

Effet de pratiques culturales dans la culture de maïs, en terrain vallonné, sur les risques de contamination des eaux de ruissellement et de drainage

S.P. Guertin ¹, G.M. Barnett ², M. Giroux ¹, A.F. Mackenzie ³, A. Pesant ² et L.E. Parent ⁴

Résumé, S.P. Guertin ¹, G.M. Barnett ², M. Giroux ¹, A.F. Mackenzie ³, A. Pesant ² et L.E. Parent ⁴, 2000. **Effet de pratiques culturales dans la culture de maïs, en terrain vallonné, sur les risques de contamination des eaux de ruissellement et de drainage.** *Agrosol*. 11 (2) : 107-113.

Cette étude a été réalisée à la ferme expérimentale d'Agriculture et Agroalimentaire Canada de Lennoxville et s'inscrivait dans un programme de recherche pour la protection et la conservation des ressources. L'exécution du projet s'est fait en parcelles confinées pour recueillir les eaux de ruissellement et de drainage de chaque traitement. Les facteurs étudiés étaient le mode de placement des engrais (2) et les travaux de sol (3). Le dispositif factoriel comportait trois répétitions. Les résultats ont montré que le travail du sol avec la charrue à versoir affecte particulièrement le volume d'eau ruisselée. Les pertes en nitrate sont de 20 à 100 fois plus élevées dans l'eau de drainage que dans l'eau de ruissellement. L'importance et la fréquence des événements pluvieux jouent un rôle clé dans l'importance des pertes de nitrates du système cultural. Les quantités de nitrates dans les eaux de surface peuvent néanmoins être limitées à la fois par le choix du travail de sol et le mode de placement de l'engrais minéral. Le placement de l'engrais minéral localisé près du rang de maïs, plutôt qu'appliqué à la volée, contribue à réduire de trois fois les pertes en nitrates par rapport aux applications à la volée. Quant aux pertes en ortho-phosphates du système cultural, elles sont plus susceptibles de se produire dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage. Une application localisée contribue également à limiter les pertes de cet élément du système.

Mots clés : travail de sol, nitrates, ortho-phosphates, mode de placement, maïs, érosion, qualité de l'eau

Abstract, S.P. Guertin ¹, G.M. Barnett ², M. Giroux ¹, A.F. Mackenzie ³, A. Pesant ² and L.E. Parent ⁴, 2000. **Drainage and runoff water quality generated by gently rolling cornfields crooped with contrasting tillage and fertilization practices.** *Agrosol*. 11 (2) : 107-113. A study was carried out, at the experimental farm of Agriculture and Agri-Food Canada at Lennoxville, to study the impact of soil tillage and fertilizer application on nitrate and ortho-phosphate losses in runoff and drainage water, from a corn crop on a hilly land. The studied factors were soil tillage system (3) and fertilizer placement (2). The treatments were distributed according to factorial design with three replicates. The results showed that moldboard plowing affected the runoff water volume. The nitrate losses were 20 to 100 times higher in drainage water than in runoff water. The main rainy events as well as the frequency of rainy periods played a key role in nitrate losses from the crop system. The reduced risks of nitrate contamination in runoff water may be done by choosing an appropriate soil tillage system as well as fertilizer placement. Sidedressing fertilizer close to the corn row rather broadcasting it could contribute to reduce by three times the nitrate loss in the environment. The ortho-phosphate losses were more susceptible to occur in runoff water rather than in drainage water. There was no better soil tillage system to control the phosphate losses in runoff, whereas sidedressing fertilizer contributed to limit them.

Key words : soil tillage, fertilizer placement, nitrate, phosphate, nutrient losses, runoff, drainage water

Introduction

Au Québec, les superficies consacrées à la culture du maïs grain couvrent plus de 335.000 ha. Plusieurs de ces terres se retrouvent dans des zones à topographie vallonnée où les sols sont plus vulnérables à l'érosion hydrique. Les travaux de Pesant et al. (1984) et de van Vliet et al. (1978), en parcelles confinées, ont montré que les pertes de sol variaient de 12 à 49

1. Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), 3300, rue Sicotte, St-Hyacinthe, (Québec), J2S 7B8, CANADA

2. Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC), 2000, route 108 Est, C.P. 90, Lennoxville, (Québec), J1M 1Z3, CANADA

3. Collège MacDonald, Université McGill-Départ. Sci. Ress. Naturelles, 21 111, Lakeshore, Sainte-Anne-de-Bellevue, (Québec), H9X 3V9, CANADA

4. Université Laval, Cité Universitaire, Faculté de l'agriculture et de l'alimentation, Pavillon Comtois, Sainte-Foy, (Québec), G1K 7P4, CANADA

