giraldez. Chapitre 6.

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

- Bremmer, I. 1981. Effects of the Disposal of Copper-Rich Slurry on the Health of Grazing Animals. Dans Copper in Animal Wastes and Sewage Sludge. Édité par P. L'Hermite et J. Dehandtschutter. Comptes rendus du EEC Workshop organisé par INRA, France. 8-10 octobre 1980, pp. 245-255.
- Chi, L., S. Tessier et C. Laguë. 1993. Finite Element Modeling of Soil Compaction by Liquid Manure Spreaders. Transactions of the ASAE, Vol. 36(3): 637-644.
- Coppenet, M. 1981. Copper Accumulation in Brittany Soils through Enriched Pig Slurry; Phytotoxic Risks. Dans Copper in Animal Wastes and Sewage Sludge. Édité par P. L'Hermite et J. Dehandtschutter. Comptes rendus du EEC Workshop organisé par INRA, France. 8-10 octobre 1980, pp. 154-161.
- de Lange, C.F.M. 1997. Manipulation of Diets to Minimize the Contribution of Private Pigs to Environmental Pollution. 1997 Canadian BASF Tour. La nutrition porcine, Séminaire Technique BASF. 17 décembre, St-Hyacinthe, Québec, p. 15.
- Evans, R.O., P.W. Westerman et M.R. Overcash. 1984. Subsurface Drainage Water Quality from Land Application of Swine Lagoon Effluent. Transactions of ASAE. V:27(2): 473-480.
- FB - F. Bernard experts-conseils et INRS-EAU. 1994. Évaluation environnementale, agronomique et économique de différentes méthodes de gestion des engrais de ferme au champ à l'aide du logiciel FECES. Québec: ministère de l'Environnement et de la Faune. 1996, p. 188, AE96-6/6.
- Goss, M.J., P.D. Zwart et R.G. Kachanoski. 1996. Transport of Nitrogen, Phosphorus and Disease Organisms from Manure into Surface and Groundwater. Dans Managing Manure for Dairy and Swine - Towards Developing a Decision Support System. Édité par M.J. Goss, D.P. Stonehouse et J.C. Giraldez. Chapitre 7.
- Lorimer, J. 1995. Manure Nutrient Management. Électronique document: [www.ae.iastate.edu/waste/manmgmt.txt](http://www.ae.iastate.edu/waste/manmgmt.txt). Consulté le 23/12/1997.
- McGrath, D. 1981. Implications of Applying Copper-Rich Pig Slurry to Grassland - Effects on Plants and Soils. Dans Copper in Animal Wastes and Sewage Sludge. Édité par P. L'Hermite et J. Dehandtschutter. Comptes rendus du EEC Workshop organisé par INRA, France. 8-10 octobre 1980, pp. 144-153.
- OMAF - Ontario Ministry of Agriculture and Food and Agriculture Canada. 1994b. Nutrient Management - Best Management Practices. Best Management Practices. Ontario Ministry of Agriculture and Food, p. 64.
- Randall, G.W. 1997. Ground and Surface Water Concerns During Land Application of Manure. Dans Environmental Issues in Pork Production. The Allen D. Lemman Swine Conference, pp. 17-24.
- Schmitt, M. et G. Rehm. 1997. Fertilizing Cropland with Swine. Électronique document. [www.mes.umn.edu/Documents/D/C/DC5879.html](http://www.mes.umn.edu/Documents/D/C/DC5879.html). FO-5879-GO.
- Schoenau, J.J. 1997. Soil Fertility Benefits from Swine Manure Addition. Saskatchewan Pork Industry Symposium, 13 et 14 novembre. Saskatoon, Saskatchewan, pp. 59-63.
- Simard, R.R., C. Hamel et M.J. Garand. 1996. Judicious Management of Swine Manure for Crop Production. Comptes rendus du Symposium: The Swine Industry at the Forefront of the Environmental Issues, pp. 31-41.
- Tessier, S., L. Chi, S. Richard, C. Laguë et S. Pigeon. 1995. Traffic Induced Soil Compaction and Solutions: Farmer's Perspectives. Comptes rendus du 5th North American Regional Meeting/Workshop of the International Society of Terrain Vehicle Systems. Saskatoon, 10-12 mai.

### ***Abstract ou résumé de publications intéressantes***

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

Une étude a été réalisée sur des sols argileux lourds pour évaluer la compaction résultant de différents traitements liés à différents épandeurs à lisier. Cinq poids d'épandeurs (de 96 à 218 kN), deux systèmes porteurs (tandem et tridem, i.e. trois essieux) et deux types de pneus (conventionnels à section basse et haute flottaison) ont été combinés pour obtenir 6 traitements différents de circulation qui sont représentatifs des opérations d'épandage du lisier du Québec. La densité des sols secs ( $\rho_{ob}$ ) et l'indice de cône (CI) ont été mesurés pour évaluer la compaction. La profondeur de l'empreinte des pneus ainsi que la zone latérale affectée ont aussi été étudiées. Pour un passage unique de l'épandeur, la compaction du sol a été évaluée dans la couche de sol arable (profondeur approximative de 0-250 mm) peu importe le type de traitements. Le taux d'émergence ainsi que les rendements du soya n'ont pas été affectés par les traitements dans les conditions de sol et de climat qui ont prévalu durant les essais. Ni le système porteur tandem ni le tridem n'ont permis de contrôler adéquatement la compaction du sol dans la couche arable pour des épandeurs ayant un poids total supérieur à 154 kN. La limite de poids acceptable pour un épandeur tandem muni de pneus conventionnels 21.5L-16.1 est approximativement 96 kN de charge totale, ce qui représente une pression au sol de 150 kPa ou moins. Si des épandeurs de capacité moyenne sont requis, des pneus surdimensionnés sont recommandés pour l'épandage sur les prairies ou après les semis sur les céréales. Finalement, le recours à un système porteur à essieux multiples pour les épandeurs de grandes capacités ne présente pas d'avantage si la pression au sol est comparée avec un épandeur de faible capacité muni d'un tandem.

