

**BERNARD, C.**

**LA CONSERVATION DU SOL ET DE L'EAU A L'ÉCHELLE DU BASSIN VERSANT**

**Agrosol 4(1):39-44**

La conservation des ressources sol et eau est une des priorités du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. En effet, la dégradation de ces deux ressources fondamentales coûte annuellement des millions de dollars à l'ensemble de la société québécoise. Une intervention fructueuse dans ce domaine nécessite cependant une approche à deux niveaux. Le choix des techniques de conservation doit être fait au niveau de la parcelle, de façon à prendre en considération les particularités locales de sol, de topographie, etc. Par contre, en autant que la ressource eau est concernée, la planification des interventions correctives doit également tenir compte des unités naturelles que constituent les bassins hydrographiques.

**1. Approche au niveau de la parcelle**

La conservation du sol et de l'eau au niveau de la parcelle, peut être réalisée par une combinaison de mesures agronomiques et de génie. Une bonne gestion de l'utilisation du sol et des pratiques culturales peut réduire considérablement les impacts des activités agricoles sur les ressources sol et eau.

**1.1 Rotations**

Les rotations constituent une excellente technique de conservation du sol et de l'eau. Elles sont d'autant plus efficaces qu'elles comportent une production herbagère.

L'effet de ces rotations provient d'abord de la protection qu'offre le couvert végétal dense des herbages. Une plus forte proportion des précipitations est alors interceptée avant qu'elle n'atteigne le sol. L'énergie de ces précipitations est ainsi grandement dissipée, de même que son pouvoir érosif. L'infiltration est également favorisée aux dépens du ruissellement, réduisant d'autant la capacité de transport du sol et des polluants vers les plans d'eau et régularisant le régime hydrique du territoire. On rapporte ainsi que de petits bassins versants en production herbagère ont produit des débits de pointe inférieurs de 90% (Saxton et Spomer, 1968) et des débits de base supérieurs de 17% à 45% (Saxton et al., 1971) à ceux de bassins en culture de maïs.

Les plantes fourragères favorisent également une amélioration de la structure du sol. Des mesures réalisées au Québec démontrent que cet effet peut être rapide (Angers et Mehuys, 1988). L'effet tendrait également à augmenter avec le nombre d'années en culture herbagère, tel que rapporté par Martel et Deschênes (1976). L'amélioration de la structure du sol persiste quelques années après le réensemencement des champs en culture annuelle, prolongeant ainsi l'effet protecteur des herbages.

Les tableaux 1 et 2 illustrent l'efficacité des rotations à réduire le ruissellement, l'érosion et l'exportation d'éléments fertilisants. On peut noter que le maïs, lorsqu'introduit dans une rotation plutôt que produit en monoculture, a un impact sur les sols et les eaux diminué de 50% et plus. En moyenne, les deux rotations étudiées n'ont produit que 14% du ruissellement et 9,5% de l'érosion générés par la monoculture de maïs (tableau 1). En moyenne, les pertes d'éléments solubles sont semblables mais la rotation a permis de réduire les pertes de nutriments liés aux sédiments de 75% (tableau 2).

En plus de réduire les pertes de pesticides, les rotations constituent en elles-mêmes un moyen efficace de lutte aux mauvaises herbes et aux maladies (Byers et Stromberg, 1987). D'autre part, Epstein et Grant (1968) rapportent une réduction de 21% de la lame ruisselée, de 21% et 38% des pertes de DDT et d'endrin lorsque la pomme de terre est produite en rotation plutôt qu'en monoculture. L'importance des pertes de pesticides est cependant très variable selon la solubilité du produit, le mode d'application ainsi que le temps écoulé entre l'application et la première précipitation susceptible de provoquer un ruissellement significatif (Wauchope, 1978).

Les rotation où n'interviennent pas les herbages sont beaucoup moins efficaces pour la conservation du sol, ainsi que le révèlent les diverses valeurs que peut prendre l'indice C de l'équation universelle des pertes de sol (Stewart et al., 1976). Par ailleurs, Van Doren et al. (1984) ont mesuré une érosion plus forte sous une rotation maïs-soja que sous une monoculture de maïs. Le maïs sur retour de soja a produit plus d'érosion que le soja sur retour de maïs. Le soja semble donc prédisposer le sol à l'érosion, tel que rapporté également par Alberts et al. (1985) qui ont mesuré des taux d'érosion environ deux fois plus élevés avec le soja qu'avec le maïs, peu importe l'intensité du travail du sol.

## **1.2 Façons culturales réduites**

Les façons culturales réduites ont été développées d'abord pour apporter une solution aux problèmes de dégradation des sols. Cependant, en raison des liens étroits qui existent entre la dégradation du sol et de l'eau, l'utilisation de ces techniques se traduit généralement par une amélioration de la qualité des eaux du milieu environnant. Les façons culturales réduites se distinguent des façons traditionnelles par un travail du sol moins intensif et plus superficiel. On vise alors à réduire la dilution de la matière organique du sol et à maintenir les résidus de récolte à la surface ou près de la surface pour tirer profit au maximum de leur effet protecteur.

Gold et Loudon (1989) ont rapporté, pour de petits

bassins de 4 ha, une réduction du ruissellement de surface de 23% et une légère augmentation de l'écoulement par les drains souterrains de 4% suite au travail du sol au chisel en comparaison du travail conventionnel.

Des mesures en parcelles réalisées pendant trois ans sur loam limoneux Neubois ont permis de comparer au travail conventionnel du sol l'efficacité de deux façons réduites à réduire le ruissellement et la perte de sol dans la production de maïs. Pendant la saison de végétation, le ruissellement et l'érosion ont été réduits de 46% et 77% respectivement suite au travail primaire du sol avec le chisel. Le semis direct sur billons permanents permettait pour sa part de réduire le ruissellement de 40% et la perte de sol de 73%. Dans une autre étude, le semis direct du maïs a permis de réduire le ruissellement de 64% et l'érosion de 92% en moyenne (Pesant et al., 1987). Des réductions très significatives du ruissellement et de l'érosion suite à l'adoption de façons culturales réduites ont également été rapportées par plusieurs auteurs (Lafren et al., 1978; Mostaghimi et al., 1988; Gilley et al., 1986).

Les façons culturales réduites ont pour conséquence générale de réduire les pertes totales d'éléments nutritifs par le ruissellement de surface. Cette réduction résulte principalement de la réduction de l'érosion et des pertes sous forme particulaire qui en résulte. Les pertes sous forme soluble peuvent être réduites, mais des cas d'augmentation ont été rapportés. Cependant, leur importance relative a tendance à croître avec l'efficacité de réduction de l'érosion. Une incorporation insuffisante ou inexistante des engrais au sol suite au travail réduit (Barisas et al., 1978) ou le lessivage des résidus en voie de décomposition (Timmons et al., 1970) sont généralement considérés comme la cause de cette hausse. Sur loam limoneux Neubois, sous production de maïs, le travail avec chisel a permis de réduire les pertes d'azote de 63%, celles de phosphore de 72% et celles de potassium de 55%. Le semis direct sur billons permanents a entraîné des réductions de 55% pour l'azote, de 64% pour le phosphore et de 43% pour le potassium. La fraction soluble des pertes a cependant augmenté pour les trois éléments étudiés. Pesant et al. (1987), après trois ans de comparaison du maïs produit sans travail du sol ou selon une régie traditionnelle, ont mesuré une réduction des pertes de phosphore de 94% et du potassium de 73%. Les auteurs rapportent cependant une hausse de 23% des pertes d'azote nitrique. Plusieurs autres études ont également démontré l'efficacité du travail de conservation du sol à réduire les pertes de matières nutritives par ruissellement de surface (Mostaghimi et al., 1988; Andraski et al., 1985; Angle et al., 1984; Baker et Lafren, 1982; Barisas et al., 1978).

Le travail réduit du sol permet également de réduire les pertes de pesticides par ruissellement de

surface. Kenimer et al. (1987) ont ainsi mesuré des réductions de plus de 90% des pertes d'atrazine et de 2,4-D avec la culture sans travail du sol et sous résidus de seigle, en comparaison d'un travail conventionnel. Baker et al. (1982), ont démontré une efficacité à réduire les pertes de pesticides croissant avec l'abondance des résidus de maïs laissés en surface.

Les rotations et les façons culturales réduites, en prévenant à la source la production de polluants, comptent donc parmi les techniques de conservation du sol et de l'eau les plus efficaces et les moins coûteuses. Elles devraient donc constituer un des éléments de base de tout programme d'assainissement et de conservation des ressources sol et eau à l'échelle du bassin hydrographique.

## **2. Approche au niveau du bassin hydrographique**

Si la conservation du sol peut, à la limite, n'être approchée qu'au niveau de la parcelle, la conservation de l'eau ne peut cependant être vraiment efficace qu'en prenant en considération les unités naturelles que sont les bassins hydrographiques et ce, en raison même de la nature de la pollution agricole et des processus qui y mènent.

### **2.1 Nature diffuse de la pollution agricole**

Les sources de pollution agricole sont principalement de type diffus. Elles se distinguent des sources urbaines et industrielles dans leur nature et leur comportement (tableau 3).

Les sources diffuses de pollution sont générées par le ruissellement superficiel. Elles se manifestent de façon principale lors ou peu après les événements hydrologiques (pluies intenses, fonte des neiges, etc.). La contribution de ces sources est donc épisodiques. Etant tributaires du ruissellement pour s'exprimer, les polluants d'origine diffuse atteignent les eaux de surface après un transit terrestre plus ou moins compliqué et long.

Contrairement aux sources ponctuelles qui sont facilement localisables, les sources diffuses sont réparties sur l'ensemble du territoire. Chaque hectare de sol cultivé est susceptible de produire des polluants. L'importance des charges réellement générées par les sources diffuses est cependant très variable en fonction non seulement de l'intensité des événements pluvieux mais également de nombreux facteurs: type et usage du sol, topographie, densité et proximité du réseau hydrographique, etc. Ainsi, pour un événement pluvieux identique, la charge polluante originant d'une unité de territoire peut varier tout au long de l'année et d'une année à l'autre. Les sources ponctuelles sont généralement assez massives en termes de volumes et de

charges polluantes et leurs effets sur la qualité du milieu sont immédiats. Prises individuellement, les sources diffuses sont beaucoup moins dommageables en raison de volumes de polluants beaucoup moins importants. Leur impact est plutôt cumulatif et provient de l'ajout, d'amont en aval d'un cours d'eau, des contributions de chacune des sources individuelles. L'effet d'une source diffuse peut donc ne s'exprimer que plusieurs kilomètres en aval du point d'introduction dans le cours d'eau.

Ce comportement insidieux de même que l'intermittence spatiale et temporelle de ces sources expliquent qu'on en ait longtemps sous-estimé la gravité et les impacts. Cependant l'importance de ces sources dans le bilan des polluants affectant nos principales rivières est bien réel. On a ainsi estimé que les sources agricoles diffuses acheminent annuellement vers les dix principaux tributaires du fleuve Saint-Laurent des charges en azote et en phosphore équivalentes aux rejets de 7 et 10 millions de personnes respectivement (Anonyme, 1988). De façon plus particulière, une étude récente sur l'évolution de la qualité de l'eau de la rivière Yamaska entre 1975 et 1988 démontre que malgré le fait que les eaux usées de 60% de la population totale et environ 90% des eaux usées industrielles soient maintenant traitées, la qualité de l'eau s'est dégradée depuis 1975. De fait, neuf des dix-neuf paramètres étudiés ont vu leur niveau augmenter de façon significative depuis 1975 et cinq autres n'ont pas connu d'amélioration (Primeau et Grimard, 1990).

## **2.2 Approche préventive de la pollution diffuse**

Le contrôle des sources diffuse requiert donc une approche différente de celle retenue pour les sources ponctuelles. En effet, en raison de la nature des processus régissant leur production et leur expression, on ne peut envisager la collecte des polluants diffus en vue d'un traitement ultérieur. On doit alors adopter une stratégie axée sur la prévention, c'est-à-dire visant à réduire ou à prévenir la production de polluants à la source.

Les moyens utilisés à cette fin sont du type des pratiques présentées précédemment. Cependant, en raison de la dispersion des sources diffuses sur le territoire et du lien étroit existant entre leur manifestation et les processus hydrologiques, le choix des correctifs à apporter et de leur localisation doit cependant être fait suite à une étude de l'ensemble du bassin hydrographique qui prenne en considération la nature de ce type de pollution (Cobourn, 1989).

D'autre part, en raison de l'importance de la superficie de nos bassins versants, on ne peut envisager intervenir sur l'ensemble des sources diffuses. Un tel

effort est d'ailleurs inutile. En effet, il a été démontré que de façon générale une fraction importante des charges diffuses provient d'une portion relativement restreinte du territoire. A titre d'exemple Rousseau et al. (1988) estiment ainsi, pour le bassin de la rivière Avon (Ontario), que 79% de la charge de solides en suspension et 65% de la charge de phosphore proviennent de 12% et 10% du territoire respectivement. Le contrôle de la pollution agricole diffuse doit donc s'appuyer sur l'identification, des secteurs d'où originent vraisemblablement les plus fortes charges spécifiques. On pourra par la suite établir des priorités d'intervention qui permettront de maximiser les retombées des investissements consentis en termes d'assainissement.

En raison de l'ensemble de ces contraintes, la modélisation du comportement des bassins versants apparaît comme un outil essentiel pour une approche efficace des problèmes de pollution diffuse (Novotny et Chesters, 1989). L'utilisation de modèles doit permettre de :

a - simuler le comportement du bassin étudié sous les conditions actuelles;

b - prédire les charges polluantes résultant de l'utilisation actuelle du territoire;

c - identifier les secteurs du bassin responsables des plus fortes charges spécifiques;

d - élaborer divers scénarios d'intervention : choix des correctifs et effet de réduction des charges polluantes

e - prédire l'évolution future des charges suite à des changements dans l'utilisation du territoire.

Divers modèles ont été développés afin de répondre en tout ou en partie à ces besoins. La complexité de ces modèles varie suivant le détail des résultats recherchés et selon l'importance et la qualité des intrants requis et disponibles (Bernard, 1986).

Ce type d'approche doit évidemment mettre à contribution des spécialistes de divers domaines: sols, productions végétales, production animales, hydrologues, etc.

### **2.3 Exemple d'un bassin versant**

Afin d'illustrer de façon concrète l'importance de cette approche par bassin versant, on a procédé à quelques simulations sur un petit bassin typique du sud

du Québec.

Le bassin étudié est celui du Ruisseau-des-Anges. Ce cours d'eau est un tributaire de la rivière l'Achigan, dans les environs de Saint-Roch-de-l'Achigan. La rivière l'Achigan est elle-même un tributaire de la rivière l'Assomption, au nord-est de Montréal (figure 1). Le bassin versant du Ruisseau-des-Anges couvre une superficie de 3180 ha, dont 30,5% est sous couvert forestier. En 1985, la production de maïs occupait 22% du bassin, la production horticole 14,5%, les céréales 15% et les herbages 18% (Gangbazo et Blais, 1987). La topographie du bassin est généralement peu prononcée, à l'exception de quelques petites élévations. On retrouve une assez grande variété de sols. De façon générale, environ 40% de la superficie du bassin présente une texture argileuse, le reste étant sur des sols à texture sableuse.

A l'aide du modèle GAMES (Cook et al., 1985), on a estimé l'importance que pourraient atteindre à l'exutoire l'érosion hydrique, les charges en matières en suspension (MES) et en phosphore total, pour les conditions prévalant en 1985. Le tableau 4 rapporte les résultats obtenus, par type de culture. On peut y noter que la culture de maïs génère 50% de l'érosion totale et près de 50% des charges de MES et de phosphore bien qu'elle n'occupe qu'un peu plus de 30% de la superficie en culture. A l'inverse, les secteurs en production herbagère (25,5% de la superficie cultivée) ne subissent que 1% de la perte totale de sol et produisent moins de 0,5% des charges en MES et en phosphore. Une analyse plus détaillée des résultats de simulation révèle de plus que 45% de la charge totale de MES provient d'un peu plus de 8% du territoire. Pour le phosphore, le problème est un peu moins spatialement circonscrit, 55% de la charge originant de 39% du territoire.

Pour illustrer l'importance de planifier une intervention corrective à l'échelle du bassin versant afin de maximiser la réduction des charges polluantes diffuses, on a simulé l'effet de l'implantation de diverses mesures de conservation des sols à divers endroits du bassin sur l'érosion, les charges de MES et de phosphore. Dans un premier temps, on a dirigé les interventions vers les secteurs soupçonnés de produire les plus fortes charges spécifiques. Dans un second scénario, on a distribué au hasard les interventions, de façon à simuler l'effet d'une opération non planifiée à des fins de conservation de l'eau. Le tableau 5 rapporte les résultats de ces deux simulations. Une intervention planifiée aurait permis de réduire l'érosion du sol de 12% pour l'ensemble du bassin. La réduction des charges de MES et de phosphore atteindrait 30%. Par ailleurs, la dernière simulation démontre qu'une intervention non planifiée en fonction de la nature et du comportement du bassin n'aurait permis de réduire les pertes de sol que de 4% et celles de MES et de phosphore de 8%. Dans ce dernier cas, les gestionnaires du territoire n'auraient

donc pas réussi à améliorer de façon perceptible la qualité de l'eau et ce malgré un investissement comparable, en termes de ressources humaines, techniques et autres, à celui nécessaire à une intervention intégrée.

### TABLEAUX

Tableau 1. Effet de la rotation sur le ruissellement et l'érosion, sur argile Rideau à Ottawa (Ripley et al., 1961)

Culture et pratique	Ruissellement (mm-an <sup>-1</sup> )	Érosion (t-ha <sup>-1</sup> -an <sup>-1</sup> )
Maïs en continu	40,9	36,0
Rotation		
Maïs	10,4	10,6
Avoine	7,9	1,8
Luzerne	3,8	0,11
Luzerne	1,4	1,13
Moyenne rotation	5,9	3,41

Tableau 2. Effet de la rotation sur la perte de nutriments sur loam Barnes, au Minnesota (Burwell et al., 1975)

Culture et pratique	Ruissel. (mm-an <sup>-1</sup> )	Nsol <sup>§</sup>	Nséd*	Psol	Pséd
		-----kg-ha <sup>-1</sup> -an <sup>-1</sup> -----			
Maïs en continu	86,10	2,30	21,54	0,33	5,22
Rotation					
Maïs	47,40	0,95	13,21	0,17	2,97
Avoine	79,30	2,55	1,92	0,21	0,43
Prairie	132,10	3,69	0,17	0,59	0,04
Moyenne rotation	86,26	2,40	5,10	0,32	1,15

§ formes dissoutes dans l'eau de ruissellement

\* formes liées aux particules en suspension

Tableau 3. Comparaison entre les sources diffuses et ponctuelles (Novotny et Chesters, 1981)

Sources diffuses                      Source  
s  
ponctu  
elles

1. Entrée diffuse dans le cours  
l .  
Entrée  
direct  
e dans  
l e  
cours  
d'eau



d'eau après un transit  
terrestre plus ou moins long

2. Manifestation lors des 2. .  
Manife  
statio  
n  
consta  
n t e  
d a n s  
l e  
temps  
événements pluvieux
3. Sources difficilement 3 .  
Source  
s bien  
locali  
sées  
localisables, réparties sur  
l'ensemble du territoire
4. Effet négligeable des source  
s 4 .  
Effet  
import  
a n t  
d e s  
source  
s  
indivi  
du-  
individuelles. Effet provenant  
de l'effet cumulatif elles
5. Charges polluantes très variables 5. Charges relativement constantes
6. Réduction des impacts par la  
prévention et la réduction à  
la source des charges 6. Réduction des impacts par traitement  
des charges

Tableau 4. Origine de l'érosion, des charges en MES et  
en phosphore dans le bassin du  
Ruisseau-des-Anges

Culture Type	Superficie (ha)	Érosion		MES		Phosphore	
		Charge (t)	% tot (%)	Charge (t)	% tot (%)	Charge (t)	% total (%)
Herbages	860,2	33	1	4	<1	6	<1
Céréales	486,2	898	26	403	28	710	28
Maïs	699,8	1730	50	713	49	1254	49
Horticult.	460,1	796	23	326	22	573	22
<b>TOTAL</b>	<b>2209,3</b>	<b>3457</b>	<b>100</b>	<b>1446</b>	<b>100</b>	<b>2543</b>	<b>100</b>

Tableau 5. Efficacité de deux types d'intervention à  
réduire l'érosion des sols et les charges

de MES et de phosphore

	Érosion	MES	Phosphore
	(t)	(t)	(kg)
Avant intervention	3457	1446	2543
Intervention planifiée	3056	1017	1780
	(12%)§	(30%)	(30%)
Intervention non-pla-	3330	1334	2340
nifiée	(4%)	(8%)	(8%)

§ Réduction par rapport à la situation avant intervention

## FIGURES

Figure 1. Localisation du bassin du Ruisseau-des-Anges

— La seule façon de voir ces figures est de basculer dans Word Perfect, aller aux dernières pages du texte et prévisualiser celles-ci. Vous pouvez à partir de ce logiciel (WP) faire imprimer ces figures.

## CONCLUSION

La conservation des ressources sol et eau, et de façon particulière la conservation de l'eau, requiert donc une approche globale, à l'échelle des unités naturelles que constituent les bassins hydrographiques. Une analyse à ce niveau permettra d'identifier les secteurs responsables des plus importantes dégradations. Par la suite, le choix des correctifs devra bien sûr être adapté aux conditions locales de sol, de topographie, etc.

La nécessité d'une telle approche a d'ailleurs été soulignée dans le cadre des études sur la qualité des Grands-Lacs. Le rapport final du PLUARG, le groupe d'étude de la pollution causée par les activités liées à l'utilisation des terres (Berg et Johnson, 1978), de même qu'un rapport du groupe de travail sur le contrôle des sources de pollution diffuses de la Commission mixte internationale (Anonyme, 1983) font le constat suivant:

"On a orienté un petit nombre seulement de programmes de lutte contre la pollution de sources diffuses vers les lieux qui contribuent de façon disproportionnée aux apports totaux de polluants. Etant donné la rareté continue des ressources, les gouvernements devront établir quelles sont leurs régions prioritaires de gestion et orienter leurs ressources en conséquence."

Conséquemment, une des recommandations contenues dans ces rapports est à l'effet:

"Que l'on définisse, à l'intérieur des bassins hydrographiques, les régions les plus susceptibles de produire des

polluants, et que l'on accorde la priorité à la mise en place de mesures correctives dans ces régions."

Il ne fait pas de doute que le même constat et la même recommandation s'appliquent à nos rivières dans le bassin versant du Saint-Laurent.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Alberts, E.E., Wendt, R.C., Burwell, R.E. 1985. Corn and soybean effects on soil losses and C factors. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:721-728.

Andraski, B.J., Mueller, D.H., Daniel, T.C. 1985. Phosphorus losses in runoff as affected by tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:1523-1527.

Angers, D.A., Mehuys, G.R. 1988. Effects of cropping on macro-aggregation of a marine clay soil. *Can. J. Soil Sci.* 68:723-732.

Angle, J.S., McClung, G., McIntosh, M.S., Thomas, P.M., Wolf, D.C. 1984. Nutrient losses in runoff from conventional and no-till corn watersheds. *J. Environ. Qual.* 13 :431-435.

Anonyme, 1983. Lutte contre la pollution de sources diffuses dans le bassin des Grands-Lacs. Vue d'ensemble des initiatives découlant de l'étude du PLUARG. Rapport du Groupe de travail sur le contrôle des sources de pollution diffuses du Conseil de la qualité de l'eau de la Commission mixte internationale. Résumé. 19 p.

Anonyme. 1988. Contribution des activités agricoles à la pollution de certains tributaires du fleuve Saint-Laurent. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de l'Assainissement agricole. 17 p.

Baker, J.L., Laflen, J.M. 1982. Effects of corn residue and fertilizer management on soluble nutrient runoff losses. *Trans. ASAE* 25:344-348.

Baker, J.L., Laflen, J.M., Hartwig, R.O. 1982. Effects of corn residue and herbicide placement on herbicide runoff losses. *Trans. ASAE* 25:340-343.

Barisas, S.G., Baker, J.L., Johnson, H.P., Laflen, J.M. 1978. Effect of tillage systems on runoff losses of nutrients. A rainfall simulation study. *Trans. ASAE* 21 :893-897.

Berg, N.A., Johnson, M.G. 1978. Environmental management strategy for the Great Lakes system. Final report to the International Joint Commission from the international Reference Group on Great Lakes Pollution from Land Use Activities (PLUARG). 115 p.

- Bernard, C. 1986. La modélisation de la pollution agricole diffuse. Dans La pollution diffuse et la protection de l'environnement. Compte-rendu du 13<sup>e</sup> colloque de Génie rural. Université Laval. pp 111-146.
- Burwell, R.E., Timmons, D.R., Holt, R.F. 1975. Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 39:523-528.
- Byers, R.A., Stromberg, E.L. 1987. Influence of legumes on insects and diseases in conservation tillage systems. Dans "The role of legumes in conservation tillage systems" Soil Conservation Society of America. pp 61-67.
- Cobourn, J. 1989. Is cumulative watershed effects analysis coming of age?. J. Soil Water Cons. 44:267-270.
- Cook, D.J., Dickinson, W.T., Rudra, R.P. 1985. GAMES, the Guelph model for evaluating effects of agricultural management systems on erosion and sedimentation. Univ. Guelph, School Engin. Tech. Rep. 126-71. 75 p.
- Epstein, E., Grant, W.J. 1968. Chlorinated insecticides in runoff water as affected by crop rotation. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:423-426.
- Gangbazo, G., Blais, Y. 1987. Qualité du Ruisseau-des-Anges. Rapport d'étape, période du 13 août au 3 décembre 1986. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de l'Assainissement agricole. 60 p.
- Gilley, J.E., Finkner, S.C., Spomer, R.G., Mielke, L.N. 1986. Runoff and erosion as affected by corn residue: Part I. Total losses. Trans. ASAE 29:157-160.
- Gold, A.J., Loudon, T.L. 1989. Tillage effects on surface water quality from artificially drained cropland. Trans. ASAE 32:1329-1334.
- Kenimer, A.L., Mostaghimi, S., Young, R.W., Dillaha, T. A., Shanholtz, V.O. 1987. Effects of residue cover on pesticide losses from conventional and no-tillage systems. Trans. ASAE 30:953-959.
- Laflen, J.M., Baker, J.L., Hartwig, R.O., Buchele, W.F., Johnson, H.P. 1978. Soil and water loss from conservation tillage systems. Trans ASAE 21:881-885.
- Martel, Y. A., Deschênes, J.M. 1976. Les effets de la mise en culture et de la prairie prolongée sur le carbone, l'azote et la structure de quelques sols du Québec. Can. J. Soil Sci. 56:373:383.
- Mostaghimi, S., Dillaha, T.A., Shanholtz, V.O. 1988. Influence of tillage systems and residue levels on runoff, sediment, and phosphorus losses. Trans. ASAE 31 :128-132.

Novotny, V., Chesters, G. 1981. Handbook of nonpoint pollution - Sources and management. Van Nostrand-Reinhold Co. New-York. 555 p.

Novotny, V., Chesters, G. 1989. Delivery of sediment and pollutants from nonpoint sources: a water quality perspective. J. Soil Water Cons. 44:568-576.

Pesant, A.R., Dionne, J.L., Genest, J. 1987. Soil and nutrient losses in surface runoff from conventional and no-till corn systems. Can. J. Soil Sci. 67:835-843.

Primeau, S., Grimard, Y. 1990. Rivière Yamaska. 1975-1988. Volume 1: Description du bassin versant et qualité du milieu aquatique. Ministère de l'Environnement du Québec, Direction de la Qualité des cours d'eau. Doc. QE-66-1. 136 p.

Ripley, P.O., Kalbfleisch, W.M., Bourget, S.J., Cooper, D.J. 1961. L'érosion du sol par l'eau au Canada. Agriculture Canada, Publ. 1083. 38 p.

Rousseau, A., Dickinson, W.T., Rudra, R.P., