

## CONCLUSION

En moyenne, l'influence des deux cultures sur la qualité de l'eau a varié selon le paramètre considéré : pour l'azote, le maïs a été nettement plus polluant que le fourrage, exportant par exemple jusqu'à six fois plus de nitrates ( $88 \text{ NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  vs  $14 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ). Par contre, pour le phosphore, la différence entre les deux cultures s'est manifestée surtout à propos des orthophosphates, le fourrage ayant exporté 50 % plus d'orthophosphates que le maïs ( $0,34 \text{ kg PO}_4\text{-P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  vs  $0,23 \text{ kg PO}_4\text{-P ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ).

En général, la fertilisation excessive des sols a augmenté significativement les charges et les concentrations d'azote et de phosphore comparativement à l'épandage des engrais minéraux selon les besoins des cultures, sans qu'augmentent nécessairement les rendements ni le prélèvement de l'azote et du phosphore total. De plus, plusieurs formes d'azote et de phosphore se sont accumulées dans le sol.

Les résultats indiquent clairement que la fertilisation des sols au-delà des besoins agronomiques des cultures est très dommageable pour l'eau et le sol, et peut affecter à long terme la concentration de nitrates dans les plants.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANGLE, J.S., C.M. GROSS, R.L. HILL, et M.S. MCINTOSH, 1993. *Soil nitrate concentrations under corn as affected by tillage, manure, and fertilizer applications*, J. Environ. Qual., 22:141-147.
- ASSOCIATION DES FABRICANTS D'ENGRAIS DU QUÉBEC - AFEQ, 1987. *Guide de fertilisation*, Montréal, Québec, Canada.
- APHA, 1989. *Standards methods for the examination of water and wastewater*, 17th ed., American Public Health Association, Washington, DC., USA.
- BERGSTRÖM, L. et N. BRINK, 1986. *Effects of differentiated applications of fertilizer N on leaching losses and distribution of inorganic N in the soil*, Plant and Soil, 93:333-345.
- BOTTOM, J.D., J.L. TARABARA et I.J. ROSS, 1983. *Quality of runoff as function of time delay between manure application and rainfall event*, ASAE Paper N° 83-2614, St-Joseph, MI: ASAE.
- BURNS, J.C., P.W. WESTERMAN, L.D. KING, G.A. CUMMINGS, M.R. OVERCASH et L. GOODE, 1985. *Swine lagoon effluent applied to « coastal » bermudagrass : I. Forage yield, quality, and elemental removal*, J. Environ. Qual., 14:9-14.
- BURNS, J.C., P.W. WESTERMAN, L.D. KING, M.R. OVERCASH et G.A. CUMMINGS, 1987. *Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture : I. Persistence, yield, quality, and elemental removal*, J. Environ. Qual., 16:99-105.
- CHANG, C., T.G. SUMMERFELDT et T. ENTZ, 1991. *Soil chemistry after eleven annual applications of cattle feedlot manure*, J. Environ. Qual., 20:475-480.
- CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉTÉTALES DU QUÉBEC - CPVQ, 1988. *Méthodes d'analyse des sols, des fumiers, et des tissus végétaux*, AGDEX 533, Ste-Foy, Québec, Canada.
- CONSEIL DES PRODUCTIONS VÉTÉTALES DU QUÉBEC - CPVQ, 1994. *Grilles de référence en fertilisation*, AGDEX 540, Ste-Foy, Québec, Canada, 91 p.
- COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES - CEE, 1979. *Agriculture - Workshop on standardization of analytical methods for manure, soils, plants and water*, Cottenie, A. (ed.), Luxembourg, 57 p.
- CRANE, S.R., P.W. WESTERMAN et M.R. OVERCASH, 1981. *Short-term chemical transformations following land application of poultry manure*, Trans. of the ASAE, 24(2):382-390.

- CULLEY, J.L.B., P.A. PHILLIPS, P.A. HORE et N.K. PATNI, 1981. *Soil chemical properties and removal of nutrients by corn resulting from different rates and timing of liquid dairy manure applications*, Can. J. Soil Sci., 61:35-46.
- EVANS, R.O., P.W. WESTERMAN et M.R. OVERCASH, 1984. *Subsurface drainage water quality from land application of swine lagoon effluent*, Trans. ASAE. 27:473-480.
- GANGBAZO, G., A.R. PESANT, G.M. BARNETT, J.-P. CHARUEST et D. CLUIS, 1992. « Effets des pratiques conventionnelles d'épandage du lisier de porc et des engrais minéraux sur la charge de nitrates dans les eaux de ruissellement et de drainage » dans *Textes de conférence, Symposium sur la recherche et le développement en gestion environnementale des effluents d'élevage*, Ministère de l'Environnement du Québec, Québec, les 9 et 10 septembre 1992, Envirodoq EN920404, p. 27-37.
- GANGBAZO, G., A.R. PESANT, G.M. BARNETT, J.P. CHARUEST et D. CLUIS, 1995. *Water contamination by ammonium nitrogen following the spreading of hog manure and mineral fertilizers*, J. Environ. Qual., 24:420-425.
- GANGBAZO, G., D. COUILLARD, A.R. PESANT et D. CLUIS, 1993. *Effets du lisier de porc sur la charge d'azote et de phosphore dans l'eau de ruissellement sous des pluies simulées*, Can. Agric. Eng., 35(2):97-103.
- GOUVERNEMENT DU QUÉBEC, 1992. *Profil sectoriel de l'industrie bioalimentaire au Québec*, ministère de l'Agriculture du Québec, Québec, Qc, Canada.
- HAJJATI, S. M., T. H. TAYLOR et W. C. TEMPLETON, Jr, 1972. *Nitrate accumulation in rye, tall fescue, and bermudagrass as affected by nitrogen fertilization*, Agronomy Journal, 64:624-627.
- KHALEEL, R., G.R. FOSTER, K.R. REDDY, M.R. OVERCASH et P.W. WESTERMAN, 1979. *A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes: III, A conceptual model for sediment and manure transport*, Trans. of the ASAE, 22(6):1353-1361.
- KHALEEL, R., K.R. REDDY et M.R. OVERCASH, 1980. *Transport of potential pollutants in runoff water from land areas receiving animal wastes: A review*, Water Research, 14:421-436.
- KING, L.D., P.W. WESTERMAN, G.A. CUMMINGS, M.R. OVERCASH et J.C. BURNS, 1985. *Swine lagoon effluent applied to « coastal » bermudagrass: II, Effects on soil*. J. Environ. Qual., 14:14-21.
- LIANG, B. C. et A. F. MACKENZIE, 1994. *Changes of soil nitrate-nitrogen and denitrification as affected by nitrogen fertilizer on two Quebec soils*, J. Environ. Qual. 23:521-525.

- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE - MEF, 1987. *Eaux-Détermination de l'azote et du phosphore: méthodes colorimétriques automatisées*, Ste-Foy, Québec, Canada.
- MCKEAGUE, J.A., 1977. « Nitrates et ammonium » dans *Manuel des méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols*, Canada Soil Survey Comm. Agric. Canada, Ottawa, ON., Canada, p. 169-171.
- MCNEELY, R.N., V.P. NEIMANIS et L. DWYER, 1980. *Guide des paramètres de la qualité des eaux*, En 37-54/1981F, Env. Canada, Ottawa, ON., Canada.
- MOTAVALLI, P. P., S. D. COMFORT, K. A. KELLING et J. C. CONVERSE, 1985. « Changes in soil profile N, P, and K from injected liquid dairy manure or fertilizer » dans *Agricultural waste utilization and management*, Proc. 5th int. symp. on agricultural wastes, ASAE Publ. 13-85, p. 200-210.
- NOLLER, C. H. et C. L. RHYKERD, 1974. « Relationship of nitrogen fertilization and chemical composition of forage to animal health and performance » dans *D. A. Mays, ed., Forage fertilization*, Amer. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc. of Amer., and Soil Sci. Soc. of Amer., Madison, WI., p. 363-394.
- PAGE, A.L., R.H. MILLER et D.R. KEENEY, 1982. « Methods of soil analysis, Part II » dans *Chemical and microbiological properties, 2nd ed.*, Soil Sci. of Am., Madison, WI., USA., p. 403-407.
- PHILLIPS, P.A., J.B.L. CULLEY, F.R. HORE et N.K. PATNI, 1981. *Pollution potential and corn yields from selected rates and timing of liquid manure applications*, Trans. ASAE, 24:139-144.
- REDDY, K.R., R. KHALEEL, M.R. OVERCASH et P.W. WESTERMAN, 1979a. *A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes: I, Mineralization of organic nitrogen*, Trans. of the ASAE, 22(4):863-872.
- REDDY, K.R., R. KHALEEL, M.R. OVERCASH et P.W. WESTERMAN, 1979b. *A nonpoint source model for land areas receiving animal wastes: II, Ammonia volatilization*. Trans. of the ASAE, 22(6):1398-1405.
- ROSS, I.J., S. SIZEMORE, J.P. BOWDEN et C.T. HAAN, 1979. *Quality of runoff from land receiving surface application and injection of liquid dairy manure*, Trans. of the ASAE, 22(5):1058-1062.
- ROWELL, J.C. et D.E. WALTERS, 1976. *Analysing data with repeated observations on each experimental unit*, J. Agric. Sci. (Cambridge), 87:423-432.
- SAS, 1988. *SAS/STAT User's guide: Release 6.03*, Cary, NC: SAS Institute, Inc.

- SHARPLEY, A.N., S.J. SMITH et J.W. NANEY, 1987. *Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use*, J. Agric. Food. Chem., 35:812-817.
- SCHUMAN, G.E., M.A. STANLEY et D. KNUDSEN, 1973. *Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples*, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:480-481.
- SUTTON, A.L., D.W. NELSON, D.T. KELLY et D.L. HILL, 1986. *Comparison of solid vs. liquid dairy manure applications on corn yield and soil composition*, J. Environ. Qual., 15(4):370-375.
- WALSH, L. M. (ed.), 1971. *Instrumental methods for analysis of soils and plant tissue*. Soil Science Society of America, inc. Madison, WI, USA.
- WARMAN, P.R., 1986. *Effects of fertilizer, pig manure, and sewage sludge on Timothy and soils*, J. Environ. Qual., 15:95-100.
- WESTERMAN, P.W., L.D. KING, J.C. BURNS, G.A. CUMMINGS et M.R. OVERCASH, 1987. *Swine manure and lagoon effluent applied to a temperate forage mixture: II., Rainfall runoff and soil chemical properties*, J. Environ. Qual., 16:106-112.

**ANNEXE 1**

## **EFFETS DES PRATIQUES CONVENTIONNELLES D'ÉPANDAGE DU LISIER DE PORC ET DES ENGRAIS MINÉRAUX SUR LA CHARGE DE NITRATES DANS LES EAUX DE RUISSELLEMENT ET DE DRAINAGE**

G. Gangbazo<sup>1</sup>, A. R. Pesant<sup>2</sup>, G. M. Barnett<sup>2</sup>  
J.-P. Charuest<sup>2</sup> et D. Cluis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ministère de l'Environnement du Québec, Direction du milieu agricole et du contrôle des pesticides, 2360 chemin Sainte-Foy, 2<sup>e</sup> étage, Sainte-Foy, Québec, G1V 4H2; <sup>2</sup>Agriculture Canada, Station de recherches, Lennoxville; <sup>3</sup>Institut National de la Recherche Scientifique (INRS-Eau), Sainte-Foy.

### **RÉSUMÉ**

Les charges annuelles et saisonnières de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ -N) dans les eaux de ruissellement et de drainage ont été évaluées sur des parcelles de 45 m<sup>2</sup> semées en maïs ou en fourrage. Celles-ci ont été fertilisées, soit exclusivement avec des engrais minéraux conformément aux besoins agronomiques (180 kg N ha<sup>-1</sup> pour le maïs et 55 kg N ha<sup>-1</sup> pour le fourrage, parcelles témoin), soit à forte dose, avec des combinaisons de lisier de porc et d'engrais minéraux, de sorte que le taux annuel de fertilisation azotée égale trois fois les besoins agronomiques (540 kg N ha<sup>-1</sup> pour le maïs et 165 kg N ha<sup>-1</sup> pour le fourrage). Dans ce dernier cas, le lisier de porc a été épandu à raison de 360 kg N ha<sup>-1</sup> sur le maïs, soit en une seule fois au printemps ou à l'automne ou fractionné également entre les deux saisons tandis que sur le fourrage, il a été épandu et laissé à la surface du sol à raison de 110 kg N ha<sup>-1</sup> selon la même procédure. Au terme de la deuxième année, la charge totale moyenne annuelle par parcelle était de 150 kg  $\text{NO}_3^-$ -N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> dans le maïs comparativement à 20 kg  $\text{NO}_3^-$ -N ha<sup>-1</sup> an<sup>-1</sup> dans le fourrage. Une grande proportion de cette charge (98 %) est exportée par les eaux de drainage. Dans le maïs, la charge de nitrates augmente significativement entre la première et la deuxième année alors que dans le fourrage, la charge diminue. Dans le maïs, l'épandage de fortes doses de lisier en plus des engrais minéraux en une seule fois au printemps ou à l'automne ou même le fractionnement de la dose de lisier entre le printemps et l'automne augmente significativement la charge de nitrates comparativement à l'usage exclusif des engrais minéraux. Dans le fourrage, l'épandage de fortes doses de lisier de porc à l'automne augmente également la charge de nitrates dans les eaux de ruissellement et de drainage.