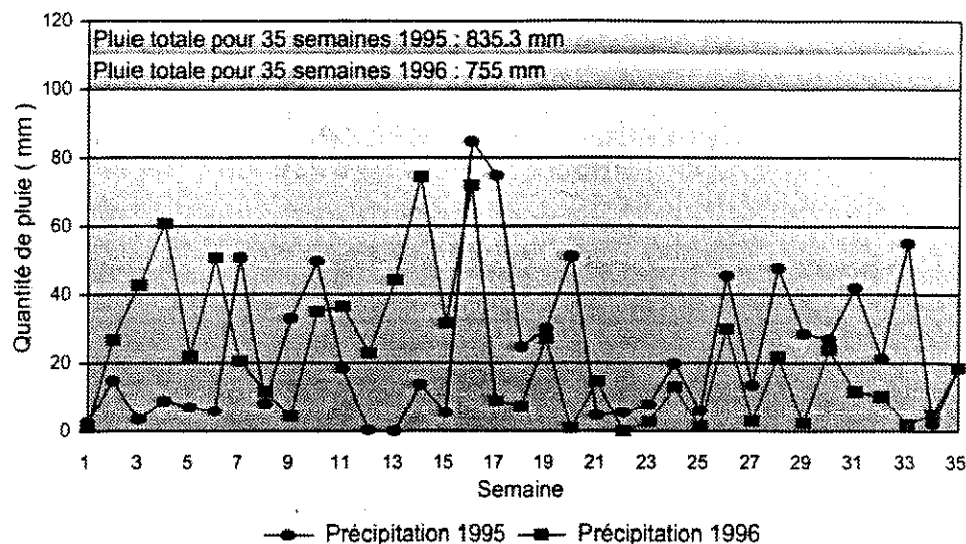


Figure 1. Pluviométrie de avril à novembre (Lennoxville 1995-1996)

t ha⁻¹ selon les pratiques culturales utilisées sous monoculture de maïs grain.

Le labour automnal suivi de passages de vibroculteur au printemps représente la pratique de préparation du sol la plus populaire auprès des producteurs de maïs grain, étant pratiqué sur 65% des superficies en grandes cultures (Harvey 2001). Cependant, c'est également celle qui présente le plus de risque pour les pertes de sol (Pesant et al. 1987) et pour les pertes en éléments nutritifs (Ganghazo et al. 1997). Pour réduire ces risques de dégradation de la ressource sol/eau, le travail réduit du sol et le semis-direct sont des mesures de conservation alternatives au travail conventionnel (Mannering et al. 1987). Ces pratiques de travail du sol augmentent en popularité. Ainsi, pour la saison 2000, 31 et 4% des superficies en grandes cultures en Montérégie-Est étaient en travail réduit et en semis-direct respectivement (Harvey 2001). Ces travaux du sol sont bien adaptés pour les cultures comme le maïs grain (Mannering et al. 1987).

Par ailleurs, le maïs exige l'apport d'importantes quantités d'éléments minéraux. Cependant, tout excès de ceux-ci dans le sol est susceptible de contribuer à la dégradation de la qualité de l'eau (Westerman et al. 1987). L'azote

et le phosphore sont particulièrement concernés pour le risque de contamination de l'environnement (Sharpley et al. 1987). Le mode de placement des fertilisants affecte l'efficacité de leur utilisation par la plante (Barnett 1969). Bien que l'application des engrais minéraux à la volée soit le mode de placement le plus populaire auprès des producteurs agricoles, le coefficient d'efficacité de ceux-ci n'est alors que de 50% (Tran et al. 1992). Par ailleurs, des études (Tran et Giroux 1997, Tran et al. 1992, Barnett, 1969, Miller et Ohrogge 1958) ont montré que le placement localisé de l'engrais minéral, rapproché du rang de maïs, améliore l'efficacité d'utilisation des nutriments libérés par la plante. Il en résulte des quantités moindres de fumures à appliquer pour la culture et en une diminution des quantités résiduelles d'éléments fertilisants dans le sol après la récolte.

Les pressions environnementales exercées sur les producteurs de maïs sont très fortes et ont amené les autorités gouvernementales à financer une étude sur la réévaluation des besoins N, P, K dans la culture du maïs grain (Guertin et al. 1997). Un des volets étudiés visait l'évaluation des pertes en éléments minéraux (ortho-phosphate et nitrate) d'un système cultural de maïs grain en terrain vallonné et sous différentes

pratiques de production. On s'est intéressé à mesurer les effets com du mode d'apport de l'engrais min du travail du sol sur les pertes de ni et de phosphore dans les eau ruissellement et de drainage.

Méthodologie

L'étude a été conduit à la l expérimentale d'Agriculture Agroalimentaire Canada à Lenno sur un loam argileux de la Coaticook, ayant une pente de 5-7% deux années de production, l'essai déroulé sur des parcelles dra (51m²) préalablement préparée confinées, afin de recueillir les éter minéraux dans les eaux de ruisselle et de drainage pour chaque traiter Deux facteurs ont été étudiés soier travaux de sol et le mode de placer Les travaux de sol étaient au nomb trois : le labour (LA) (avec une char versoir suivi de passages de vibrocult au printemps), la charrue scarific (CH) (mieux connu sous le nor chisel, suivi au printemps vibroculteur) et le semi-direct (SD) engrais, ils furent appliqués soit volée (V) ou en bande localisé (B) du rang de maïs (5 cm). Le traitements furent distrial aléatoirement selon un disp factoriel comportant trois répétition source d'azote et de phosphore fertilisant était respectivement le n d'ammonium et le superphosph appliqué à la dose de 180 kg de N h de 50 kg de P₂O₅ ha⁻¹. La dos potassium (K₂O) fut pour tous traitements de 80 kg ha⁻¹.

Après chaque événement plu important, les volumes d'eau ruisselle drainée furent mesurés et prélèvement fut effectué afin de c notamment le nitrate et l'o phosphate. On compte environ périodes au cours de chaque saiso végétation, soit des mois d'avr novembre, où les événements ont non négligeables. Les échantillons c ont été filtrés et analysés par

Tableau 1. Analyse de variance des variables reliées à la qualité des eaux de ruissellement et de drainage 1995-1996

DESCRIPTION VARIABLES	TRAVAIL DU SOL				MODE D'APPORT				TRAVAIL SOL * MODE D'APPORT			
	DL	VAR	F	PROB.	DL	VAR	F	PROB.	DL	VAR	F	PROB.
1995												
Rendement en grain	2	855980	2.02	n.s.	1	19426.8	0.04	n.s.	2	42320	2.8	n.s.
Volume d'eau												
Eau ruisselée totale	2	188268	7.75	**	1	203754	8.39	*	2	109947	4.53	*
Eau drainée totale	2	40867	1.96	n.s.	1	75800	3.64	n.s.	2	3874	0.19	n.s.
Eau ruisselée												
Perte totale N-NO ₃	2	164130	4.02	n.s.	1	2176499	53.31	**	2	289696	7.10	*
Perte totale P-PO ₄	2	30.77	0.74	n.s.	1	892.39	21.60	**	2	112.23	2.72	n.s.
Eau drainée												
Perte totale N-NO ₃	2	7.1E+08	8.33	**	1	4.1E+08	4.84	n.s.	2	6.2E+07	0.73	n.s.
Perte totale P-PO ₄	2	105.04	3.12	n.s.	1	15.61	0.46	n.s.	2	119.83	3.56	n.s.
1996												
Rendement en grain		977000	6.21	n.s.	1	7806.4	0.05	n.s.	2	157400	6.51	n.s.
Volume d'eau												
Eau ruisselée totale	2	732499	5.28	*	1	92242	0.62	n.s.	2	180864	1.22	n.s.
Eau drainée totale	2	95752	3.26	n.s.	1	12911	0.44	n.s.	2	32385	1.10	n.s.
Eau ruisselée												
Perte totale N-NO ₃	2	1246284	10.98	**	1	1262748	11.12	**	2	317336	2.80	n.s.
Perte totale P-PO ₄	2	261.42	3.60	n.s.	1	68.54	0.94	n.s.	2	159.78	2.20	n.s.
Eau drainée												
Perte totale N-NO ₃	2	1.6E+08	5.82	*	1	18640853	0.68	n.s.	2	4.1E+07	1.50	n.s.
Perte totale P-PO ₄	2	319.32	8.01	**	1	80.81	2.03	n.s.	2	148.73	3.73	n.s.

* significatif au seuil de probabilité de 0.05 ** significatif au seuil de probabilité de 0.01 n.s. non significatif

méthode colorimétrique (Technicon). Les variables étudiées sont le rendement, le volume d'eau ruisselé et drainé, les pertes de nitrates et de phosphores dans ces deux dernières eaux. L'analyse de variance sur les variables rapportées a été effectuée au seuil de probabilité de 5%, à l'aide du logiciel SAS PC 6.04 (SAS Inst., 1990). Les tests de comparaison des moyennes (LSD) ont été réalisés à l'aide du logiciel STATISTIX v.4.1.

Résultats et discussion

Données climatiques

Les résultats portent sur les variables étudiées aux cours des années de production 1995 et 1996. Les précipitations de pluie, en 1995, ont généralement été supérieures (835.3 mm) à celles de 1996 par 80.3 mm (Fig. 1). Par ailleurs, la saison de végétation 1995 fut pour la région de Lennoxville la plus froide des deux années de production considérées, avec un nombre

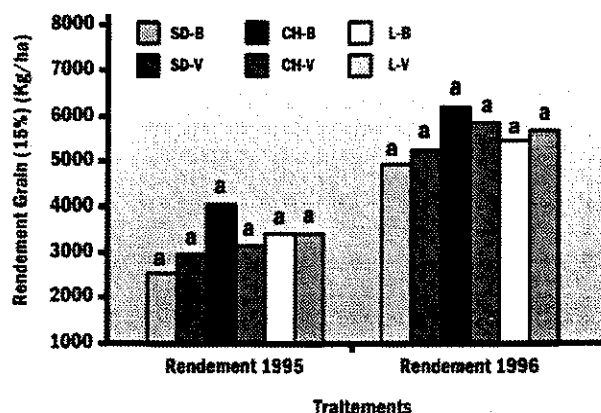


Figure 2. Effet du travail du sol et du placement d'engrais sur le rendement, 1995-1996

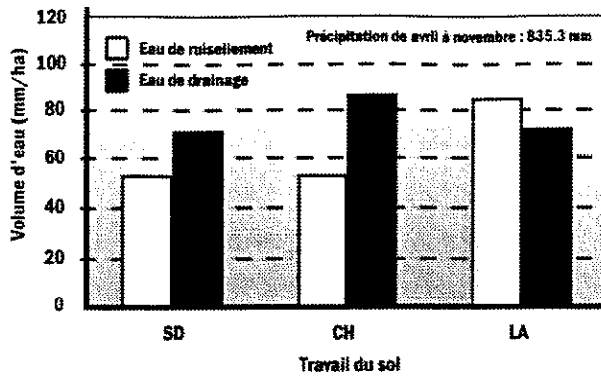


Figure 3. Volume total d'eau cumulée pour l'année 1995

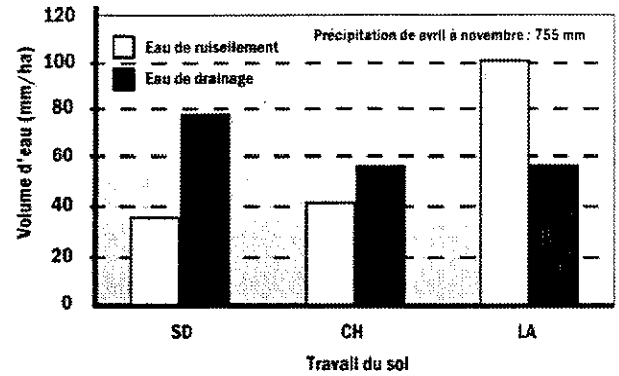


Figure 4. Volume total d'eau cumulée pour l'année 1996

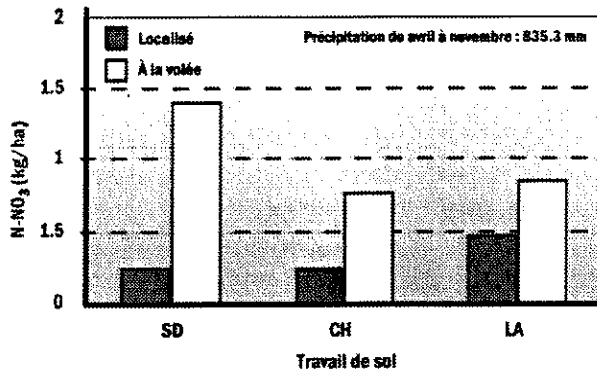


Figure 5. Charge totale en N-NO₃ dans l'eau ruisselée pour l'année 1995

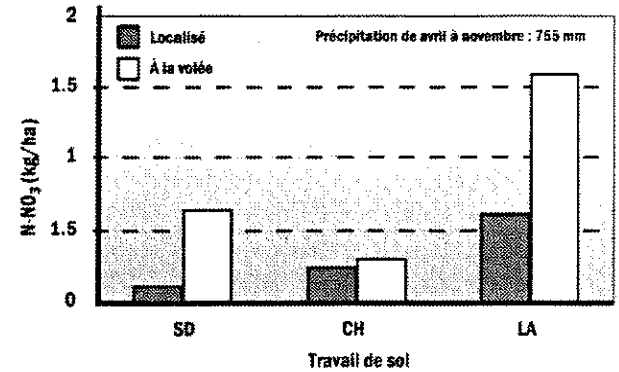


Figure 6. Charge totale en N-NO₃ dans l'eau ruisselée pour l'année 1996

Tableau 2 et 3.

Effet des travaux de sol et du mode d'apport de l'engrais sur les pertes de N-NO₃ et de P-PO₄ dans l'eau de surface et l'eau de drainage, 1995-1996

Eau de surface						
Traitement de sol - Mode d'application	1995	1995	1995	1996	1996	1996
	Charge en N-NO ₃	Charge en P-PO ₄	Volume H ₂ O	Charge en N-NO ₃	Charge en P-PO ₄	Volume H ₂ O
	(kg/ha)	(g/ha)	(mm/ha)	(kg/ha)	(g/ha)	(mm/ha)
Chisel - en bande	0.2 ± 0.05	5 ± 2	58.2 ± 6.5	0.2 ± 0.1	10 ± 2	42.5 ± 15.1
Chisel - à la volée	0.6 ± 0.4	17 ± 10	50.5 ± 17.6	0.9 ± 0.1	11 ± 5	41.3 ± 25.6
Sans labour - en bande	0.2 ± 0.1	3 ± 2	30.9 ± 12.7	0.9 ± 0.07	5 ± 3	29.8 ± 12.3
Sans labour - à la volée	1.4 ± 0.2	28 ± 5	76.9 ± 17.4	0.7 ± 0.1	21 ± 8	41.7 ± 8.3
Labour - en bande	0.5 ± 0.4	7 ± 1	72.1 ± 8.2	0.6 ± 0.2	25 ± 19	128 ± 97
Labour - à la volée	0.8 ± 0.2	14 ± 3	97.5 ± 20.6	1.6 ± 0.7	21 ± 1	74.3 ± 14.8

Eau de drainage						
Traitement de sol - Mode d'application	1995	1995	1995	1996	1996	1996
	Teneur en N-NO ₃	Teneur en P-PO ₄	Volume H ₂ O	Teneur en N-NO ₃	Teneur en P-PO ₄	Volume H ₂ O
	(kg/ha)	(g/ha)	(mm/ha)	(kg/ha)	(g/ha)	(mm/ha)
Chisel - en bande	31 ± 3	15 ± 11	76.6 ± 5.5	24 ± 3	14 ± 8	62.1 ± 4.4
Chisel - à la volée	26 ± 6	10 ± 7	67.4 ± 8.7	16 ± 8	9 ± 9	50.4 ± 12.6
Sans labour - en bande	30 ± 10	15 ± 15	77.9 ± 14.2	26 ± 6	17 ± 17	71.1 ± 3.6
Sans labour - à la volée	23 ± 6	26 ± 13	66.9 ± 20	27 ± 3	32 ± 8	85.5 ± 9.9
Labour - en bande	55 ± 24	15 ± 5	95.8 ± 36	16 ± 2	11 ± 3	50.1 ± 8.1
Labour - à la volée	38 ± 4	15 ± 6	77.1 ± 12.2	17 ± 7	12 ± 2	63.2 ± 33.4

Précipitation de avril à novembre pour 1995 : 835.3 mm

Précipitation de avril à novembre pour 1996 : 755.0 mm

d'UTM de 2561 comparativement à 2860 UTM en 1996.

Le nombre d'unité thermique maïs accumulé, au cours des saisons de végétation 1995 et 1996, a été supérieur au 2500 de la zone 3 du maïs dans laquelle se trouve la région de Lennoxville, favorisant l'atteinte de la maturité physiologique du maïs pour les deux années de production.

Rendement en grain

Pour les deux années de production considérées, la production moyenne du maïs n'a pas été affectée significativement par les facteurs; travail de sol, mode d'apport de l'engrais minéral et par leur interaction (Tableau 1). Cependant, elle a montré, en 1995 et en 1996, une légère supériorité sous le travail de sol avec la charrue scarificatrice par rapport à celle sous le travail sans labour (Fig.2). Ces résultats corroborent ceux obtenu par Pesant et al. (1987) et Ketcheson et Webber (1978).

La saison de végétation plus froide qu'en 1996, de même qu'une mortalité plus grande de plantules de maïs, pourraient expliquer la productivité plus faible du maïs en 1995.

Volume d'eau de ruissellement et de drainage

Le volume d'eau de drainage est, en moyenne, plus important que le volume d'eau de ruissellement, avec respectivement 70 mm/ha et 62 mm/ha (Tableau 2 et 3, Fig. 3 et Fig. 4).

Le travail primaire de sol n'a pas eu d'effet significatif sur le volume d'eau de drainage, ni en 1995, ni en 1996 (Tableau 1). Par contre, il affecte significativement le volume d'eau ruisselé. C'est aux traitements avec labour que le volume d'eau ruisselé est le plus élevé en 1995 (Fig. 3) et en 1996 (Fig. 4).

Le sol labouré semble plus meuble en surface et plus facile à se tasser sous le martèlement des gouttelettes de pluies, ce qui favorise le croûtage du sol de surface. Ces dernières conditions le rendent moins perméable pour l'infiltration d'eau lors des événements pluvieux, résultant en un volume d'eau de surface plus important sous le travail de sol avec labour (Arnold et al. 1989). Par ailleurs, un sol ayant plus de rugosité à sa surface permet une infiltration plus importante comme le mentionne Peng (1996).

Pertes de nitrates dans les eaux ruisselées et drainées

En 1995, l'interaction des facteurs travail de sol et mode de placement a eu un effet significatif sur les pertes en nitrate dans les eaux de ruissellement (Tableau 1). Les pertes en azote nitrique dans les eaux de ruissellement ont, en effet, été plus important lorsque l'engrais était

appliqué à la volée pour toutes les préparations du sol (Fig.5), mais plus particulièrement dans le semis-direct (1.4 kg/ha) en comparaison avec la charrue scarificatrice (0.8 kg/ha) et la charrue à versoir (0.8 kg/ha) (tableau 2).

En 1996 (Fig.6), on a retrouvé deux fois plus de nitrates dans les eaux de surface pour le traitement à la volée sur le sol labouré (1.58 kg ha⁻¹) qu'au traitement de semis-direct (0.66 kg ha⁻¹) (tableau 2). Les pluies particulièrement importantes en 1996, dans la période suivant la deuxième application d'azote, peuvent avoir contribué à un plus grand déplacement des nitrates dans les eaux de ruissellement sous le travail de sol avec labour et avec le mode d'apport à la volée de l'engrais azotée.

En général, pour la plupart des travaux de sol étudiés, c'est sous le placement de l'engrais azoté en bande localisée près du rang de maïs que les pertes en azote

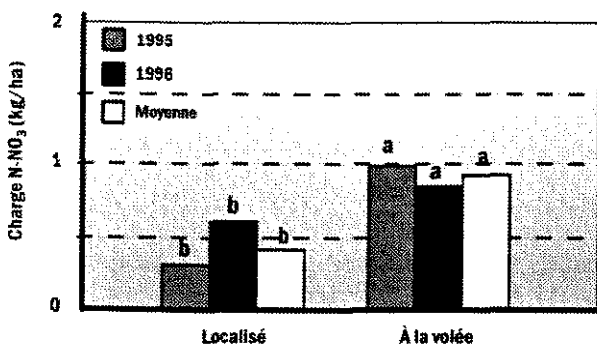


Figure 7. Effet du placement de l'engrais azoté sur le N-NO₃ dans l'eau ruisselée

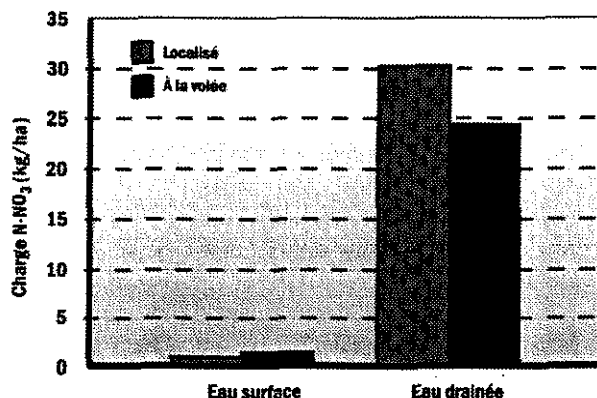


Figure 8. Effet du placement de l'engrais azoté sur le N-NO₃ dans des eaux ruisselées et drainées

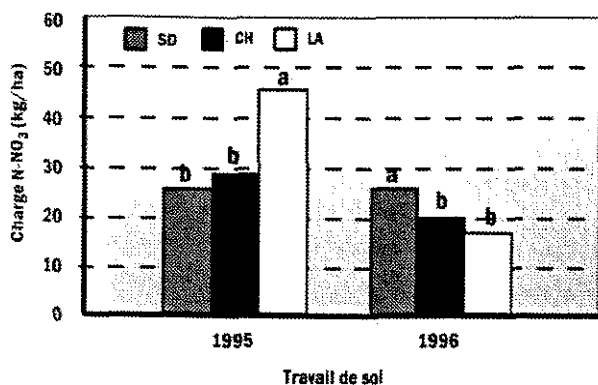


Figure 9. Effet du travail du sol sur le N-NO₃ des eaux drainées, 1995-1996

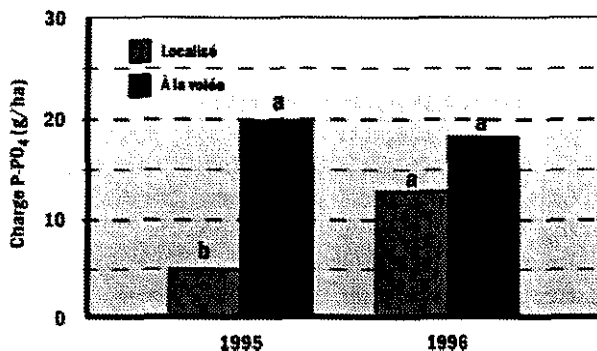


Figure 10. Effet du placement de l'engrais sur le P-PO₄ dans les eaux de surface

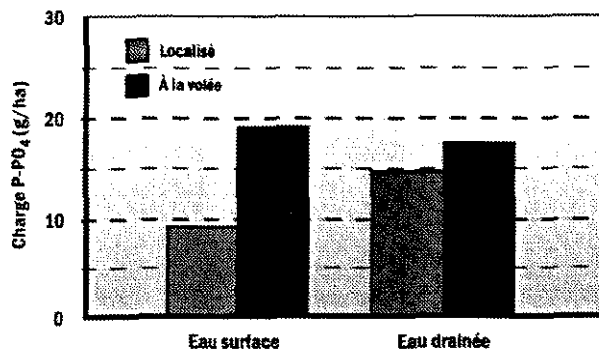


Figure 11. Effet du placement de l'engrais sur les charges en P-PO₄ des eaux de surface et de drainage

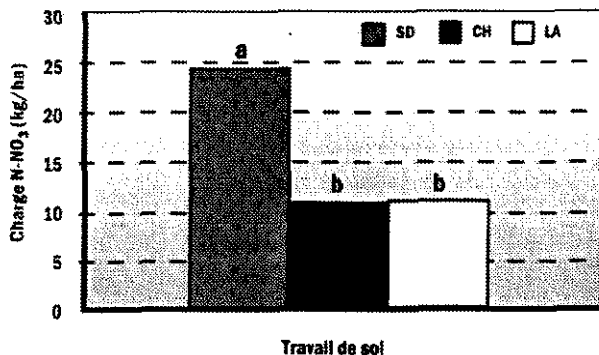


Figure 12. Effet du travail du sol sur les charges P-PO₄ des eaux drainées, 1996

nitrique sont les moins importantes, et ce au cours des deux années de production (Fig.7). La perte de nitrates est, en moyenne, trois fois moins importantes avec une application en bande localisée près du rang de maïs qu'à la volée.

Par ailleurs, on retrouve de 20 à 100 fois plus de nitrates dans l'eau de drainage que dans l'eau de ruissellement (Fig.8).

Les pertes en nitrates dans les eaux de drainage ont été significativement affectées, au seuil de probabilité de 10%, par les travaux de sol. C'est sous le travail conventionnel du sol, en 1995, que les pertes en nitrates dans l'eau de drainage ont été plus élevées (46.5 kg ha⁻¹) (tableau 3). Par contre, l'année suivante (Fig. 9), c'est sous le semis-direct que l'on observe la perte de nitrate dans l'eau drainée la plus marquée (26.5 kg ha⁻¹). Les pertes par ruissellement et par drainage étaient dans le même ordre que celles mesurées par Gangbazo et al. (1997).

Pertes en phosphore dans les eaux ruisselées et drainées

Au cours de la saison de végétation 1995, les pertes en ortho-phosphates dans les eaux de surface ont été statistiquement affectées par le mode de placement de l'engrais (Tableau 1 et Fig.10).

Les applications à la volée ont entraîné une perte en P-PO₄ plus fortes dans les eaux de surface que celles mesurées avec l'application en bande, avec 19.7 et 5 g/ha⁻¹ respectivement (tableau 2). À la saison 1996, les pertes en P-PO₄ dans les eaux ruisselées n'ont pas été affectées par les facteurs étudiés (Tableau 1). Par ailleurs, les résultats montrent que le placement localisé de l'engrais permet de limiter les pertes de P-PO₄ dans les eaux de surface alors que pour les eaux de drainage celles-ci ne sont pas affectées par le mode d'apport de l'engrais. Les fuites de P-PO₄ du système cultural sont plus susceptibles de se produire dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage, particulièrement lorsque l'engrais est appliqué à la volée plutôt qu'en bande, avec 18.7 et 9.2 g ha⁻¹ respectivement et comme le montrent les charges moyennes de P-PO₄ pour les deux années de production (Fig. 11).

Quant aux pertes de P-PO₄ dans les eaux de drainage, elles n'ont été affectées significativement par le mode de travail du sol que pour l'année 1996 (Tableau 1). Toutefois, c'est sous le mode semis-direct que les fuites de P-PO₄ seraient susceptibles de se produire (Fig. 12). Une explication possible serait que le sol en semis direct, en raison d'une meilleure rétention de l'eau, se sature plus rapidement lors d'événements pluvieux importants (plus de 70 mm de pluie), entraînant les éléments solubles présents dans la solution du sol, par les voies préférentielles du profil de sol vers le système de drainage.

Conclusion

Les volumes d'eau drainée généralement supérieurs à ceux ruisselée. Le travail du sol : charrue à versoir a particulièrement le volume ruisselée contrairement aux systèmes travaux réduits de sol. Par conséquent les volumes d'eau drainée n'ont pas été significativement affectés par les travaux de sol.

Les pertes en nitrates ont été de 2 fois plus élevées dans l'eau de drainage que dans l'eau de ruissellement. L'importance et la fréquence des événements pluvieux jouent un rôle important dans les pertes de nitrates du système cultural. Le mode de placement de l'engrais minéral a peu d'influence sur les pertes en nitrates dans les eaux de drainage. Cependant, les quantités de nitrates dans les eaux de surface sont limitées à la fois par le travail de sol et le mode de placement de l'engrais minéral. C'est ainsi que les travaux avec la charrue scarificatrice semi-direct sont ceux qui permettent de réduire les fuites de nitrates du système par les eaux de ruissellement. Le placement de l'engrais minéral localisé près du rang de maïs plutôt qu'appliqué à la volée réduit de trois fois les pertes en nitrates. Contrairement aux pertes en ortho-phosphates dans le système cultural, elles sont plus susceptibles de se produire dans les eaux de ruissellement que dans les eaux de drainage. Une application localisée de l'engrais minéral contribue à limiter les pertes de nitrates dans le système. Conséquemment, une pratique de production de maïs en semis-direct et avec un plan de travail localisé près du rang de maïs est souhaitable dans les terrains à topographie vallonnée.

Références bibliographiques

- Arnold, J.B., G. Wall, N. Moore, C.S. Baldwin et I.J. Shelton. 1989. L'érosion du sol: causes et effets. Fiche Technique, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Agdex 751/573.
- Barnett, G.M. 1969. Rates and methods of phosphorus placement for corn (*Zea mays* L.). MSc Thesis. 96p. McGill University. Montréal, QC.
- Gangbazo, G., D. Côté, A.R. Pesant, and G.M. Barnett. 1997. Effets de l'épandage du lisier de porc en présemis ou en postlevée sur l'eau, le sol, et le maïs-grain. 54 p. Direction des écosystèmes aquatiques. Ministère de l'environnement et de la faune. Québec, QC.
- Guertin, S.P., G.R. Barnett, M. Giroux, A.F. Mackenzie, A. Pesant et L.E. Parent. 1997. Évaluation des besoins N,P,K dans la culture du maïs selon les caractéristiques du sol et des systèmes culturaux. Rapport produit dans le cadre du programme de l'Entente Canada-Québec pour un environnement durable
- Harvey, J.M. 2001. La conservation des sols, des statistiques encourageantes. Gestion et Technologie Agricole, Février 2001.
- Ketcheson, J.W. and L.R. Webber. 1978. Effects of soil erosion on yield of corn. Can. J. Soil Sci. 58 :459-463.
- Mannering, J.V., D.L. Scheertz, and B.A. Julian. 1987. Effects of conservation tillage on groundwater quality: nitrates and pesticides. p. 3-17. In: T.J. Logan, J.M. Davidson, J.L. Baker, and M.R. Overcash (ed.) Overview of Conservation Tillage. Lewis Publications. Chelsea, MI.
- Michaud, A. 1996. Un portrait de l'adoption des pratiques agricoles de conservation au Québec. Direction de l'environnement et du développement durable. MAPAQ. Québec, QC.
- Peng, G. 1996. La maîtrise de l'érosion du sol. Fiche Technique, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Agdex 751/573.
- Pesant, A.R. 1984. The danger of growing corn on hilly terrain. Canada Agriculture 30(2):34-36.
- SAS Institute. 1990. SAS/STAT User's Guide. Version 6.04. Cary, NC.
- Sharpley, A.N., S.J. Smith, and J.W. Nancy. 1987. Environmental impact of agricultural nitrogen and phosphorus use. J. Agric. Food Chem. 35:812-817.
- Siegel, J. 1994. Statistix ver. 4.1. Analytical software (publisher)
- Tran, T.S., M. Giroux et A. N'Dayegamiye. 1992. Utilisation rationnelle des fumures azotées minérales : aspects agronomiques et environnementaux. Agrosol 5(2) : 18-25
- Tran, T.S., M. Giroux et M. P. Cescas. 1997. Utilisation de l'engrais azoté marqué au ¹⁵N par le maïs selon les modes d'application et les doses d'azote. Can. J. Soil Sci. 77 :9-19.
- Van Vliet, L.J.P., G.J. Wall and W.T. Dickinson. 1978. Soil erosion from agricultural land in the Canadian Great Lakes Basin. Final reports of projects 16 and 17, Agricultural Watershed Studies. Windsor, Ont.
- Wessterman, P.W., L.D. King, J.C. Burns, G.A. Cummings, and 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.