Goss, M.J., P.D. Zwart et R.G. Kachanoski. 1996. Transport of Nitrogen, Phosphorus and Disease Organisms from Manure into Surface and Groundwater. Dans *Managing Manure for Dairy and Swine - Towards Developing a Decision Support System*. Édité par M.J. Goss, D.P. Stonehouse and J.C. Giraldez. Chapitre 7.

Dans ce chapitre, les facteurs qui ont un impact sur la qualité des eaux sont revus, particulièrement si on considère la contamination des eaux de surface et souterraines par les  $\text{NO}_3^-$ , le P et les micro-organismes pouvant transmettre des maladies. Le focus est porté sur la contamination potentielle causée par les épandages de fumier/lisier sur les sols. La première étape présente le déséquilibre du ratio des éléments fertilisants N:P:K du lisier de porcs et du fumier de bovins laitiers (2:1:1.5 et 4:1:3 respectivement) comparativement aux besoins d'une culture à haut rendement comme le maïs (7:1:7). Ceci suggère de ne pas utiliser le N comme élément limitant dans la détermination du taux d'épandage mais plutôt de considérer le P et de compléter pour les éléments déficients. Toutefois la disponibilité des éléments est difficile à déterminer particulièrement pour le N car des pertes importantes peuvent survenir selon les conditions climatiques et aussi selon les modes d'épandage. Le  $\text{NH}_3$  peut être émis directement à l'atmosphère, la nitrification peut survenir et des  $\text{NO}_3^-$  peuvent être perdus par lessivage et la dénitrification peut aussi survenir entraînant des émissions gazeuses de  $\text{N}_2\text{O}$  et  $\text{N}_2$ . Une déposition de N peut aussi provenir de l'atmosphère et représente une quantité très difficile à évaluer. La survie de différentes bactéries pathogènes dans le sol dépend de différents paramètres du sol comme par exemple: le pH, le contenu en matière organique, la quantité d'eau présente, la texture, la température et d'autres encore. Il devient donc difficile de prédire le devenir de ces bactéries de manière générale. Le transport des contaminants dépend de leurs concentrations dans le sol et aussi du mouvement de l'eau qui peut les entraîner. Le taux d'épandage et aussi le nombre d'années où il y a des épandages répétitifs ont un impact direct sur les quantités de  $\text{NO}_3^-$  pouvant potentiellement se lessiver. Plus les taux d'épandage sont élevés et plus il y a d'années où le fumier/lisier est épandu plus grands sont les risques de lessivage de contaminants dans l'eau. Réaliser l'épandage le plus près de la saison de croissance des plantes réduit grandement les risques de lessivage des nitrates. L'injection plutôt qu'un épandage en surface réduit aussi les risques de ruissellement des éléments et pathogènes. Certaines pistes sont aussi données pour

continuer la recherche particulièrement sur la disponibilité du N et des autres éléments fertilisants du fumier/lisier, le transport de ces éléments qui peuvent devenir contaminants dans certaines conditions ainsi que sur les organismes pouvant causer des maladies aux humains et les facteurs affectant leur transport.

Lorimer, J. 1995. Manure Nutrient Management. Document électronique: [www.ae.iastate.edu/waste/manmgmt.txt](http://www.ae.iastate.edu/waste/manmgmt.txt). Consulted on 12/23/1997.

S'il est réalisé de manière correcte, le cycle des éléments nutritifs/fertilisants : de la ration des animaux, au fumier/lisier valorisé par le sol et transformé en plantes et grains est un moyen efficace et durable d'un point de vue environnemental de produire en accord avec la protection de la qualité des eaux de surface et souterraines. Une bonne gestion des fumiers/lisiers devrait inclure toutes les étapes de l'entreposage jusqu'à l'épandage. Ce document montre différentes manières de valoriser les fumiers/lisiers particulièrement par la détermination des surfaces nécessaires à l'épandage. Deux méthodes sont présentées pour réaliser une telle détermination et optimisation des fumiers/lisiers de manière à retourner le maximum d'éléments fertilisants aux plantes. Les conséquences environnementales de taux d'épandage trop élevés, sont aussi présentées. La première méthode s'applique à une nouvelle ferme et consiste à évaluer correctement et à s'assurer d'avoir toutes les terres nécessaires pour valoriser tous les volumes de fumier/lisier produits. La seconde méthode consiste à optimiser et ajuster les opérations déjà en place. La première étape est de déterminer des rendements réalistes, car des rendements estimés à la hausse peuvent entraîner une surfertilisation et des pertes d'éléments fertilisants par lessivage, toutefois si les rendements sont estimés de manière trop conservatrice, les taux d'épandage seront trop faibles et les rendements de culture diminués. Les étapes subséquentes sont présentées pour tous les calculs et pour les deux situations possibles. Pour les sols présentant une concentration en P qui est moindre de 30 ppm, le taux d'application devrait être fait en tenant compte des besoins en N. Pour les sols qui ont un contenu élevé en P ou lorsque la réglementation l'exige, les taux d'épandage doivent être calculés en considérant le P comme élément limitant. Des fertilisants commerciaux peuvent alors être utilisés pour compléter les besoins en certains éléments et ainsi maximiser le rendement. Des analyses de sol et de fumier/lisier devraient être prises à toutes les années pour évaluer la situation de manière à estimer des taux d'épandage adéquats.