## ABSTRACT

Annual and seasonal Nitrate losses ( $\text{NO}_3^-$ -N) were evaluated from 45 m<sup>2</sup> corn and forage plots which had received the recommended chemical fertilizer rates of 180 and 55 kg N ha<sup>-1</sup>, respectively, for two consecutive years plus hog manure at twice those rates. Therefore total nitrogen applications were (kg ha<sup>-1</sup>) : corn 540 and forage 165 except for check plot receiving only fertilizer. The hog manure was surface applied in three ways : all in the fall, all in the spring or in a split application with half in each season. Corn plots received manure after plowing. Each plot was equipped to collect runoff and drainage water separately throughout the whole year. Annual  $\text{NO}_3^-$ -N losses in both runoff and drainage waters were significantly higher for corn with 150 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> as compared to only 20 kg ha<sup>-1</sup> yr<sup>-1</sup> for the forage. Due to the residual effect, nitrate load increased significantly between the first and the second year for corn but decreased for forage. Plots receiving chemical fertilizer plus hog manure no matter when the latter was applied had a significant increase on  $\text{NO}_3^-$ -N losses as compared to the plots receiving fertilizer only. On forage plots, higher rates of fall-applied hog manure increased  $\text{NO}_3^-$ -N losses in runoff and drainage waters.

## INTRODUCTION

L'importance de la production porcine dans l'industrie agro-alimentaire du Québec n'est plus à démontrer. Avec des recettes totalisant 356 millions \$ en 1988, elle arrivait en 2<sup>e</sup> place après les produits laitiers dont les recettes s'élevaient à 1 313 milliards \$ (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 1989). Le degré d'auto-suffisance du Québec dans ce domaine était de 134 % en 1979 (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, 1981).

Pendant que des efforts étaient mis sur l'augmentation de la production porcine et la rentabilité économique des fermes, les conséquences de cette production sur l'environnement ont presque été négligées. En effet, l'industrie porcine génère près de 6 millions de mètres cubes de lisier par année, ce qui représente près de 24 % de la quantité totale de déjections animales produites sur toutes les fermes de la province (Thériault, 1983). À cause d'une capacité d'entreposage limitée, du manque de superficies de terres nécessaires pour épandre le lisier selon les taux généralement recommandés, des longs hivers et des pluies fréquentes du printemps et de l'automne qui réduisent la longueur des périodes de l'année propices à l'épandage, de grandes quantités de lisier de porc sont épandues sur les champs au printemps et à l'automne. Dans plusieurs cas, le lisier est épandu sans tenir compte de la fertilisation minérale appliquée au semis, surtout à cause du manque de confiance de plusieurs producteurs agricoles à l'égard de la valeur fertilisante du lisier de porc (Lalonde, Girouard, Letendre et ass., 1984).

La mauvaise gestion des déjections animales, en particulier celle du lisier de porc, est responsable de la contamination des cours d'eau et des nappes phréatiques dans plusieurs pays européens (WQI, 1987; Steenvoorden, 1989). En Allemagne et en Hongrie, la concentration de nitrates dans les nappes phréatiques atteint en moyenne respectivement 9,0 et 11,3 mg  $\text{NO}_3^-$ -N L<sup>-1</sup>. En Bretagne (France), 6,6 % de la population dispose d'une eau dont la teneur en nitrates est



supérieure à  $11,5 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$  (André et de la Sablonnière, 1983), alors que la norme pour l'eau de consommation humaine est de  $10 \text{ mg NO}_3\text{-N L}^{-1}$ . Selon ces auteurs, l'origine de la forte contamination des nappes est attribuable au très fort développement des élevages porcins, bovins et avicoles hors sols qui conduisent à des disponibilités en azote localement excédentaires par rapport au besoin des cultures.

Il existe, au Québec, peu de données sur la pollution de l'eau due à l'épandage du lisier de porc avec ou sans engrais minéraux. Le but du projet est de combler partiellement ce besoin d'information en comparant l'effet sur la charge de nitrates, de l'épandage de fortes doses de lisier de porc en plus des engrais minéraux à celui de l'épandage des engrais minéraux seuls.

## MÉTHODOLOGIE

Dix-huit parcelles naturelles de 3 m de largeur par 15 m de longueur ont été érigées à Lennoxville (Station de recherches du ministère de l'Agriculture du Canada) sur un site ayant une pente moyenne de 6 %.

Toutes les parcelles sont isolées les unes des autres comme suit :

- (1) en les entourant séparément (sur trois côtés, soit les deux longueurs et la largeur supérieure) d'une toile en polythène de construction jusqu'à 1,2 m de profondeur. Cette toile sert à confiner, dans chaque parcelle, les eaux infiltrées dans le sol. Ces dernières sont captées ensuite par un drain agricole de 10 cm installé à 90 cm de profondeur au centre de chaque parcelle;
- (2) par l'aménagement de billons engazonnés de 50 cm de largeur et 25 cm de hauteur entre deux parcelles contiguës, pour contrôler les eaux de ruissellement qui sont captées par une gouttière installée en bas de la pente.

Les eaux de ruissellement et de drainage sont dirigées séparément vers des réservoirs en métal où leur volume peut être mesuré, et un échantillon représentatif prélevé selon les besoins.

Le sol est un loam limoneux Coaticook ayant en moyenne 3 % de sable, 80 % de limon et 17 % d'argile dans la couche de labour (0-20 cm). Il contient en outre  $2\,327 \text{ mg N kg}^{-1}$  d'azote total Kjeldahl (NTK),  $85 \text{ mg N kg}^{-1}$  de nitrates ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) et 5,3 % de matières organiques.

Les parcelles sont fertilisées, soit exclusivement avec des engrais minéraux conformément aux besoins agronomiques des cultures ( $180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  pour le maïs à ensilage et  $55 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  pour le fourrage-mélange trèfle-mil ladino; Association des fabricants d'engrais du Québec, 1987), soit à forte dose, avec des combinaisons de lisier de porc et d'engrais minéraux, de telle sorte que le taux annuel de fertilisation azotée apportée par les deux formes d'engrais égale trois fois les besoins agronomiques de la culture pratiquée, soit en moyenne  $540 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  pour le maïs et  $165 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  pour le fourrage.

Le dispositif expérimental (tableau 1) est complètement aléatoire avec huit traitements et deux parcelles expérimentales par traitement. Cependant, deux autres parcelles qui n'ont reçu ni lisier de porc, ni engrais minéraux ont été ajoutées au dispositif pour estimer le prélèvement réel des éléments nutritifs par les cultures.

Le lisier de porc provient d'une ferme porcine d'engraissement. Il contient en moyenne 4,8% de matières sèches, 4620 ppm d'azote total Kjeldahl et 24 ppm de nitrates. Sur les parcelles de maïs, il est incorporé au sol par rotoculteur au printemps et à l'automne. Au printemps, il est épandu avant les engrais minéraux. Sur le fourrage, il est épandu et laissé à la surface du sol à l'automne ou au printemps avant les engrais minéraux, selon le cas. Les engrais minéraux sont épandus au printemps. Il s'agit de nitrate d'ammonium ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), de superphosphates (18 %-20 %) et de chlorure de potassium (KCl).

Le projet a commencé à la fin de l'été 1989 par l'établissement des fourrages. Les parcelles de maïs ont été labourées à l'automne de la même année, mais semées seulement au printemps 1990.

Le volume total d'eau de ruissellement et/ou de drainage est mesuré après chaque événement de pluie ou de fonte de neige. Ensuite, un échantillon représentatif de 125 ml auquel on ajoute quelques gouttes d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) pour ralentir les transformations chimiques susceptibles de se produire au cours de la conservation est prélevé par bassin. Tous les échantillons sont ensuite réfrigérés et envoyés dans les meilleurs délais au laboratoire du ministère de l'Environnement du Québec.

Les analyses de nitrites-nitrates dans l'eau ont été effectuées selon une méthode standardisée (ministère de l'Environnement du Québec, 1989). Dans le lisier, les paramètres et les méthodes d'analyse sont : l'azote total Kjeldahl (Schuman *et al.*, 1973), les nitrites-nitrates (McKeague, 1977). Dans le sol, il s'agit de l'azote total Kjeldahl (Schuman *et al.*, 1973) et des nitrites-nitrates (McKeague, 1977).

Les données journalières ont été regroupées par saison. Chaque saison comprend 90 jours répartis selon les dates du calendrier comme suit - automne (15 septembre au 14 décembre); hiver (15 décembre au 14 mars); printemps (15 mars au 14 juin); été (15 juin au 14 septembre). Les charges journalières ont été calculées à partir des volumes journaliers et des concentrations journalières mesurées, puis additionnées sur une base saisonnière et annuelle.

Les volumes saisonniers d'eau de ruissellement et de drainage, ainsi que les charges saisonnières ont dû être transformés selon la formule  $\text{Log}_{10}(X+1)$  parce que les variances augmentent proportionnellement avec les moyennes. Comme les doses annuelles d'azote diffèrent beaucoup entre le maïs et le fourrage, les traitements ont été emboîtés à l'intérieur des cultures. Ainsi, aucun effet moyen des traitements pour les deux cultures n'a été déterminé. Les comparaisons ont donc été faites à l'intérieur de chaque culture. Pour ce qui est des analyses saisonnières, la différence entre saisons successives pour une même année a été étudiée. Le même principe s'applique pour les années successives. De plus, vu le nombre limité de répétitions (2), et la grande variabilité observée, les analyses statistiques ont été interprétées au seuil de 10 %. La probabilité du  $F$ -calculé est représentée par  $p$ , et la probabilité tabulaire est représentée par  $P$ . L'analyse des

**Tableau 1 Liste des traitements**

Culture	Fertilisation <sup>f</sup>			Code
	EP	LP	LA	
Maïs	0	0	0	0 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>
	1	0	0	180-0-0
	1	1	1	180-180-180
	1	2	0	180-360-180
	1	0	2	180-0-360
Fourrage	0	0	0	0-0-0
	1	0	0	55-0-0
	1	1	1	55-55-55
	1	2	0	55-110-0
	1	0	2	55-0-110

<sup>f</sup> EP : engrais minéraux au printemps, LP : lisier au printemps, LA : lisier à l'automne. Les chiffres 0 à 2 réfèrent aux multiples du taux d'azote normalement recommandé, soit 180 kg N.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pour le maïs et 55 kg N.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pour le fourrage

<sup>†</sup> Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>‡</sup> Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>§</sup> Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>

résultats a été réalisée selon l'approche des mesures répétées dans le temps (Rowell et Walters, 1976). Les traitements « 0-0-0 » dans le maïs et le fourrage (tableau 1) n'ayant pas été répétés au même titre que les autres, leurs résultats n'ont fait l'objet d'aucune analyse statistique. Comme le projet est dans sa troisième année de réalisation, ce texte expose surtout les résultats obtenus au terme de la deuxième année, et ne fait référence à ceux de la première année que pour montrer l'évolution d'une année à l'autre.

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES

Au cours de la première année, la précipitation totale annuelle a été de 986 mm, comprenant 813,9 mm de pluie et 172,1 cm de neige. Il s'agit donc d'une année normale, puisque les statistiques annuelles font état de  $1\ 033,7 \pm 135,5$  mm de précipitation totale, soit  $794,3 \pm 119,9$  mm de pluie et  $250,6 \pm 82,0$  cm de neige. Au cours de la deuxième année, la précipitation totale annuelle a été légèrement supérieure à sa valeur de l'année précédente. En effet, il est tombé au total 1 145,2 mm d'eau, soit 955,5 mm de pluie et 189,7 cm de neige. Il s'agit donc aussi d'une année normale dans l'ensemble, si l'on compare ces valeurs aux statistiques annuelles. Par contre, l'année a été légèrement plus pluvieuse que la normale.

### QUANTITÉS D'EAU DE RUISSELLEMENT ET DE DRAINAGE

L'augmentation de la précipitation totale d'une année à l'autre (159,2 mm) s'est reflétée sur les quantités moyennes d'eau évacuées par les parcelles. En effet, au cours de la première année, chaque parcelle de maïs a évacuée en moyenne 238,1 mm d'eau (24,1 % de la précipitation totale annuelle) dont 119,8 mm sous forme d'eau de ruissellement et 106,1 mm (soit 44,5 % de la quantité totale évacuée) sous forme d'eau de drainage. Dans les mêmes conditions, chaque parcelle de fourrage a évacué en moyenne 202,6 mm d'eau (21,5 % de la précipitation totale annuelle) dont 73,4 mm sous forme d'eau de ruissellement et 122,6 mm (soit 60,5% de la quantité totale évacuée) sous forme d'eau de drainage. Par contre, au cours de la deuxième année, les quantités d'eau se sont accrues par rapport à l'année précédente : chaque parcelle de maïs a évacuée en moyenne 183,3 mm d'eau de plus, soit 421,4 mm (37,8 % de la précipitation totale annuelle) dont 94,8 mm sous forme d'eau de ruissellement et 319,7 mm (soit 75,8 % de la quantité totale évacuée) sous forme d'eau de drainage. Dans les mêmes conditions, chaque parcelle de fourrage a évacué en moyenne 173,0 mm d'eau de plus, soit 375,6 mm (32,8 % de la précipitation totale annuelle) dont 63,0 mm sous forme d'eau de ruissellement et 306,7 mm (soit 81,6 % de la quantité totale évacuée) sous forme d'eau de drainage.

### CHARGE TOTALE DE NITRATES

Dans le reste du texte, le terme charge ou charge totale désigne la somme de la charge exportée par les eaux de ruissellement et celle exportée par les eaux de drainage à moins d'indication

contraire. Le terme « nitrates » est utilisé pour désigner la somme des nitrites et des nitrates, étant donné que les nitrites sont une forme instable de l'azote, leur concentration dans l'eau et dans le sol étant généralement négligeable (Dommergues et Mangenot, 1970; Lesczynski, 1976; McNeely *et al.*, 1980).

## Charge annuelle

Selon l'analyse de variance des résultats obtenus au terme de la deuxième année (tableau 2) :

- la culture a un effet significatif ( $p < 0,01$ ) sur la charge de nitrates. La charge moyenne produite par les parcelles de maïs ( $151,05 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ) est supérieure à celle qui est produite par les parcelles de fourrage ( $19,65 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ). Comme la fertilisation totale annuelle appliquée sur chaque parcelle est un multiple du besoin agronomique de la culture qu'elle supporte, il en résulte que la culture du maïs comporte beaucoup plus de risques pour la qualité de l'eau que la culture du fourrage.
- dans le maïs, l'épandage de fortes doses de lisier à l'automne ou au printemps a une forte incidence sur la pollution de l'eau par les nitrates. En effet, le fait d'épandre tout le lisier à l'automne en plus des engrais minéraux au printemps (traitement 180-0-360) augmente la charge de nitrates de 94,50 à 160,81  $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  ( $p < 0,10$ ). De la même façon, le fait d'épandre tout le lisier au printemps en plus des engrais minéraux augmente la charge de nitrates de 94,50 à 175,60  $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  ( $p < 0,01$ ). Il en est de même lorsque la dose de lisier est fractionnée également entre les deux saisons : dans ce cas, la charge de nitrates augmente de 94,50 à 194,88  $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  ( $p < 0,01$ ). À titre indicatif, la charge exportée par la parcelle témoin est de l'ordre de 40  $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ . Il en résulte que l'utilisation du lisier de porc en plus des engrais minéraux pour fertiliser le maïs est une pratique qui augmente significativement la charge totale de nitrates par rapport à l'usage exclusif d'engrais minéraux.
- dans le fourrage, le fait d'épandre tout le lisier à l'automne en plus des engrais minéraux augmente la charge de nitrates de 17,24 à 27,31  $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  ( $p < 0,10$ ). À titre indicatif, la charge exportée par la parcelle témoin est de l'ordre de 5  $\text{kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ .

Le tableau 2 présente également les résultats de l'analyse de variance de la charge de nitrates dans les eaux de drainage seulement, ainsi que la contribution relative du drainage et de ruissellement dans l'exportation des nitrates. Il est facile d'en déduire que l'interprétation précédente, qui a été faite pour la somme des eaux de ruissellement et de drainage vaut également pour les eaux de drainage seules, et que presque la totalité de la charge annuelle de nitrates (92 % à 98 %) est exportée par les eaux de drainage.

L'étude de l'évolution des charges (tableau 3, figure 1) montre que, de façon générale, les charges de nitrates augmentent de la première à la deuxième année. Ceci est vrai dans le maïs quel que soit le traitement (figure 1a). Par contre dans le fourrage, elles diminuent, de façon générale, de la première à la deuxième année. Ceci est vrai également quel que soit le traitement (figure 1b). La diminution des charges de nitrates dans le fourrage s'explique probablement par

**Tableau 2 Comparaison des effets des traitements sur la charge annuelle de nitrates au cours de la deuxième année et importance relative du drainage et du ruissellement dans l'exportation des nitrates**

	Charge annuelle en kg N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup> <sup>f</sup>		Proportion (%) <sup>†</sup>	
	Ruissellement et drainage	Drainage	Ruissellement	Drainage
<b>Culture</b>				
Maïs	151,05 (09,81)a	147,80 (09,59)a	2	98
Fourrage	19,65 (01,33)b	19,25 (01,40)b	2	98
<b>Traitement</b>				
Maïs : 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	94,50 (12,75)	90,83 (11,87)	4	96
Maïs : 180-180-180	194,88 (25,78)c	190,86 (24,81)c	2	98
Maïs : 180-360-0	175,88 (25,78)c	172,22 (22,37)c	2	98
Maïs : 180-0-360	160,81 (21,30)d	159,25 (20,68)c	1	99
Fourrage : 55-0-0	17,24 (02,40)	16,65 (02,28)	3	97
Fourrage : 55-55-55	18,36 (02,55)	18,15 (02,48)	8	92
Fourrage : 55-110-0	17,11 (02,38)	16,83 (02,30)	2	98
Fourrage : 55-0-110	27,31 (03,73)d	26,89 (03,60)d	2	98

<sup>f</sup> Moyenne (écart type)

a, b : Les moyennes d'une même colonne affligées d'une même lettre ne diffèrent pas ( $p > 0,10$ ).

c, d : Indiquent que ce traitement diffère du traitement "100" pour la même culture à  $P < 0,01$  et  $P < 0,10$  respectivement.

<sup>†</sup> Proportion par rapport à la charge totale exportée par les eaux de ruissellement et de drainage

<sup>‡</sup> Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>‡</sup> Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>§</sup> Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>

**Tableau 3** Analyse de variance de la charge annuelle de nitrates dans les eaux de ruissellement et de drainage : comparaison des deux premières années

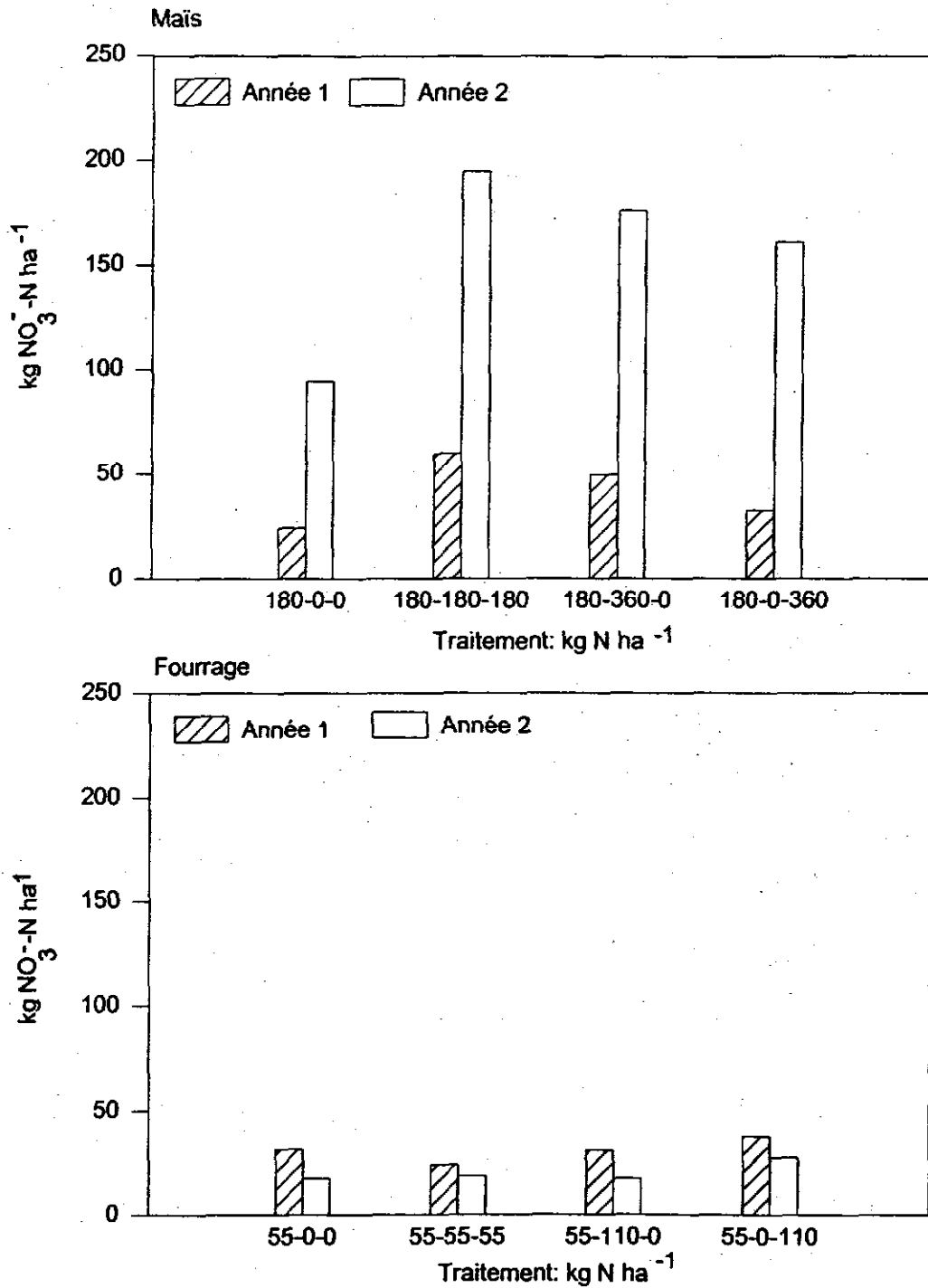
Source	dl	NO <sub>3</sub> -N
Moyenne	1	**
C	1	**
T(C)	6	ns
Erreur	8	
<b>Contrastes</b>		
Maïs : 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup> vs 180-180-180		ns
Maïs : 180-0-0 vs 180-360-0		ns
Maïs : 180-0-0 vs 180-0-360		ns
Fourrage : 55-0-0 vs 55-55-55		ns
Fourrage : 55-0-0 vs 55-110-0		ns
Fourrage : 55-0-0 vs 55-0-110		ns

\*\* Significatif au seuil de 1 %; \*significatif au seuil de 10 %

† Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

‡ Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

§ Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>



**Figure 1** Effet des traitements sur la charge annuelle de nitrates dans les eaux de ruissellement et de drainage : Année 2 vs Année 1. Codes de traitement : premier chiffre = N minéral épandu au printemps, deuxième chiffre = lisier de porc épandu au printemps, troisième chiffre = lisier de porc épandu à l'automne, le tout en kg N ha<sup>-1</sup>



le fait qu'elle s'est bien implantée au cours de la deuxième année, d'où une meilleure utilisation de l'azote apporté par la fertilisation.

### **Charge saisonnière**

L'analyse des charges saisonnières de nitrates dans l'eau met l'accent sur la répartition relative des charges d'une saison à l'autre, à savoir l'augmentation ou la diminution des charges exportées d'une saison à l'autre. Elle complète l'analyse des charges annuelles en spécifiant le temps où s'observent les différences entre les traitements. L'analyse de variance détaillée pour la deuxième année du projet est présentée au tableau 4. Les profils saisonniers sont présentés à la figure 2.

*Automne vs Hiver* : De façon générale, la charge diminue de l'automne à l'hiver pour les deux cultures et tous les traitements. Cependant, la différence entre les charges saisonnières pour un même traitement est beaucoup plus élevée dans le maïs que dans le fourrage.

*Hiver vs Printemps* : Contrairement au cas précédent, la charge augmente généralement de l'hiver au printemps pour les deux cultures et tous les traitements. Cependant, comme dans le cas précédent, la différence entre les charges saisonnières pour un même traitement est beaucoup plus élevée dans le maïs que dans le fourrage.

*Printemps vs Été* : En général, la charge de nitrates diminue du printemps à l'été. Cependant, aussi bien dans le maïs que dans le fourrage, c'est surtout lorsque tout le lisier est épandu à l'automne que la diminution est la plus importante comparativement à tous les autres traitements : en effet, la charge passe de 47,98 à 1,08 Kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1}$  dans le maïs et de 11,27 à 0,02 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1}$  dans le fourrage.

La charge de nitrates suit donc un profil saisonnier similaire pour les deux cultures et les traitements. Entre l'automne et l'hiver puis l'hiver et le printemps, la différence entre les charges saisonnières pour un même traitement est beaucoup plus élevée dans le maïs que dans le fourrage. Entre le printemps et l'été, l'épandage de tout le lisier à l'automne sur les parcelles de maïs ou dans les fourrages constitue cependant un cas particulier. En effet, comparativement aux autres traitements, la charge diminue très fortement.

## **CONCLUSIONS**

L'épandage de fortes doses de lisier à l'automne ou au printemps, en plus des engrais minéraux pour fertiliser les cultures, a une forte incidence sur la pollution de l'eau par les nitrates. Chaque parcelle de maïs rejette en moyenne dans l'environnement 150 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  comparativement à seulement 20 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$  pour chaque parcelle de fourrage. Promouvoir la culture du maïs plutôt que celle des fourrages revient donc à accepter au moins sept fois plus de nitrates dans l'eau. Dans le maïs, l'épandage de tout le lisier à l'automne augmente la charge annuelle de nitrates de 70 % (de 94,5 à 160,81 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ );

**Tableau 4** Analyse de variance de la charge saisonnière de nitrates dans les eaux de ruissellement et de drainage au cours de la deuxième année

	Automne vs hiver	Hiver vs printemps	Printemps vs été
Moyenne	**	**	**
C	**	**	ns
T(C)	ns	ns	**
Contrastes			
Maïs : 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup> vs 180-180-180	ns	ns	ns
Maïs : 180-0-0 vs 180-360-0	ns	ns	ns
Maïs : 180-0-0 vs 180-0-360	ns	ns	**
Fourrage : 55-0-0 vs 55-55-55	ns	ns	ns
Fourrage : 55-0-0 vs 55-110-55	ns	ns	ns
Fourrage : 55-0-0 vs 55-0-110	ns	ns	*

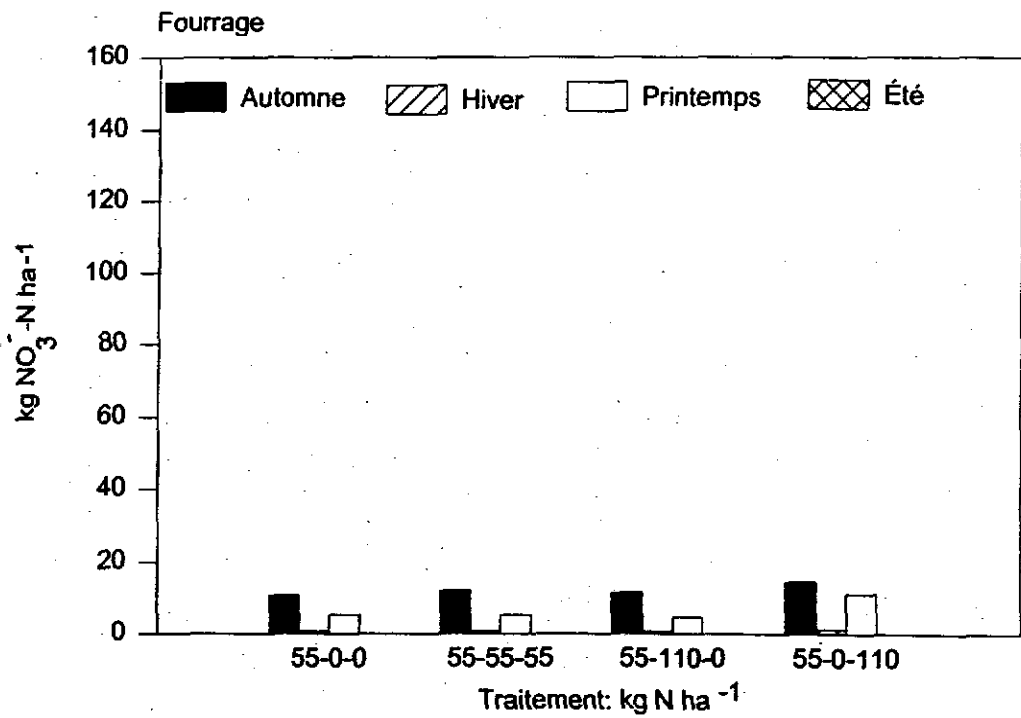
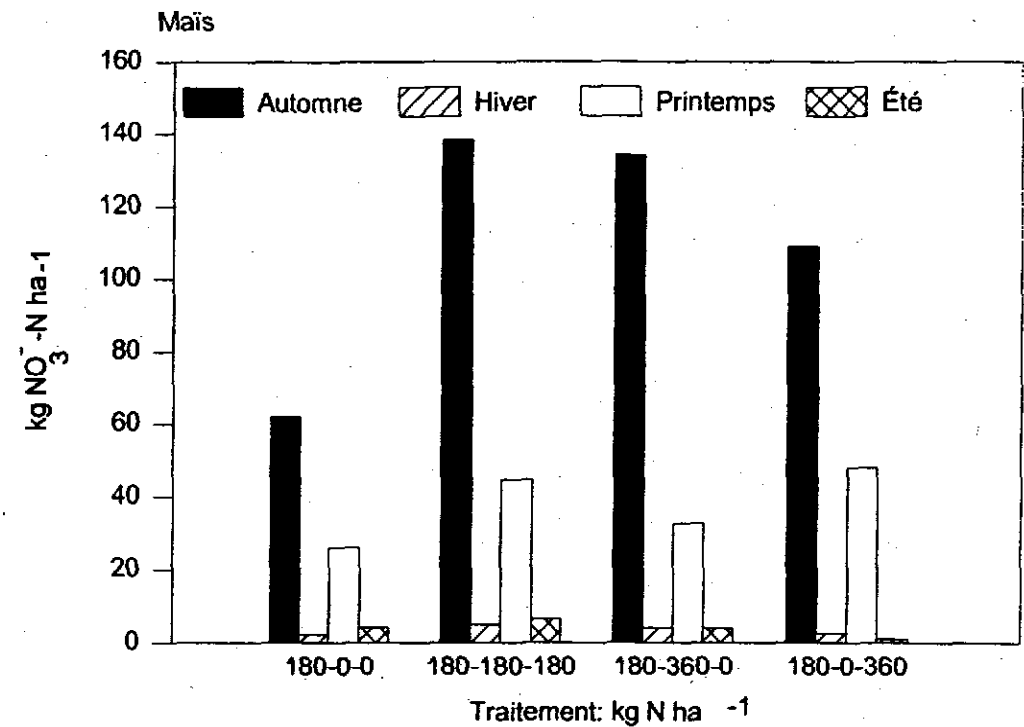
\*\* Significatif au seuil de 1 %; \* significatif au seuil de 10 %

ns non significatif

† Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

‡ Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

§ Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>



**Figure 2** Effet des traitements sur la charge saisonnière de nitrates dans les eaux de ruissellement et de drainage au cours de la deuxième année. Codes de traitement : premier chiffre = N minéral épandu au printemps, deuxième chiffre = lisier de porc épandu au printemps, troisième chiffre = lisier de porc épandu à l'automne, le tout en kg N ha<sup>-1</sup>

l'épandage de tout le lisier au printemps augmente la charge de 86 % (de 94,5 à 175,60 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ) et le fractionnement de la dose de lisier entre les deux saisons augmente la charge de 106 % (de 94,5 à 194,88 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ) par rapport à l'usage exclusif d'engrais minéraux. Dans le fourrage, l'effet de ces pratiques conventionnelles est significatif surtout lorsque tout le lisier est épandu à l'automne, la charge de nitrates augmentant de 58 % (de 17,24 à 27,31 kg  $\text{NO}_3^- \text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ ). De façon générale, la charge de nitrates augmente de la première à la deuxième année dans le maïs, quel que soit le traitement. Par contre, dans le fourrage, elle diminue, de façon générale, de la première à la deuxième année quel que soit le traitement. Une très grande proportion de la quantité de nitrates (92 % à 99 % selon les traitements) se retrouve dans les eaux de drainage. La charge de nitrates suit un profil saisonnier similaire pour les deux cultures et les traitements : diminution entre l'automne et l'hiver, augmentation entre l'hiver et le printemps, puis diminution entre le printemps et l'été.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDRÉ, P. et F. DUBOIS DE LA SABLONNIÈRE, 1983. *Élevage intensif et qualité des eaux souterraines dans un département breton*, Techniques Sciences et Méthodes, 5:251-258.
- ASSOCIATION DES FABRICANTS D'ENGRAIS DU QUÉBEC, 1987. *Guide de fertilisation*, 2<sup>e</sup> éd., Montréal, 132 p.
- DOMMERGUES, Y. ET F. MANGENOT, 1970. « Cycle de l'azote » dans *Écologie microbienne du sol*, éd. Masson et Cie, Paris, p. 155-232.
- LALONDE, GIROUARD, LETENDRE *et al*, 1984. *Étude de faisabilité d'un programme de transport du lisier dans le bassin hydrographique de la rivière l'Assomption*, Rapport final, ministère de l'Environnement du Québec, Direction du milieu agricole et du contrôle des pesticides, Sainte-Foy, 108 p. + annexes.
- LESCZYNSKI, D. B., 1976. *Nitrate movement in plano silt loam under freezing and thawing conditions*, Thèse de doctorat, Université du Wisconsin, Madison, USA, 173 p.
- MCKEAGUE, J. A., 1977. *Manuel des méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols*, Soil Research Institute, Agriculture Canada, Ottawa, Ont., p. 169-171.
- MCNEELY, R. N., V. P. Neimans et L. Dwyer, 1980. *Références sur la qualité des eaux*, Guide des paramètres de la qualité des eaux, Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Direction de la qualité des eaux, Ottawa, Ont., N<sup>o</sup> Cat. EN3754/ 1981F, 100 p.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION, 1981. *Nourrir le Québec-Perspectives de développement du secteur de l'agriculture, des pêches et de l'alimentation pour les années 80*, Direction générale de la planification et des études économiques, Sainte-Foy, Québec, 261 p.
- MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DES PÊCHERIES ET DE L'ALIMENTATION, 1989. *L'industrie bio-alimentaire en 1988 - Performances économiques et perspectives pour 1989*, Direction de la statistique et de la conjoncture, Sainte-Foy, Québec, 87 p.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1989. *Eaux - Détermination des nitrates et des nitrites, méthode colorimétrique automatisée avec le sulfate d'hydrazine et le N.E.D.*, Menviq, 89.07/303, NO<sub>3</sub> 1.1.
- ROWELL, J.G. et D.E. Walters, 1976. *Analysing data with repeated observations on each experimental unit*, J. Agric. Sci., 87:423-432.

SCHUMAN, G. E., M. A. STANLEY ET D. KNUDSEN, 1973. *Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples*, The Soil Science Society of America Proceedings, Madison, Wisconsin, 37(3):480-481.

STEENVOORDEN JOPP, H. A. M., 1989. « Nitrogen cycling in manure and soils : Crop utilization and environmental losses » dans *Dairy manure management proc.*, Dairy manure management Symp., Syracuse, N.Y., NRAES-31, p. 89-102.

THÉRIAULT, J., 1983. « Inventaire du cheptel québécois » dans *Manuel de gestion agricole des fumiers*, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec, Sainte-Foy, Québec, p. 21-24.

WQI, 1987. *Nitrates : A question of time*, Water Quality information, 1:24-28.

**ANNEXE 2**

## CONTAMINATION DE L'EAU PAR L'AZOTE AMMONIACAL SUITE À L'ÉPANDAGE DU LISIER DE PORC ET DES ENGRAIS MINÉRAUX

G. Gangbazo<sup>1</sup>, A.R. Pesant<sup>2</sup>, G. M. Barnett<sup>2</sup>  
J.-P. Charuest<sup>2</sup> et D. Cluis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, 930, chemin Sainte-Foy, Québec, Canada, G1S 2L4; <sup>2</sup>Agriculture et Agro-alimentaire Canada, Station de recherches, 2000, route 108 Est, Lennoxville, Québec, Canada, J1M 1Z3; <sup>3</sup>Université du Québec, INRS-Eau, C.P. 7500, Sainte-Foy, Québec, Canada, G1V 4C7.

### RÉSUMÉ

Les mauvaises pratiques de fertilisation utilisées dans les régions où la disponibilité des déjections animales excède les besoins des plantes peuvent causer la pollution de l'eau par l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ) pendant la fonte de la neige. Les charges annuelles et saisonnières de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ont été évaluées pendant trois années consécutives sur des parcelles de 45 m<sup>2</sup> cultivées, soit en maïs-ensilage (*Zea mays* L.), soit en un fourrage constitué par un mélange de mil (*Phleum pratense* L.) et de trèfle rouge et blanc (*Trifolium repens* L.). Les parcelles ont été fertilisées avec des engrais minéraux conformément aux recommandations (180 kg N ha<sup>-1</sup> pour le maïs et 55 kg N ha<sup>-1</sup> pour le fourrage), ou avec des engrais minéraux tel que recommandé et du lisier de porc à raison du double de ces doses. La fertilisation totale annuelle était alors de 540 kg N ha<sup>-1</sup> pour le maïs et 165 kg N ha<sup>-1</sup> pour le fourrage, à l'exception des parcelles témoin qui n'ont reçu que des engrais minéraux. Le lisier de porc était épandu à la surface du sol selon les trois modes suivants : tout à l'automne, tout au printemps ou moitié à l'automne - moitié au printemps. Sur les parcelles de maïs, le lisier épandu à l'automne était enfoui par rotoculteur, alors qu'au printemps, le lisier était enfoui de la même façon avant le semis. Chaque parcelle était équipée pour recueillir l'eau de ruissellement et l'eau de drainage séparément pendant toute l'année. Les parcelles fertilisées avec du lisier de porc et des engrais minéraux ont accru significativement les charges totales de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  dans le ruissellement et le drainage comparativement aux parcelles témoin. Dans le maïs, l'épandage de tout le lisier à l'automne a triplé la charge la première année (1,11 vs 3,43 kg N ha<sup>-1</sup>) et presque doublé la charge à chacune des deux années subséquentes. Les concentrations moyennes correspondantes (1,44, 0,88 et 1,03 mg N L<sup>-1</sup>), pour chacune des trois années, étaient supérieures à la valeur maximale acceptable dans l'eau brute (0,5 mg N L<sup>-1</sup>). Des tendances similaires ont été observées dans le fourrage. La plus grande partie du  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  était perdue en hiver et au printemps. Dans les deux cultures, il y avait une augmentation des pertes de l'automne à l'hiver et une diminution de l'hiver au printemps, puis du printemps à l'été.



## INTRODUCTION

Pendant que beaucoup d'efforts étaient consacrés à l'accroissement de la taille des entreprises agricoles et à l'amélioration de la viabilité économique de l'industrie porcine (*Sus scrofa domestica* L.) du Québec, au début des années 80, peu d'efforts ont été consacrés à l'étude de l'impact de cette activité sur l'environnement. La production porcine génère  $6 \times 10^6$  m<sup>3</sup> de lisier par année, soit environ 24 % de la quantité totale de déjections animales produite par l'ensemble des fermes (Thériault, 1983). Sur ces fermes, les systèmes d'entreposage sont déficients, les superficies de terres nécessaires pour épandre le lisier selon les taux généralement recommandés manquent. Pour ces raisons, de grandes quantités de lisier sont souvent épandues sur les champs tôt au printemps, mais surtout tard à l'automne. Dans certains cas, le lisier est épandu sans tenir compte de la fertilisation minérale normale appliquée au moment des semis parce que certains fermiers font peu confiance à la valeur fertilisante du lisier (Lalonde *et al.*, 1984). Il ne faut donc pas se surprendre du fait que les cours d'eau agricoles soient très pollués (Primeau et Grimard, 1990a,b; Simoneau, 1989), bien que plusieurs municipalités se soient dotées de systèmes d'épuration des eaux usées.

Même si jusqu'à 75 % de l'azote du lisier de porc est sous forme ammoniacale (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N), le risque de pollution associé à l'utilisation de cet engrais a été généralement associé aux nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N), en particulier dans les eaux souterraines. Les nitrates sont la plus importante forme de l'azote dans l'eau à l'état naturel, et la nitrification est un des plus importants processus du cycle de l'azote (King *et al.*, 1985; Westerman *et al.*, 1985; Evans *et al.*, 1984; Simon *et al.*, 1989). Des problèmes de santé publique tels que la méthémoglobinémie chez les nourrissons et les cas de contamination de puits privés par les nitrates continuent de susciter des débats (Bouchard *et al.*, 1992).

Il y a beaucoup moins de données sur la contamination de l'eau par NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N que par NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N parce que cette forme de l'azote est nitrifiée rapidement dans les sols bien aérés, lorsque la température ambiante se situe entre 10 °C et 30 °C. Pendant deux ou trois périodes de fonte (1982-1984), la concentration de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N à la station de pompage de l'eau distribuée dans la ville de Repentigny située dans le bassin de la rivière l'Assomption a atteint 2,0 mg N L<sup>-1</sup> (Boucher, 1985), la norme acceptable étant 0,5 mg N L<sup>-1</sup> (McNeely *et al.*, 1980). Les mauvaises pratiques d'épandage du lisier de porc utilisées dans le bassin versant étaient alors soupçonnées d'en être responsables.

L'azote ammoniacal peut avoir beaucoup de conséquences sur l'environnement, même à faible concentration. Il est toxique pour les poissons; ceux-ci ne peuvent pas tolérer des concentrations d'ammoniac supérieures à 0,02 mg N L<sup>-1</sup>, sans risque d'asphyxie (McNeely *et al.*, 1980). De plus, au cours du processus de désinfection de l'eau brute, l'azote ammoniacal réagit avec le chlore pour former des chloramines, dont le pouvoir de désinfection est beaucoup plus faible que celui du chlore. Les hausses imprévues de la concentration d'azote ammoniacal peuvent donc représenter des risques pour la santé publique. L'azote ammoniacal cause aussi des problèmes de goût et d'odeurs, même à des concentrations inférieures à 0,1 mg N L<sup>-1</sup> (Boucher, 1985).

L'objectif de ce projet était d'évaluer la contamination de l'eau en hiver ou tôt au printemps par l'épandage de grandes quantités de lisier de porc à l'automne, sans tenir compte de la fertilisation minérale normale appliquée au semis. Les résultats des trois premières années (1989-1991) d'un projet de cinq ans ont été rapportés.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Le projet s'est déroulé sur la ferme expérimentale de la station de recherche du ministère de l'Agriculture et de l'Agro-alimentaire du Canada située à Lennoxville, dans le Sud-Est de la province. La précipitation moyenne (pluie et neige) dans la région est de 1 033 mm. Le sol était un loam limoneux Coaticook (Humaquept typique), un gleysol humo-ferrique développé sur un matériel lacustre (tableau 1). Pendant les cinq années précédentes, le site ayant une pente de 6 % était cultivé en mil et en trèfle rouge. Une station météorologique située à environ 600 m du site expérimental enregistrait les hauteurs de pluie et de neige sur une base journalière.

Les 18 parcelles expérimentales de 45 m<sup>2</sup> chacune, mesuraient 3 m de largeur, sur 15 m de longueur. Elles étaient isolées les unes des autres comme suit : 1- en les entourant séparément sur trois côtés (les deux longueurs et la largeur supérieure) d'une toile en polythène de construction jusqu'à 1,2 m de profondeur. Cette toile servait à confiner, dans chaque parcelle, l'eau infiltrée dans le sol. Cette dernière était captée par un drain agricole de 10 cm de diamètre, installé à 90 cm de profondeur, au centre de chaque parcelle; 2- par l'aménagement de billons engazonnés de 50 cm de largeur et de 25 cm de hauteur entre deux parcelles contiguës, pour contrôler l'eau de ruissellement qui était captée par une gouttière installée en bas de la pente. Les eaux de ruissellement et de drainage étaient dirigées séparément vers des réservoirs en métal où leur volume pouvait être mesuré et un échantillon représentatif prélevé, selon les besoins.

Les parcelles étaient semées, soit en maïs ensilage (*Zea mays* L.), soit en un fourrage constitué d'un mélange de mil (*Pleum pratense* L.) et de trèfle (*Trifolium repens* L.).

Les quatre traitements consistaient en :

- 1- une fertilisation exclusivement minérale sous forme de nitrate d'ammonium appliquée au printemps, conformément aux besoins azotés de chaque culture;
- 2- du lisier de porc (*Sus scrofa domestica* L.) appliqué à raison du double des besoins azotés de chaque culture à l'automne;
- 3- du lisier de porc appliqué à raison du double des besoins azotés de chaque culture au printemps;
- 4- du lisier de porc appliqué conformément aux besoins azotés de chaque culture, aussi bien au printemps qu'à l'automne (c'est-à-dire, fractionnement de la dose précédente de lisier entre les deux saisons).

**Tableau 1** Caractéristiques physiques et chimiques de l'horizon de surface (0-20 cm) du sol loam limoneux Coaticook au début du projet

Composition texturale	3,0
Sable (%)	80,0
Limon (%)	17,0
Argile (%)	1,2
Masse volumique apparente (Mg m <sup>-3</sup> ) <sup>†</sup>	53,0
Masse organique (g kg <sup>-1</sup> , ignition)	5,8
pH (1:1 sol-eau)	2 327,0
N-Total kjeldahl (mg kg <sup>-1</sup> )	2,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	85,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg kg <sup>-1</sup> )	

<sup>†</sup> Sol non perturbé

Les parcelles fertilisées avec du lisier de porc étaient également fertilisées avec des engrais minéraux tel que décrit précédemment. Le but était de simuler le cas des agriculteurs qui, bien que disposant de grandes quantités de lisier, font peu confiance au lisier comme source principale d'engrais. Ces traitements étaient répétés deux fois chacun. À noter que deux autres parcelles non fertilisées et non répétées (une en maïs et un en fourrage) ont été ajoutées aux précédentes, pour estimer les proportions de l'azote et du phosphore épandus qui ont été effectivement récupérées par les cultures. Les 18 parcelles (9 en maïs ensilage et 9 en fourrage), ont été distribuées, de façon complètement aléatoire. Puisque le taux annuel d'azote recommandé (besoin agronomique) était de  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  pour le maïs à ensilage et de  $55 \text{ kg N ha}^{-1}$  pour le fourrage (Association des fabricants d'engrais du Québec - AFEQ, 1987), la quantité totale d'azote épandue par année sur les parcelles était de  $540 \text{ kg N ha}^{-1}$  pour le maïs et de  $165 \text{ kg N ha}^{-1}$  pour le fourrage, à l'exception des parcelles témoins qui ne recevaient que des engrais minéraux.

Le lisier et les engrais minéraux azotés et phosphatés étaient appliqués manuellement et à la volée. Les suppléments d'engrais minéraux (P - sous forme de superphosphate et K - sous forme de chlorure de potassium) étaient appliqués au printemps, à des taux ajustés selon la composition du sol, tel que recommandé (AFEQ, 1987). Au printemps, dans le maïs, le lisier était incorporé dans la couche superficielle du sol par rotoculteur dans un délai d'une heure après l'épandage, suivi du semis, effectué à la main (75 cm d'intervalle entre les rangs et 15 cm sur les rangs). À l'automne, le lisier était également incorporé au sol par rotoculteur dans un délai d'une journée après l'épandage. Dans le fourrage, le lisier était épandu et laissé à la surface du sol, aussi bien au printemps qu'à l'automne. La densité de la population de maïs à la récolte était de l'ordre de  $6 \text{ plants m}^{-2}$ . Le lisier de porc avait en moyenne 4,8 de matières sèches,  $4,62 \text{ mg L}^{-1}$  d'azote total Kjeldahl (NTK) (Schuman *et al.*, 1973),  $0,024 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ -N) et  $2,43 \text{ mg L}^{-1}$  d'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ -N) (McKeague, 1977).

Le volume total d'eau de ruissellement et de drainage était mesuré après chaque événement de pluie ou de fonte de neige. Des deux échantillons représentatifs de 125 ml prélevés dans chaque réservoir (ruissellement et drainage) pour fins d'analyses chimiques, 0,5 ml d'acide sulfurique ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) était ajouté dans l'échantillon utilisé pour les analyses chimiques. Les échantillons prélevés dans la même semaine sur une même parcelle étaient gardés à  $4 \text{ }^\circ\text{C}$  dans une chambre froide et composés proportionnellement aux volumes journaliers respectifs à la fin de la semaine, puis envoyés dans les meilleurs délais au laboratoire du ministère de l'Environnement et de la Faune.

Les échantillons d'eau étaient filtrés sur papier Whatman n° 40. Les filtrats étaient analysés pour l'azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ -N), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ -N) et les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ -N) selon des méthodes colorimétriques automatisées (ministère de l'Environnement et de la Faune, 1987). Les sédiments n'étaient pas analysés puisque l'objectif était de déterminer la forme soluble seulement. Les échantillons de sol et de lisier étaient analysés pour déterminer les concentrations de NTK (Schuman *et al.*, 1973), de  $\text{NH}_4^+$ -N et de  $\text{NO}_3^-$ -N (McKeague, 1977).

Les charges hebdomadaires de N et P dans l'eau ont été calculées pour chaque parcelle en multipliant les volumes hebdomadaires par les concentrations moyennes hebdomadaires pondérées ainsi obtenues grâce à la composition des échantillons, puis regroupées sur une base saisonnière

et annuelle. Chaque saison comprend 13 semaines ou 90 jours répartis selon les dates du calendrier comme suit : automne (15 septembre au 14 décembre); hiver (15 décembre au 14 mars); printemps (15 mars au 14 juin); été (15 juin au 14 septembre). La transformation  $\log_{10}(X+1)$  a dû être utilisée pour normaliser les quantités d'eau hebdomadaires, ainsi que les charges hebdomadaires d'éléments nutritifs, parce que les variances augmentaient proportionnellement avec les moyennes. Comme les taux annuels d'épandage diffèrent beaucoup entre le maïs et le fourrage, les traitements ont été emboîtés à l'intérieur des cultures. Ainsi, aucun effet moyen des traitements pour les deux cultures n'a été déterminé. Les comparaisons ont donc été faites à l'intérieur de chaque culture. Les charges d'éléments nutritifs dans l'eau ont été traitées selon l'approche des mesures répétées dans le temps (Rowell et Walters, 1976). Pour ce qui est des charges saisonnières, la différence moyenne entre saisons successives a été étudiée. Comme il n'y avait que deux répétitions par traitement et que la variabilité des données était grande, toutes les analyses statistiques ont été interprétées au seuil de 10 %. Dans cet article, le symbole  $P$  réfère à la probabilité tabulaire et  $p$  à la probabilité calculée du  $F$ .

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### Conditions météorologiques

La précipitation totale annuelle (pluie et neige) pour la première à la troisième année était : 986, 1 150 et 924 mm. Ces valeurs étaient comparables à la moyenne normale annuelle de 1 030 ± 135 mm. Cependant, la deuxième année a été la plus humide avec 1 145 mm, soit 16 % plus de précipitations que la première année (986 mm) et 24 % de plus que la troisième année (924 mm).

### Pertes d'eau

Il n'y a eu aucune différence entre les cultures quant aux quantités totales annuelles d'eau (ruissellement et drainage) évacuées par les parcelles au cours de la deuxième et de la troisième année ( $p > 0,10$ ). Elles s'étaient élevées à 398 mm la deuxième année et 222 mm la troisième année. Ces valeurs représentaient 35 % de la précipitation totale de la deuxième année et 24 % de précipitation totale de la troisième année. Par contre, pendant la première année, les parcelles de maïs ont évacué plus d'eau ( $p < 0,10$ ) que les parcelles de fourrage (238 mm vs 202 mm), probablement parce que le fourrage ne s'était pas encore bien implantée. Ses besoins en eau étaient, par conséquent, relativement faibles.

Sur une base saisonnière, il n'y a eu non plus aucune différence entre les cultures quant aux quantités totales d'eau évacuées par les parcelles à l'automne, en hiver et au printemps ( $p > 0,10$ ). Les valeurs moyennes pour ces trois saisons étaient pour la première année: 16, 58 et 79 mm, pour la deuxième année : 212, 65 et 100 mm et pour la troisième année : 77, 80 et 40 mm. Par contre, en été, la quantité totale d'eau évacuée a été significativement plus élevée pour les parcelles de maïs que pour les parcelles de fourrage ( $p < 0,10$ ). Pour le maïs, les

valeurs moyennes s'étaient élevées pour chacune des trois années à 68, 12 et 17 mm. Les valeurs correspondantes pour le fourrage étaient : 42, 2 et 1 mm.

## Charges totales annuelles

### Effets des cultures

En moyenne, les charges totales annuelles (ruissellement et drainage) ont été significativement plus élevées pour le maïs que pour le fourrage ( $p < 0,10$ ), sauf la première année où le fourrage ne s'était pas encore bien implantée. Les parcelles de maïs ont exporté en moyenne 64 % plus de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  que les parcelles de fourrage la deuxième année et deux fois plus la troisième année (tableau 2). La fertilisation totale annuelle appliquée sur chaque parcelle étant fonction des besoins agronomiques de la culture supportée, on peut conclure que la culture du maïs comporte plus de risques pour la contamination de l'eau par l'azote ammoniacal que la culture d'un fourrage. Puisqu'il n'y avait pas une différence significative entre les quantités annuelles d'eau évacuées par les deux types de cultures, l'accroissement des risques pour la maïs s'explique par la quantité d'azote ammoniacale épandue par unité de surface, celle-ci étant en moyenne trois fois plus élevée pour le maïs que pour le fourrage.

### Effets des traitements

Dans le maïs, l'épandage de tout le lisier à l'automne (traitement 180-0-360) a provoqué les plus grandes augmentations de la charge totale annuelle d'azote ammoniacal par rapport au témoin (traitement 180-0-0); ( $p < 0,10$ ). La charge a triplé la première année et doublé à chacune des années subséquentes (tableau 2). Si l'on tient compte de la quantité totale d'eau évacuée, la concentration moyenne d'azote ammoniacal dans l'eau serait de  $1,44 \text{ mg L}^{-1}$  la première année, de  $0,88 \text{ mg L}^{-1}$  la deuxième année et de  $1,03 \text{ mg L}^{-1}$  la troisième année. Ces valeurs sont beaucoup plus élevées que la concentration maximale d'azote ammoniacal acceptable dans l'eau brute, fixée à  $0,5 \text{ mg L}^{-1}$ , (McNeely *et al.*, 1980). Notons que la concentration moyenne occasionnée par le traitement témoin était pour chacune des trois années :  $0,47$ ,  $0,36$  et  $0,48 \text{ mg L}^{-1}$ . Les concentrations moyennes d'azote ammoniacal occasionnées par le traitement 180-0-360 ont été par contre beaucoup plus faibles que les concentrations de nitrates. Au cours de la deuxième année, par exemple, le même traitement appliqué au maïs a occasionné une charge totale annuelle de  $160,81 \text{ kg NO}_3^-\text{-N ha}^{-1}$ , ce qui correspondait à une concentration moyenne de  $40 \text{ mg NO}_3^-\text{-N L}^{-1}$ . Le traitement témoin avait occasionné une charge moyenne annuelle de  $94,50 \text{ kg NO}_3^-\text{-N ha}^{-1}$  et une concentration moyenne de  $23,7 \text{ mg NO}_3^-\text{-N L}^{-1}$  (Pesant *et al.*, 1993). Aucun des autres traitements qui impliquaient du lisier n'a provoqué des pertes d'azote ammoniacal aussi élevées que le traitement 180-0-360 parce que l'épandage du lisier a été fait au printemps et à l'été, soit dans des conditions plus favorables à la nitrification que l'automne, où le sol est humide et relativement froid. Les charges totales de nitrates provoquées par ces traitements au cours de la deuxième année ( $194,9 \text{ kg N ha}^{-1}$  pour le traitement 180-180-180,  $175,6 \text{ kg N ha}^{-1}$  pour le traitement 180-360-0, semblaient d'ailleurs plus élevées que celles

**Tableau 2 Effets des cultures et des traitements sur la charge totale annuelle de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  dans l'eau de ruissellement et de drainage**

	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année	3 <sup>e</sup> année
	kg $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ha <sup>-1</sup> an <sup>-1</sup>		
<b>Culture</b>			
Maïs	1,93a <sup>†</sup>	1,77a	1,47a
Fourrage	1,62a	1,08b	0,66b
<b>Traitement</b>			
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	1,11	1,42	1,07
Maïs : 180-180-180	1,83c <sup>†</sup>	1,50	2,10c
Maïs : 180-360-0	1,78c	1,16	0,75
Maïs : 180-0-360	3,43c	3,49c	2,29c
Fourrage : 55-0-0	1,39	0,79	0,69
Fourrage : 55-55-55	1,29	0,68	0,68
Fourrage : 55-110-0	1,70	0,76	0,47
Fourrage : 55-0-110	2,16c	2,58c	0,82

<sup>†</sup> Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>‡</sup> Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>§</sup> Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>†</sup> Les moyennes d'une même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à  $P=0,10$  pour la culture seulement.

<sup>†</sup> Indique que ce traitement diffère ( $p \leq 0,10$ ) du traitement témoin (fertilisant minéral seul, 180-0-0 pour le maïs, 55-0-0 pour la prairie).

occasionnées par le traitement 180-0-360 (Pesant *et al.*, 1993). Il en résulte que pour le traitement 180-0-360, une plus grande proportion de l'azote ammoniacal a été perdue, limitant par le fait même la quantité qui a été utilisée par les microorganismes dans le processus de nitrification.

Dans le fourrage, seul le traitement 180-0-360 a provoqué des augmentations significatives ( $p < 0,10$ ) par rapport au témoin, notamment au cours des deux premières années. La charge a augmenté de 55 % la première année et triplé la deuxième année (tableau 2). Les concentrations moyennes annuelles correspondantes étaient 1,07 mg L<sup>-1</sup> la première année et 0,65 mg L<sup>-1</sup> la deuxième année, comparativement à 0,68 et 0,20 mg.L<sup>-1</sup> pour le témoin. Il s'en suit que, comme dans le maïs, le traitement 180-0-360 a aussi provoqué des concentrations moyennes d'azote ammoniacal dépassant les normes pour l'eau brute.

### **Transport de l'azote ammoniacal : Effets des cultures**

Le mode de transport de l'azote ammoniacal a été évalué en procédant à l'analyse de variance des charges annuelles dans l'eau de ruissellement et de drainage séparément (tableau 3). Des différences significatives ( $p < 0,10$ ) ont été observées dans l'eau de ruissellement seulement, indiquant que le mode de transport privilégié de l'azote ammoniacal est le ruissellement. En moyenne, les charges annuelles dans l'eau de ruissellement ont été deux fois plus élevées dans le maïs que dans le fourrage ( $p < 0,10$ ), sauf la première année où le fourrage ne s'était pas encore bien implantée. Comme indiqué précédemment, l'épandage d'une quantité d'azote ammoniacal plus élevée sur les parcelles de maïs que sur les parcelles de fourrage explique ce résultat.

### **Transport de l'azote ammoniacal : Effets des traitements**

Dans le maïs, le traitement 180-0-360 est pratiquement le seul qui a provoqué des augmentations significatives ( $p < 0,10$ ) par rapport au témoin : 1,98 kg N ha<sup>-1</sup> la première année, 2,04 kg N ha<sup>-1</sup> la deuxième année et 1,10 kg N ha<sup>-1</sup> la troisième année. De plus, la comparaison des charges dans l'eau de ruissellement à celles dans l'eau de drainage indique que la plus grande partie de la perte, soit 85 % la première année et 90 % chacune des années subséquentes, s'est produite par l'eau de ruissellement, confirmant encore que le ruissellement est le mode de transport privilégié de l'azote ammoniacal. Cette forme de l'azote se comporte donc différemment des nitrates puisqu'il a été démontré dans un article antérieur (Pesant *et al.*, 1993) que sur ces parcelles, 98 % de la perte de nitrates a eu lieu dans l'eau de drainage, quel que soit la culture et le traitement.

Dans le fourrage, aucun des traitements qui incluait du lisier n'a occasionné une différence assez élevée pour être significative ( $p > 0,10$ ). Cela s'explique comme suit : contrairement au maïs ensilage (qui est récolté à l'automne et semé tard au printemps), le fourrage est en place toute l'année. Elle continue donc de prélever l'azote ammoniacal tard à l'automne (bien qu'à faible rythme) et commence à en prélever dès l'épandage du printemps. La comparaison des charges



**Tableau 3 Effets des cultures et des traitements sur la charge totale annuelle de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  dans l'eau de ruissellement ou dans l'eau de drainage**

	Année et mode de transport					
	1 <sup>re</sup> année		2 <sup>e</sup> année		3 <sup>e</sup> année	
	Ruissellement	Drainage	Ruissellement	Drainage	Ruissellement	Drainage
	kg $\text{NH}_4^+\text{-N ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$					
<b>Culture</b>						
Maïs	1,69a <sup>†</sup>	0,24a	1,48a	0,27a	1,36a	0,11a
Fourrage	1,40	0,21a	0,70b	0,35a	0,61b	0,05a
<b>Traitement</b>						
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	1,02	0,09	1,13	0,28	1,00	0,07
Maïs : 180-180-180	1,43	0,39c	1,23	0,26	1,98c	0,12
Maïs : 180-360-0	1,67	0,12	0,92	0,31	0,68	0,07
Maïs : 180-0-360	3,00c <sup>†</sup>	0,42c	3,17c	0,31	2,10c	0,21
Fourrage : 55-0-0	1,28	0,11	0,64	0,15	0,63	0,05
Fourrage : 55-55-55	1,06	0,21	0,36	0,29	0,62	0,06
Fourrage : 55-110-0	1,42	0,29	0,64	0,12	0,42	0,05
Fourrage : 55-0-110	1,91	0,25	1,30	1,00	0,78	0,03

<sup>†</sup> Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>‡</sup> Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>§</sup> Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>†</sup> Les moyennes d'une même colonne suivies de la même lettre ne sont pas significativement différentes à  $P=0,10$  pour la culture seulement.

<sup>†</sup> Indique que ce traitement diffère ( $p \leq 0,10$ ) du traitement témoin (fertilisant minéral seul, 180-0-0 pour le maïs, 55-0-0 pour le fourrage).

dans l'eau de ruissellement à celles dans l'eau de drainage indique également que la plus grande partie de la perte s'est produite par l'eau de ruissellement. Ceci indique aussi que, comme dans le maïs, le ruissellement est le mode de transport privilégié de l'azote ammoniacal dans le fourrage.

### Charges saisonnières

De façon générale, les charges d'azote ammoniacal ont suivi un profil saisonnier similaire pour les deux cultures et les traitements (tableau 4).

#### *Automne vs Hiver*

De façon générale, les charges étaient plus élevées en hiver qu'à l'automne pour tous les traitements dans le maïs et le fourrage, mais surtout pour le traitement 180-0-360 dans le maïs (figures 1, 2 et 3). Pour ce traitement, les charges ont augmenté de 1,10 kg ha<sup>-1</sup> entre l'automne et l'hiver comparativement à 0,26 kg ha<sup>-1</sup> pour le traitement témoin (180-0-0) la première année (figure 1), 2,43 kg ha<sup>-1</sup> vs 0,13 kg ha<sup>-1</sup> la deuxième année (figure 2), et 1,19 vs. 0,14 kg ha<sup>-1</sup> la troisième année (figure 3). La concentration moyenne d'azote ammoniacal dans l'eau en hiver due au traitement 180-0-360 était de 2,53 mg L<sup>-1</sup> la première année, 3,93 mg L<sup>-1</sup> la deuxième année et 1,54 mg L<sup>-1</sup> la troisième année, soit au-delà de 0,5 mg L<sup>-1</sup>, norme acceptable dans l'eau brute (McNeely *et al.*, 1980). Par comparaison, les concentrations moyennes d'hiver dues au traitement témoin étaient de 0,48, 0,45 et 0,33 mg L<sup>-1</sup> respectivement pour chacune des trois années. Ces résultats indiquent que la généralisation des pratiques consistant à épandre de grandes quantités de lisier de porc à l'automne sur les parcelles de maïs peut provoquer la contamination des eaux par azote ammoniacal pendant les fontes hivernales.

#### *Hiver vs Printemps*

Il n'y avait ni effet des cultures, ni effet des traitements sur la différence entre les charges hivernales et printanières pendant la première année (tableau 4, figure 1); par contre, les charges printanières avaient tendance à être plus faibles que les charges hivernales pour tous les traitements dans le maïs et dans le fourrage, pendant la deuxième et la troisième année (figures 2 et 3). Cette diminution des charges de l'hiver au printemps est particulièrement marquée pour le traitement 180-0-360, où la charge a diminué de 2,01 kg ha<sup>-1</sup> ( $p < 0,10$ ) comparativement à 0,03 kg ha<sup>-1</sup> pour le traitement 180-0-0 (figure 2). Malgré cette diminution, la concentration printanière due au traitement 180-0-360 s'était élevée à 0,55 kg ha<sup>-1</sup>, soit le double de la concentration due au traitement témoin (0,26 mg L<sup>-1</sup>), c'est-à-dire bien au dessus de la limite acceptable.

Tableau 4 Signification des valeurs F de l'analyse de variance des charges totales saisonnières de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  dans l'eau de ruissellement et de drainage

Comparaison/Source <sup>†</sup>	1 <sup>re</sup> année	2 <sup>e</sup> année	3 <sup>e</sup> année
<i>Automne vs hiver</i>			
Moyenne	*	*	*
C <sup>†</sup>	*	ns	ns
T(C) <sup>†</sup>	ns	ns	ns
<b>Contraste</b>			
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>§</sup> -0 <sup>††</sup> vs 180-180-180	ns	ns	ns
Maïs: 180-0-0 vs 180-360-0	ns	ns	ns
Maïs: 180-0-0 vs 180-0-360	*	*	*
Fourrage: 55-0-0 vs 55-55-55	ns	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-110-0	ns	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-0-110	ns	ns	ns
<i>Hiver vs printemps</i>			
Moyenne	ns	*	*
C	ns	ns	*
T(C)	ns	ns	ns
<b>Contraste</b>			
Maïs: 180-0-0 vs 180-180-180	ns	ns	ns
Maïs: 180-0-0 vs 180-360-0	ns	ns	ns
Maïs: 180-0-0 vs 180-0-360	ns	*	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-55-55	ns	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-110-0	ns	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-0-110	ns	ns	ns
<i>Printemps vs été</i>			
Moyenne	*	ns	*
C	*	ns	ns
T(C)	*	*	ns
<b>Contraste</b>			
Maïs: 180-0-0 vs 180-180-180	ns	ns	ns
Maïs: 180-0-0 vs 180-360-0	*	ns	ns
Maïs: 180-0-0 vs 180-0-360	*	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-55-55	ns	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-110-0	*	ns	ns
Fourrage: 55-0-0 vs 55-0-110	*	ns	ns

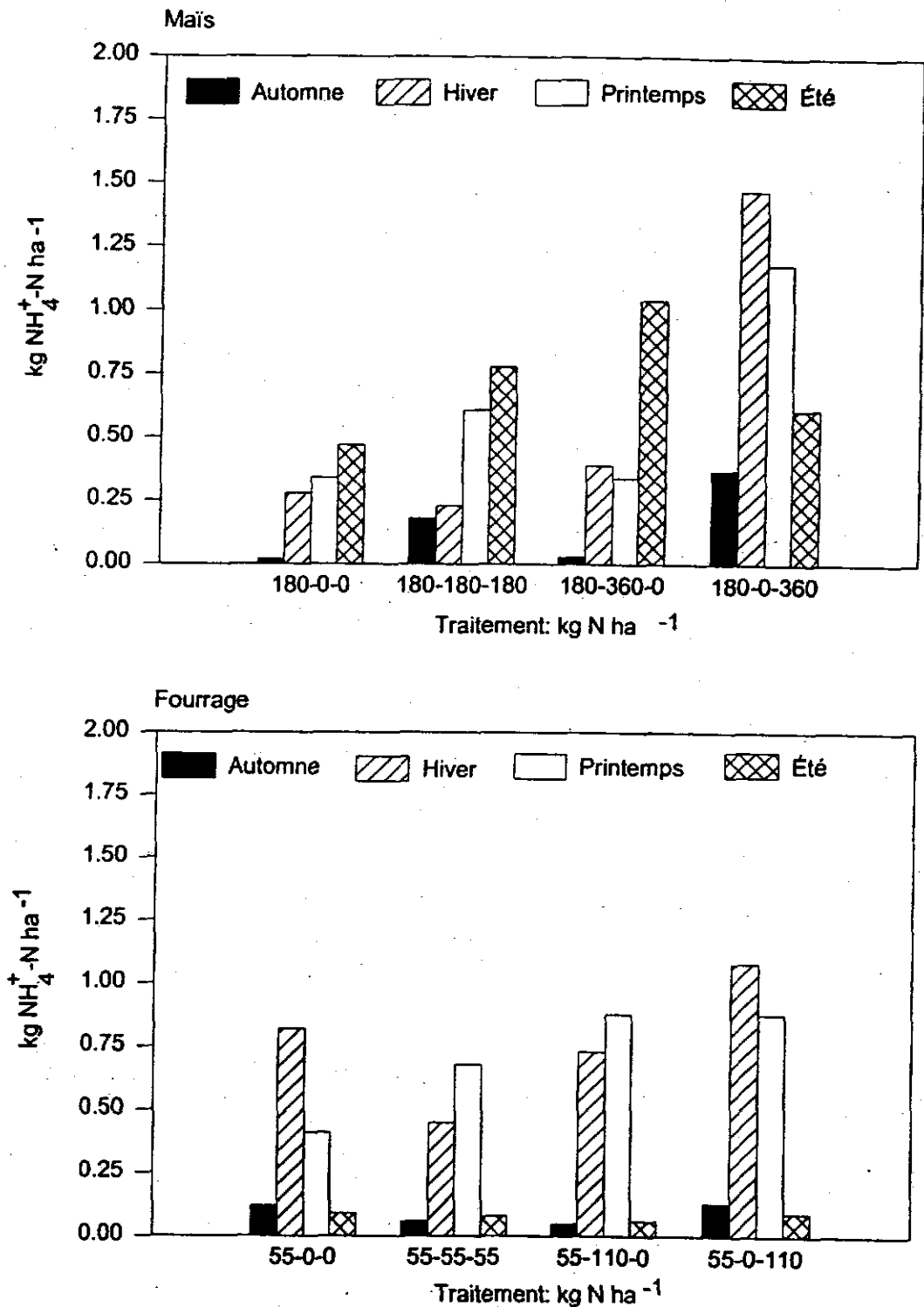
\* ns Significatif et non significatif à  $P=0.10$

† C : culture, T : traitement

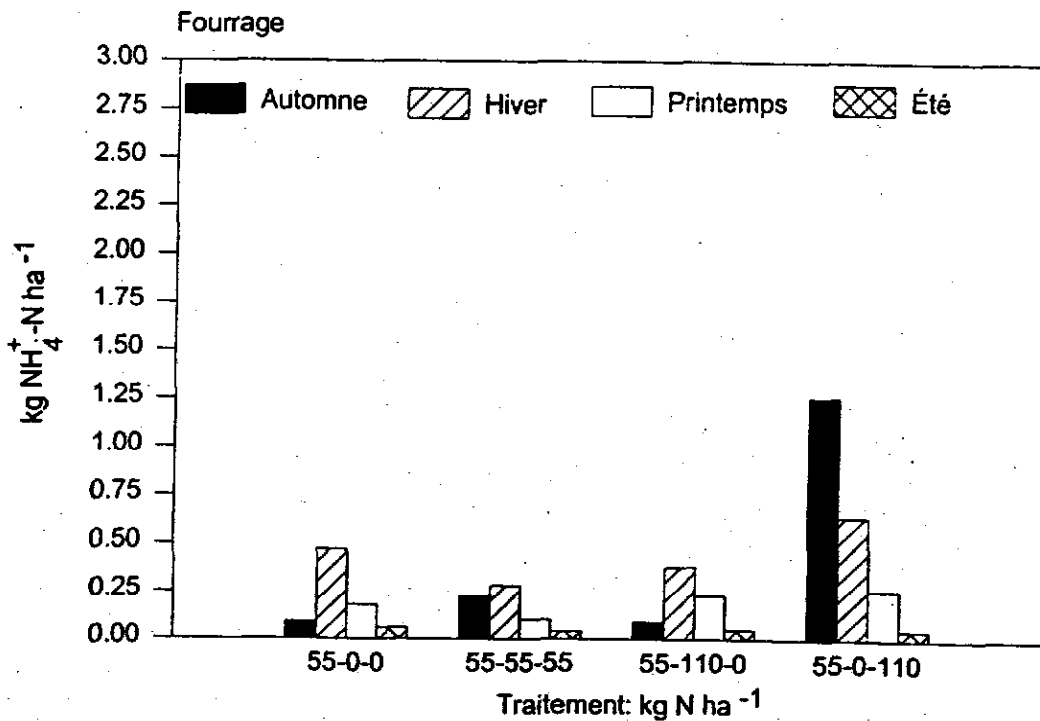
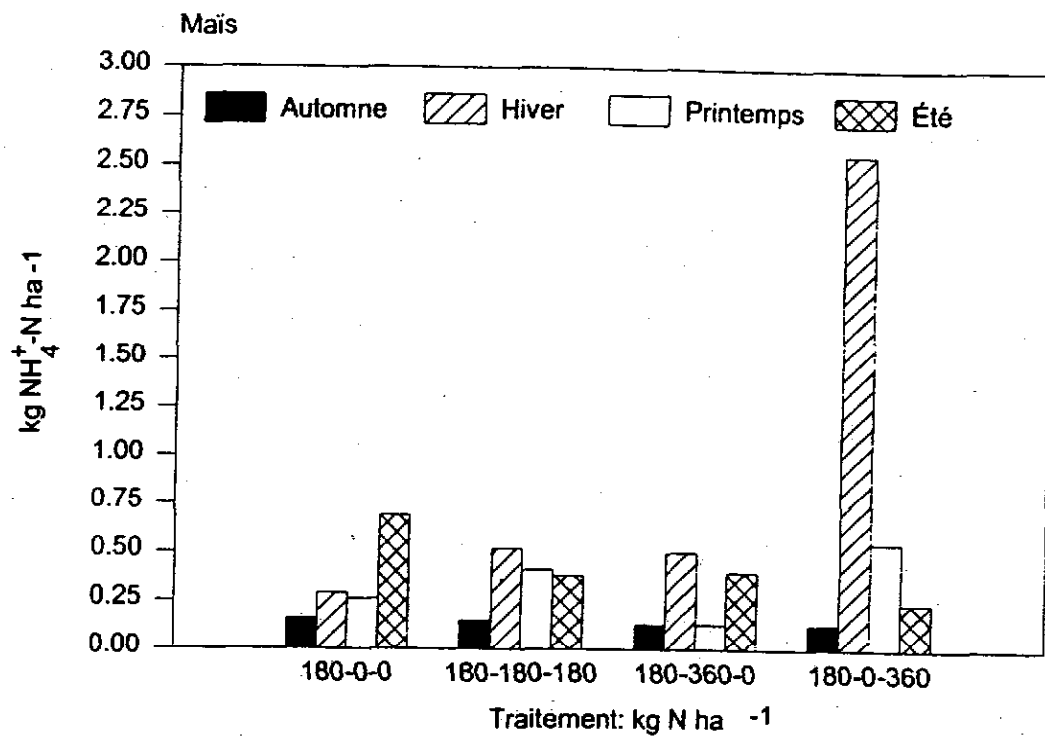
‡ Engrais minéral épandu au printemps,  $\text{kg N ha}^{-1}$

§ Lisier de porc épandu au printemps,  $\text{kg N ha}^{-1}$

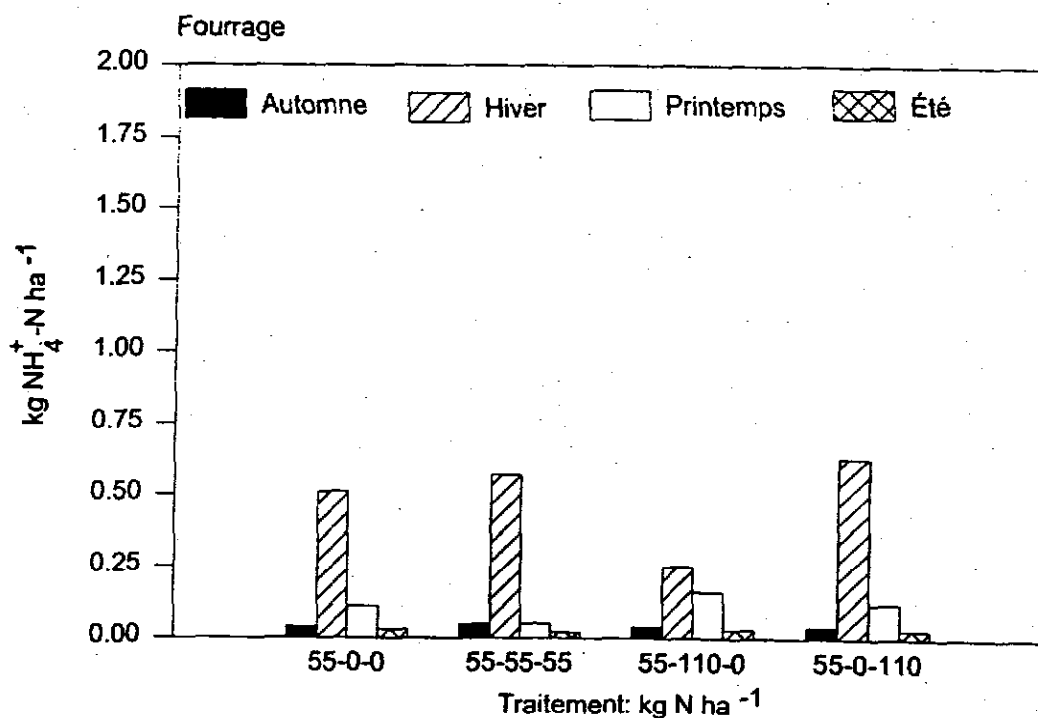
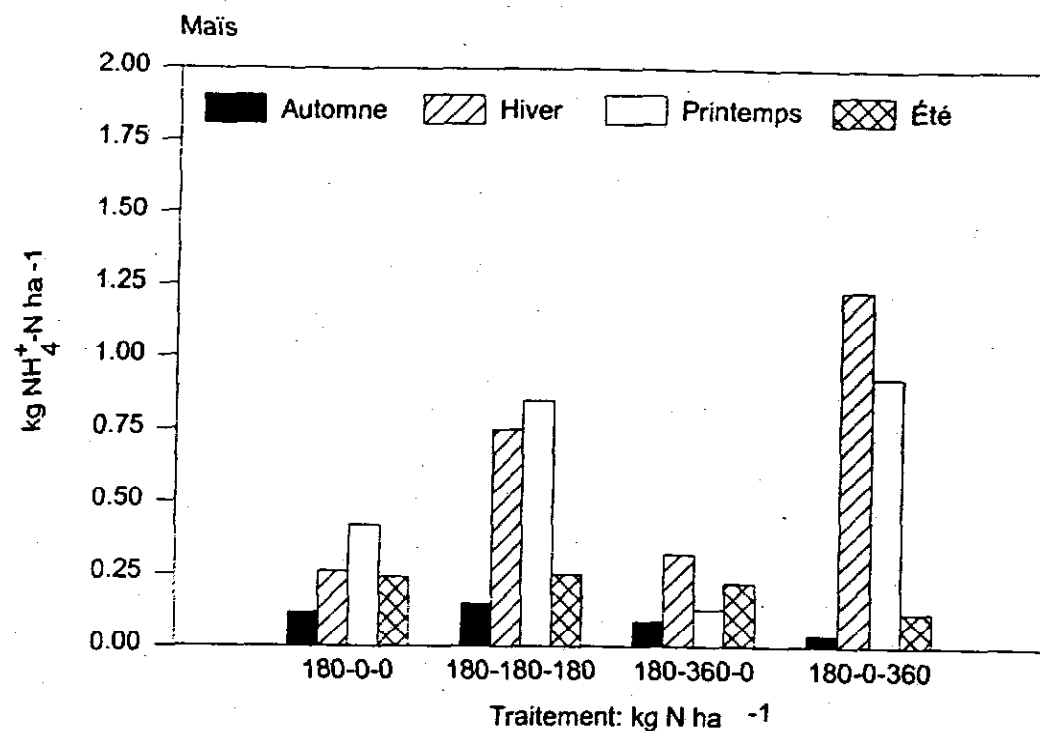
†† Lisier de porc épandu à l'automne,  $\text{kg N ha}^{-1}$



**Figure 1** Effets des traitements sur les charges totales saisonnières de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  durant la première année. Codes de traitement : premier chiffre = N minéral épandu au printemps, deuxième chiffre = lisier de porc épandu au printemps, troisième chiffre = lisier de porc épandu à l'automne, le tout en  $\text{kg N ha}^{-1}$



**Figure 2** Effets des traitements sur les charges totales saisonnières de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N durant la deuxième année. Codes de traitement : premier chiffre = N minéral épandu au printemps, deuxième chiffre = lisier de porc épandu au printemps, troisième chiffre = lisier de porc épandu à l'automne, le tout en kg N ha<sup>-1</sup>



**Figure 3** Effets des traitements sur les charges totales saisonnières de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  durant la troisième année. Codes de traitement : premier chiffre = N minéral épandu au printemps, deuxième chiffre = lisier de porc épandu au printemps, troisième chiffre = lisier de porc épandu à l'automne, le tout en  $\text{kg N ha}^{-1}$

### *Printemps vs Été*

Les différences entre les charges printanières et hivernales ont diminué ( $p < 0,10$ ) pendant la première et la deuxième année dans le fourrage, alors qu'elles ont diminué ou augmenté selon le traitement dans le maïs (tableau 4, figures 1 et 2). Les différences significatives ( $p < 0,10$ ) pour les traitements 180-0-360 vs 180-0-0 dans le maïs pour la première et la deuxième année (figures 1 et 2) indiquent une légère diminution de la charge de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  entre le printemps et l'été pour le traitement témoin et une diminution importante pour le traitement 180-0-360. Par contre, le traitement 180-360-0 et le traitement témoin dans le maïs ont tous les deux provoqué une augmentation de la charge de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  du printemps à l'été; la différence ( $p < 0,10$ ) entre les deux saisons étant beaucoup plus élevée pour le traitement 180-360-0 que pour le traitement témoin. Dans le fourrage, les différences entre les charges printanières et estivales étaient plus élevées ( $p < 0,10$ ) pour les traitements 55-110-0 et 55-0-110 que pour le traitement témoin, et ce, pendant la première année (figure 1).

### CONCLUSIONS

L'épandage de  $360 \text{ kg N ha}^{-1}$  de lisier de porc à l'automne dans le maïs, en plus de  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  d'engrais minéraux, a provoqué des charges annuelles de  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  de 3,43, 3,49, et  $2,29 \text{ kg ha}^{-1}$  pendant la première, la deuxième et la troisième année. Ces charges étaient deux à trois fois celles observées sur les parcelles témoin ayant reçu des engrais minéraux à raison de  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$ . Les concentrations annuelles respectives pour chacune des trois années étaient  $1,44$ ,  $0,88$  et  $1,03 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_4^+\text{-N}$  et ont excédé la norme de  $0,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_4^+\text{-N}$ . Puisqu'une grande proportion de cette perte s'est produite pendant la fonte de la neige en hiver et au printemps, les concentrations étaient élevées. Par exemple, les concentrations printanières étaient :  $2,53$ ,  $3,94$ , et  $1,54 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_4^+\text{-N}$  pour chacune des trois années. Les charges et les concentrations annuelles et saisonnières ont augmenté également comparativement au traitement témoin, lorsque de grandes quantités de lisier ont été épandues dans le fourrage à l'automne, bien que les différences n'aient pas été aussi marquées que dans le maïs. Il en résulte que le lisier de porc devrait être épandu tôt dans la saison de végétation, selon des taux qui correspondent aux besoins agronomiques des cultures.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ASSOCIATION DES FABRICANTS D'ENGRAIS DU QUÉBEC, 1987. *Guide de fertilisation*, AFEQ, Montréal, Québec.
- BOUCHARD, D.C., M.K. WILLIAMS et R.Y. SURAMPALLI, 1992. *Nitrate contamination of groundwater: Sources and potential health effects*, J. Am. Waterworks Association, 84:85-90.
- BOUCHER, P., 1985. *Impact de la pollution sur le traitement des eaux de la rivière l'Assomption à la centrale de filtration de Repentigny*, Sciences et Techniques de l'Eau, 18:267-276.
- EVANS, R.O., P.W. WESTERMAN et M.R. OVERCASH, 1984. *Subsurface drainage water quality from land application of swine lagoon effluent*, Trans. ASAE, 27:473-480.
- KING, L.D., P.W. WESTERMAN, G.A. CUMMINGS, M.R. OVERCASH et J.C. BURNS, 1985. *Swine lagoon effluent applied to Coastal Bermudagrass: II. Effects on soil*, J. Environ. Qual., 14:14-21.
- LALONDE, GIROUARD, LETENDRE *et al.*, 1984. *Étude de faisabilité d'un programme de transport du lisier dans le bassin hydrographique de la rivière l'Assomption*, ministère de l'Environnement, Sainte-Foy, Québec.
- MCKEAGUE, J.A., 1977. « Nitrates et ammonium. » dans *Manuel des méthodes d'échantillonnage et d'analyse des sols*, Soil Res. Inst., Agric. Canada, Ottawa, ON., p. 169-171.
- MCNEELY, R.N., V.P. NEIMANIS et L. DWYER, 1980. *Guide des paramètres de la qualité des eaux*, En 37-54/1981F, Env. Canada, Ottawa, ON.
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT DU QUÉBEC, 1987. *Eaux-Détermination de l'azote ammoniacal, méthode colorimétrique automatisée avec le phénate de sodium*, Menviq 87.11/303, N 1.1., MENVIQ, Ste-Foy, Québec.
- PESANT, A.R., G. GANGBAZO, D. CLUIS, G. BARNETT et J.-P. CHARUEST, 1993. « Effects of conventional pig manure application on runoff and drainage water quality dans S. Wicherek (ed.) *Proc. Int. Symp. on Farm Lands Erosion in Temperate Plains Environment and Hills*, St-Cloud, France, 25-29 May, 1992, CATENA Elviser Sci. Publ., Amsterdam, the Netherlands, p. 513-524.
- PRIMEAU, S. et Y. GRIMARD, 1990a. *Rivière Yamaska 1975-1988*, vol. 1, Description du bassin et qualité du milieu aquatique, ministère de l'Environnement, Québec.
- PRIMEAU, S. et Y. GRIMARD, 1990b. *Rivière Yamaska 1975-1988*, vol. 2, Résultats complémentaires sur la qualité des eaux, ministère de l'Environnement, Québec.



- ROWELL, J.C. et D.E. WALTERS, 1976. *Analysing data with repeated observations on Each experimental unit*, J. Agric. Sci. (Cambridge), 87:423-432.
- SCHUMAN, G.E., M.A. STANLEY et D. KNUDSEN, 1973. *Automated total nitrogen analysis of soil and plant samples*, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:480-481.
- SIMON, J.C., F. DE MONTARD, L. LE CORRE et D. PEPIN, 1989. *Rôle agronomique de le fourrage dans la gestion du drainage des nitrates vers la nappe phréatique*, Fourrages, 119:227-241.
- SIMONEAU, M., 1989. *Qualité des eaux de la rivière Chaudière de 1876 à 1987*, Ministère de l'Environnement, Québec.
- THÉRIAULT, J., 1983. « Inventaire du cheptel québécois » dans *Manuel de gestion agricole des fumiers*, ministère de l'Agriculture, Québec, p. 21-24.
- WESTERMAN, P.W., M.R. OVERCASH, R.O. EVANS, L.D. KING, J.C. BURNS et G.A. CUMMINGS, 1985. *Swine lagoon effluent applied to Coastal Bermudagrass : III. Irrigation and rainfall runoff*, J. Environ. Qual., 14:22-25.

**ANNEXE 3**

**CHARGES SAISONNIÈRES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE  
DANS L'EAU DE RUISSELLEMENT ET DE DRAINAGE PENDANT  
5 ANS (1989-1994) POUR N, ET 3 ANS (1989-1992) POUR P**

Paramètres/ Traitements	Saisons			
	Automne	Hiver	Printemps	Été
Kg N ha <sup>-1</sup>				
<b>N-Total :</b>				
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	28,42	2,84	19,44	9,08
Maïs: 180-180-180	58,48	4,50	54,96	16,06
Maïs: 180-360-0	44,48	4,25	25,35	16,46
Maïs: 180-0-360	29,87	4,75	42,91	9,58
Fourrage: 55-0-0	5,12	2,22	6,97	1,49
Fourrage: 55-55-55	7,09	1,61	7,54	1,91
Fourrage: 55-110-0	5,25	1,74	7,60	1,92
Fourrage: 55-0-110	7,51	2,28	9,79	2,02
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N :</b>				
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	0,13	0,28	0,48	0,42
Maïs: 180-180-180	0,22	0,49	0,80	0,39
Maïs: 180-360-0	0,10	0,39	0,37	0,42
Maïs: 180-0-360	0,31	1,27	1,08	0,32
Fourrage: 55-0-0	0,09	0,59	0,44	0,06
Fourrage: 55-55-55	0,13	0,48	0,50	0,05
Fourrage: 55-110-0	0,07	0,51	0,69	0,04
Fourrage: 55-0-110	0,31	0,76	0,57	0,05
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N :</b>				
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	24,98	1,97	15,55	6,45
Maïs: 180-180-180	54,62	3,50	48,52	12,80
Maïs: 180-360-0	40,84	3,06	22,10	12,63
Maïs: 180-0-360	25,42	2,65	38,12	6,18
Fourrage: 55-0-0	4,19	0,94	5,33	1,04
Fourrage: 55-55-55	5,98	0,68	5,88	1,42
Fourrage: 55-110-0	4,40	0,72	6,17	1,48
Fourrage: 55-0-110	6,40	1,30	8,48	1,59

<sup>†</sup> Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>‡</sup> Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>§</sup> Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>

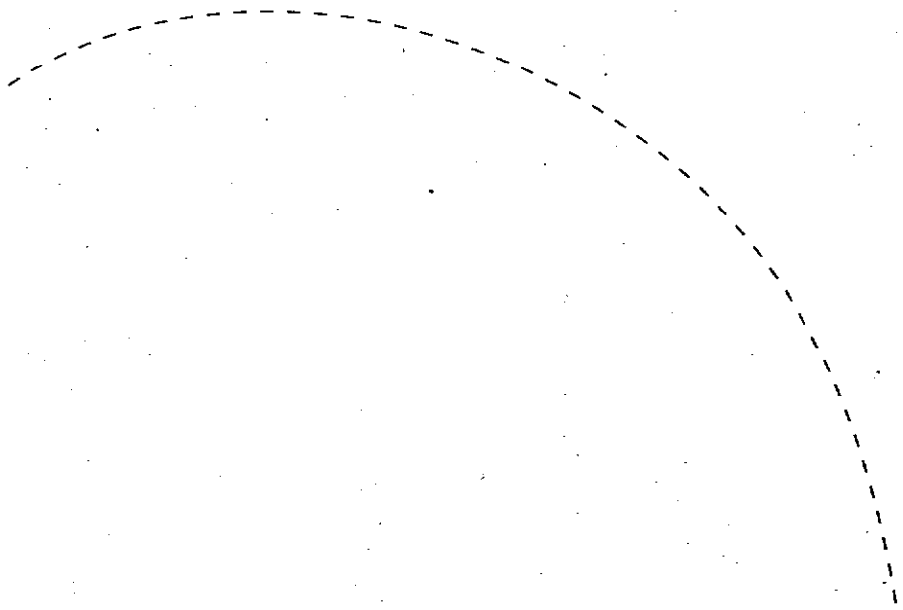
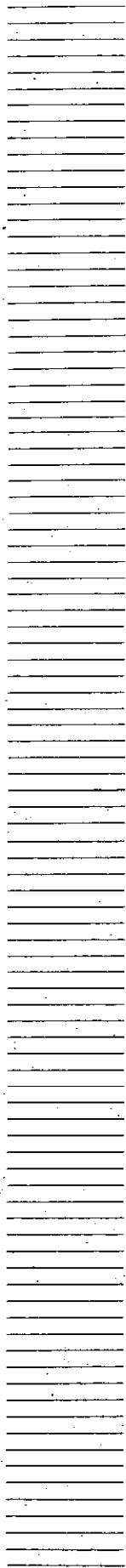
**CHARGES SAISONNIÈRES D'AZOTE ET DE PHOSPHORE  
DANS L'EAU DE RUISSELLEMENT ET DE DRAINAGE PENDANT  
5 ANS (1989-1994) POUR N, ET 3 ANS (1989-1992) POUR P - SUITE**

Paramètres/ Traitements	Saisons			
	Automne	Hiver	Printemps	Été
Kg N ha <sup>-1</sup>				
<b>P-Total :</b>				
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	0,16	0,11	0,24	0,12
Maïs: 180-180-180	0,13	0,10	0,19	0,06
Maïs: 180-360-0	0,09	0,12	0,07	0,07
Maïs: 180-0-360	0,08	0,33	0,16	0,07
Fourrage: 55-0-0	0,14	0,22	0,16	0,08
Fourrage: 55-55-55	0,15	0,18	0,11	0,03
Fourrage: 55-110-0	0,10	0,16	0,17	0,03
Fourrage: 55-0-110	0,29	0,32	0,11	0,03
<b>PO<sub>4</sub>-P :</b>				
Maïs: 180 <sup>†</sup> -0 <sup>‡</sup> -0 <sup>§</sup>	0,10	0,04	0,08	0,04
Maïs: 180-180-180	0,09	0,03	0,09	0,03
Maïs: 180-360-0	0,06	0,05	0,02	0,03
Maïs: 180-0-360	0,05	0,14	0,05	0,03
Fourrage: 55-0-0	0,08	0,09	0,07	0,02
Fourrage: 55-55-55	0,12	0,11	0,06	0,02
Fourrage: 55-110-0	0,06	0,08	0,08	0,02
Fourrage: 55-0-110	0,25	0,20	0,05	0,02

<sup>†</sup> Engrais minéral, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>‡</sup> Lisier de porc épandu au printemps, kg N ha<sup>-1</sup>

<sup>§</sup> Lisier de porc épandu à l'automne, kg N ha<sup>-1</sup>



Gouvernement du Québec  
**Ministère de l'Environnement  
et de la Faune**



Couverture : Ce papier contient 100 % de fibres recyclées après consommation.  
Intérieur : Ce papier contient 50 % de fibres recyclées dont 10 % après consommation.

97-3704-08