

# EFFET D'APPLICATION À LONG TERME DE FUMIER DE BOVINS, DE LISIER DE PORC ET DE L'ENGRAIS MINÉRAL SUR LA TENEUR EN MATIÈRE ORGANIQUE ET LA STRUCTURE DU SOL.

A. N'DAYEGAMIYE<sup>1</sup> ET D. CÔTÉ<sup>1</sup>

## RÉSUMÉ

Cette étude comparative avait pour but de mesurer l'effet de l'application à long terme de fumier de bovins, de lisier et de l'engrais minéral sur la teneur en matière organique ainsi que sur l'agrégation et la stabilité structurale du loam limoneux de la série Le Bras. Le premier essai en rotation de quatre ans de maïs-ensilage-céréales a débuté en 1977 et consiste en deux doses de fumiers de bovins (0, 20 Mg ha<sup>-1</sup>) en parcelles principales et différentes formules d'engrais minéraux (témoin, PK, NP, NK, NPK, NPKMg) en parcelles secondaires. Le deuxième essai en monoculture de maïs-ensilage a été initié en 1979. Les traitements consistent en 5 doses de lisier de porc (0, 30, 60, 90, 120 Mg ha<sup>-1</sup>). Les résultats obtenus indiquent que l'apport à long terme de lisier ou de l'engrais minéral a conduit à une diminution de la matière organique du sol. Cependant, cette réduction de la matière organique est principalement attribuable au système de culture, celle-ci étant de 9% dans le témoin en rotation maïs-ensilage-céréales et de 27% dans celui de la monoculture de maïs. L'apport prolongé de fumier de bovins a permis à la fois d'augmenter la matière organique totale et la fraction stable (l'humus) du sol. De plus, l'application de fumier de bovins a permis d'améliorer le pourcentage de macroagrégats du sol (5-8mm), contrairement au lisier de porc et à l'engrais minéral. Les macroagrégats du sol assurent la porosité optimale et le développement de la microflore du sol. Ces résultats démontrent que pour assurer la macroagrégation, il faut renouveler la matière organique fraîche et maintenir la matière organique stable (l'humus) par l'apport de fumier. Il ressort que l'apport prolongé de lisier ou de l'engrais minéral ne peut pas maintenir à long terme un bilan humique équilibré ainsi que de bonnes conditions physiques et biologiques des sols. C'est pourquoi leur gestion agronomique doit être intégrée dans une rotation optimale des cultures, en vue d'une agriculture durable.

**Mots clés:** agrégats de sol, fumier de bovins, lisier de porc, matière organique, agrégats du sol, structure, essais de longue durée.

## INTRODUCTION

La valeur fertilisante des fumiers est actuellement bien reconnue et c'est pour cette raison qu'on valorise de plus en plus les fumiers à la ferme en fonction de leur contenu en éléments nutritifs. De plus, grâce à la connaissance des coefficients d'équivalence pour la plupart des fumiers dans les conditions et les cultures du Québec, on est en mesure d'effectuer leur gestion de façon optimale.

Une étude récente a démontré que l'apport annuel de fumier seul à une faible dose (20 Mg ha<sup>-1</sup>) a permis à long terme d'obtenir les mêmes niveaux de production en maïs-ensilage équivalents à la fertilisation minérale complète. (N'dayegamiye 1995). Cette amélioration de la production n'est pas uniquement attribuable à la valeur fertilisante des fumiers, mais également à leur action indirecte sur le sol.

Cet effet indirect des fumiers concerne principalement l'amélioration des conditions physico-chimiques et biologiques du sol qui affectent la croissance des cultures, la minéralisation de l'azote et sa disponibilité ainsi que le bilan humique des sols (N'dayegamiye et Angers 1990; Estevez et al 1996).

Autant la disponibilité des éléments nutritifs des fumiers (action directe) que l'amélioration de la qualité des sols par les fumiers (action indirecte) dépendent des conditions d'aération du sol qui déterminent la vitesse de décomposition des fumiers.

La valeur fertilisante des engrais de ferme et leur action sur le sol dépendent également de la quantité apportée au sol, et de leur nature (lisiers, fumiers solides), ainsi que de leurs taux respectifs de décomposition.

De plus, les fumiers de bovins et les lisiers présentent une composition physique et chimique différente (N'dayegamiye et Côté 1989), et il est possible que leur action indirecte sur la qualité du sol soit différente.

C'est pourquoi cette étude présente des résultats comparatifs des effets à long terme d'apport de fumier solide de bovins et de lisier sur l'évolution des niveaux de matière organique ainsi que sur la formation d'agrégats et la stabilité de la structure du sol de la série Le Bras.

179

BIO93

Consultation sur le développement durable de la production porcine au Québec

<sup>1</sup> Centre de de recherche et d'expérimentation en sol (CRES), MAPAQ, 2700 rue Einstein, Sainte-Foy, Québec,

6211-12-007

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1- Essai de longue durée avec fumiers solides de bovins

Cette étude de longue durée a déjà fait l'objet de quelques publications concernant l'effet du fumier et de l'engrais minéral sur l'évolution des productions des cultures, celle des formes de phosphore dans le sol, ainsi que l'activité de la microflore et des populations de vers de terre ( N'dayegamiye 1995; Tran et N'dayegamiye 1995; Estevez et al. 1996).

L'essai a débuté en 1977 et consiste en deux doses de fumiers solides de bovins (0, 20 Mg ha<sup>-1</sup>) en parcelles principales et différentes formules de fumures minérales ( témoin, PK, NP, NK, NPK, NPKMg) en parcelles secondaires. Les traitements sont répétés trois fois. Les cultures en rotation de quatre ans étaient principalement le maïs-ensilage; maïs-ensilage, le blé et l'orge.

### 2- Essai de longue durée avec lisier de porc

Cette étude de longue durée est en cours depuis 1979. Les traitements consistent en 5 doses de lisier de porc ( 0, 30, 60, 90, 120 Mg ha<sup>-1</sup>) (Tableau 2). Le lisier était apporté en postlevée en monoculture de maïs. Les parcelles sont disposées en quatre blocs complets.

Les deux essais sont situés sur un loam limoneux de la série Le Bras.

### 3- Analyses de sols

Des échantillons de sol ont été prélevés dans ces essais en automne 1993 et 1994 dans la couche 0-20 cm pour les principaux traitements de fumier et d'engrais ( Tableau 1) et pour le lisier ( Tableau 2). On a par la suite évalué les effets d'apport prolongé de fumure minérale, de fumier de bovin et de lisier de porc sur la quantité et la qualité de la matière organique du sol, ainsi que sur l'agrégation et la stabilité de la structure du sol.

Pour analyser la qualité de la matière organique, les fractions actives et denses de la matière organique ont été déterminées par la technique de fractionation densimétrique avec une solution de NaI (1.59 g cm<sup>-3</sup>). Cette technique se base sur le principe que la densité absolue des matières organiques libres est voisine de 1 alors que la densité des particules minérales est plus élevée (>2). Grâce à la solution de NaI, on peut donc séparer la fraction fraîche ou active de la matière organique, libre de la fraction minérale; la fraction dense ou stable est quant à elle liée à la partie minérale du sol (Janzen 1987).

Les teneurs en matière organique et en azote du sol et celles de chaque fraction de la matière organique ont été respectivement déterminées par la méthode de Walkley Black et Kjeldahl (CPVQ 1993).

Pour l'étude de l'agrégation du sol, les agrégats stables à l'eau ont été déterminés par tamisage humide de 40 g de sol sur une batterie de tamis superposés: 8-5mm, 5-2mm, 2-1mm, 1-0,25mm. La stabilité de la structure (DMP) a été par la suite calculée ( Kemper et Rosenau 1986).

## RÉSULTATS

### Matière organique du sol

#### 1 - Essai avec fumier de bovins et engrais minéral en rotations des cultures

Dans les traitements avec fumure minérale, les niveaux de matière organique ( Tableau 1) varient de 4,3 à 4,4 %, mais ils sont plus élevés avec l'apport de fumier (5,3 à 6,0 %). De façon générale, on observe que l'apport de la fumure minérale tend à diminuer légèrement la matière organique du sol, comparativement au fumier. L'apport de fumier de bovins, même à faible dose ( 20 Mg ha<sup>-1</sup>), a significativement augmenté le niveau de matière organique dans le sol.

Tableau 1. Effet de 16 ans (1977-1993) d'application d'engrais et de fumier sur les niveaux de matière organique et d'azote dans un loam limoneux de la série Le Bras.

	Matière organique totale			Fraction active			Fraction stable		
	M.O.	N	C/N	M.O.	N	C/N	M.O.	N	C/N
	%			%			%		
Sans fumier									
0	4,4	1,70	15,1	0,20	0,05	20,3	4,0	1,53	15,10
PK	4,3	1,68	15,1	0,23	0,06	23,0	4,0	1,40	17,0
NPK	4,5	1,62	15,4	0,30	0,07	24,6	4,2	1,54	15,7
Avec fumier									
0	6,0	2,08	16,9	0,31	0,08	23,3	5,6	1,84	17,8
PK	5,3	2,00	15,6	0,34	0,09	22,0	4,9	1,69	17,0
NPK	5,3	1,94	15,9	0,36	0,09	23,3	5,1	1,86	16,0
Analyse de variance									
Fumier	*	*	NS	NS	NS	NS	**	NS	*
Engrais	NS	NS	NS	**	**	**	NS	NS	NS

\*, \*\*, NS = significatif à P < 0,05, P < 0,01 et non significatif, respectivement.

\* = le niveau initial de matière organique totale du sol était de 4,8 %.

\*\* = fraction active (fraîche) et fraction stable (humus) de la matière organique totale du sol.

Ce sol avait un niveau initial de 4,8% de matière organique en 1977. En 1993, on constate une diminution en matière organique d'environ 9% chez le témoin et également dans les traitements avec les engrais minéraux. Avec l'apport de fumier de bovins, on obtient par contre une augmentation de 27% de matière organique dans les parcelles avec le fumier seul et de seulement 10% dans les traitements avec le fumier complété d'engrais (NPK). Les rapports C/N sont de 15 dans les parcelles avec fumure minérale et sont légèrement plus élevés sous les parcelles avec fumier ( 16 à 17), ce qui démontre que la nature de l'humus est différente selon les deux systèmes de fertilisation.

## 2 - Essai avec doses de lisier en monoculture de maïs ensilage

Après 15 ans d'application de lisier, on observe des diminutions de 27% de matière organique chez le témoin sans lisier (Tableau 2) et de 30% en moyenne avec les différentes doses de lisier. Cependant, l'effet de doses de lisier sur la réduction de la matière organique n'est pas significatif. La forte réduction de matière organique observée dans cet essai peut être principalement attribuée au système de culture. En effet, sous monoculture de maïs ensilage, la réduction de la matière organique était élevée (27%) chez le témoin sans lisier ni fumure minérale. Par contre, la diminution de matière organique était plus faible (9%) dans le témoin situé dans l'essai en rotation de maïs-ensilage, maïs-ensilage, blé, orge. Cette faible diminution de la matière organique a également été constatée sur le même type de sol par Giroux (1991) dans un système semblable de rotations.

Tableau 2. Effet de 15 ans (1979-1994) d'apport de lisier de porcs sur la teneur en matière organique du loam limoneux de la série Le Bras (t/ha<sup>1</sup>)

Année	0	30	60	90	120	(F)
1979	77	80	87	84	77	NS
1984	71	70	75	75	67	NS
1989	58	61	74	70	61	NS
1994	57	55	61	64	51	NS
% de réduction	27	31	30	22	34	

On sait généralement que la monoculture prolongée de maïs-ensilage laisse peu de résidus organiques au sol. Dans une autre étude conduite sur le même sol, la monoculture de maïs-ensilage a également conduit à la diminution de la matière organique et de la biomasse microbienne du sol, mais le niveau de celle-ci était maintenu optimal grâce au travail réduit du sol (Angers et al. 1993).

Ces résultats obtenus sur la matière organique ont démontré que l'apport prolongé de fumure minérale et de lisier peut conduire à la diminution de la matière organique du sol lorsque les rotations ne sont pas optimales. L'apport régulier de fumier même à faible dose, peut entretenir et améliorer le bilan humique des sols.

### Qualité de la matière organique

La qualité de la matière organique a été seulement étudiée dans l'essai avec fumier de bovins et engrais minéral en rotation des cultures. Les résultats obtenus sur les différentes fractions de la matière organique sont présentés dans le tableau 1.

La fraction active représente entre 4 à 10% de la matière organique totale du sol, selon les traitements. Le contenu en fraction stable (humus) est beaucoup plus élevé et représente entre 90 à 96% de la matière organique totale du sol, selon les traitements.

L'apport de l'engrais minéral a principalement augmenté la fraction active de la matière organique probablement grâce aux résidus de récolte et à la stimulation de la microflore du sol. Cependant, on observe des tendances de diminution de la fraction stable sous ces mêmes traitements à cause de la stimulation de la minéralisation microbienne suite à l'apport prolongé de l'engrais minéral. Par contre, l'apport de fumier a favorisé à la fois le maintien de la fraction active et a également permis une importante accumulation de la fraction stable de la matière organique.

La fraction active ou nouvelle de la matière organique se trouve en voie de décomposition et elle est encore très peu liée à la partie minérale du sol. Constituée de la biomasse microbienne, de la microfaune et de résidus organiques en phase primaire de décomposition, cette fraction se minéralise rapidement et seulement une faible proportion est transformée en humus stable. La fraction stable de la matière organique s'accumule dans le sol avec les années à partir de la fraction active. Elle est liée à la partie minérale du sol, formant ainsi le complexe argilo-humique du sol. La fraction stable de la matière organique se minéralise moins rapidement que la partie active.

La matière organique active stimule la microflore, participant ainsi à la formation de la structure du sol grâce au mucilage microbien, aux hyphes fongiques et aux polysaccharides. La fraction stable contribue à accroître la capacité d'échange cationique (CEC) du sol et participe également à l'agrégation des particules de sol.

### Agrégation du sol et stabilité structurale

#### 1- Essai avec fumier de bovins et engrais minéral en rotation

L'analyse de la distribution des agrégats de sol (Tableau 3) montre que le pourcentage de gros agrégats (5-8mm) est plus élevé avec l'apport de fumier comparativement à la fumure minérale. Le pourcentage d'agrégats inférieurs à 0,25 mm diminue de façon importante dans les traitements avec fumier mais demeure élevé sous les traitements de fumure minérale.

La formation de gros agrégats résulte de l'attachement de petits agrégats ensemble grâce aux racines fines, aux polysaccharides et aux hyphes des champignons. Cette agglomération de microagrégats conduit à la formation de macroagrégats. La macroagrégation du sol améliore l'aération du sol, favorisant ainsi un meilleur régime d'humidité et de température du sol. Par conséquent, celle-ci permet un meilleur développement de la microflore et de la pédofaune et une croissance optimale des plantes.

L'apport prolongé de fumure minérale ou de fumier n'a pas amélioré la stabilité structurale du sol

(DMP)(Tableau 3). Ceci peut être dû à la période d'échantillonnage en début d'automne car la stabilité structurale change avec l'humidité du sol. Cependant, la stabilité structurale du sol était fortement reliée au pourcentage de gros agrégats 5-8mm ( $r=0.98$ ;  $P>0,0001$ ). Par ailleurs, on a noté une forte corrélation négative entre la fraction fine (<0,25mm) et la stabilité structurale ( $r=-0,90$ ;  $P>0,0001$ ). La minéralisation de l'azote et la respiration microbienne mesurées dans les mêmes parcelles (N'dayegamiye 1995) ont été également fortement corrélées aux plus gros agrégats 5-8mm et 2-5mm ( $r= 0,79$ ;  $P>0,001$ )

Tableau 3. Effets de 16 ans d'apport de fumier de bovins et des engrais sur la stabilité structurale (DMP) et la répartition des différents agrégats du loam limoneux de la série Le Bras.

Traitements	DMP mm	Répartition des agrégats				
		5 - 8*	2 - 5	1 - 2	0,25 - 1	< 0,25**
Sans fumier						
0	2,34	21,4	25,8	11,6	15,9	25,3
PK	2,36	22,0	27,0	10,3	13,5	27,0
NPK	2,33	23,5	22,2	12,1	15,8	26,2
Avec fumier						
0	3,13	34,4	25,0	12,2	14,5	14,0
PK	2,48	33,0	18,1	10,1	12,6	26,0
NPK	3,07	34,3	22,9	9,1	13,2	20,5
Analyse de variance						
Fumier	NS	**	NS	NS	NS	*
Engrais	NS	NS	**	NS	NS	NS

\*, \*\* NS = significatif à  $P < 0,05$ ,  $P < 0,01$  et non significatif, respectivement.

\* = le diamètre des tamis en mm.

\*\* = le pourcentage d'agrégats < 0,25 mm est calculé par différence.

Ces résultats de corrélation indiquent que l'augmentation du pourcentage de macroagrégats des sols par les fumiers a amélioré les conditions physiques généralement propices pour un meilleur potentiel biologique du sol.

D'autres études antérieures ont déjà indiqué que l'apport de fumier solide de bovins a augmenté le nombre de bactéries, de champignons et de vers de terre dans le sol de la série Le Bras (N'dayegamiye et Angers 1991; Estevez et al. 1995).

## 2- Essai avec doses de lisier en monoculture de maïs ensilage

Comme dans le cas du fumier et de la fumure minérale, l'apport prolongé de lisier sous monoculture de maïs-ensilage n'a pas amélioré la stabilité de la structure du sol (Tableau 4). De même, l'application à long terme de lisier de porc n'a pas significativement amélioré la formation de gros agrégats, contrairement au fumier solide de bovins. Dans ce même essai, Côté et Seydoux (1990) ont cependant observé un effet significatif de l'apport de lisier autant sur la stabilité structurale que sur le pourcentage de gros agrégats après 11 ans d'application de lisier. Cette influence positive du lisier sur la stabilité structurale peut être expliquée par son effet

Tableau 4. Effet de 15 ans d'apport de lisier sur la stabilité structurale (DMP) et la répartition de différents agrégats du loam limoneux de la série Le Bras.

Lisier Mg/ha	DMP mm	Répartition des agrégats				
		5 - 8*	2 - 5	1 - 2	0,25 - 1	< 0,25**
0	2,24	14	32	10	8,5	35,5
30	2,34	14	34	11	9,1	31,1
60	2,49	17	34	11	8,3	29,7
90	2,42	14	36	13	9,2	27,8
120	2,59	18	35	10	7,9	29,1
F	NS	NS	NS	NS	NS	NS

\*\* = le pourcentage des agrégats < 0,25 mm est calculé par différence.

\* = le diamètre des tamis en mm.

sur la stimulation microbienne (N'dayegamiye et Côté 1989) et la croissance des racines qui favorisent la formation de macroagrégats. Cependant cette action positive du lisier semble s'estomper à long terme.

Le lisier apporte peu de carbone et beaucoup plus d'azote au sol, favorisant ainsi la minéralisation et par conséquent, la diminution de la matière organique du sol au détriment de son accumulation.

Il ressort que l'effet du lisier sur la diminution de la stabilité structurale se manifeste à long terme et il devient plus important lorsque l'application du lisier est associée à une monoculture de maïs ou à toutes autres cultures ou rotations apportant de faibles quantités de résidus organiques au sol.

## Conclusion

Cette étude comparative a démontré que le fumier solide de bovins et le lisier agissent différemment sur les conditions physiques et le bilan humique du sol. Contrairement au fumier solide de bovins, l'apport prolongé de l'engrais minéral et de lisier de porc n'a pas permis l'augmentation de la matière organique du sol et du pourcentage de gros agrégats qui déterminent le meilleur potentiel biologique des sols et la croissance optimale des plantes. Il ressort que l'apport prolongé de lisier de porc et de l'engrais minéral doit être intégré dans une rotation optimale de cultures afin de maintenir la qualité et la productivité des sols.

## REMERCIEMENT :

Les auteurs remercient sincèrement Mme Louise Thivierge, M. Jacques Lizotte et M. Jean-Marie Noël pour leur précieux aide technique.

---

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Angers, D.A., A. N'Dayegamiye and D. Côté. 1993. Tillage induced differences in organic matter of particle size fractions and microbial biomass. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57 :512-516.
- Campbell, C.A. and Souster, W. 1982. Loss of organic matter and potentially mineralizable nitrogen from Saskatchewan soils due to cropping. *Can. J. Soil Sci.* 62:551-656.
- Conseil des Productions Végétales du Québec 1993. Agdex 533. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec.
- Côté, D. and S. Seydoux, 1990. Effect of liquid manure management on soil structure in various cultural systems. In *Proceedings of the Eastern Canada Soil Structure Workshop* Stone et al. ed. 163-173.
- Estevez, B., A. N'Dayegamiye and Daniel Coderre 1996. The effect on earthworm abundance and selected soil properties after 14 years of solid cattle manure and NPKMg fertilizer application. *Can. J. Soil Sci.* ( in press).
- Giroux, M. 1991. Effets de différents systèmes culturaux sur l'évolution à long terme des propriétés biologiques, la fertilité et la productivité des sols. *Agrosol* vol. (2) : 7-16.
- Janzen, H.H. 1987. Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. *Can. J. Soil Sci.* 67: 845-856.
- Kemper, W.D. and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate size distribution. Pages 425-442 in A. Klute, ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. 2nd ed. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- N'Dayegamiye, A. 1995. Effet d'apport de fumier et de fumure minérale sur l'évolution de la production de maïs-ensilage et du blé, et du bilan humique dans un loam argileux de la série Le Bras (essai de longue durée). *Agrosol* vol 8, no 1 : 23-29.
- N'Dayegamiye, A. et D.A. Angers 1990. Effets de l'apport prolongé de fumier de bovins sur quelques propriétés physiques et biologiques d'un loam limoneux Neubois sous culture de maïs. *Can. J. Soil Sci.* 70 : 259-262.
- N'Dayegamiye, A. and Côté 1989. Effect of long-term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. *Can. J. Soil Sci.* 69:39-47.
- Tran, T.S. and N'Dayegamiye, A. 1995. Long-term effects of fertilizers and manure application on the forms and availability of soil phosphorus. *Can. J. Soil Sci.* 75:281-285.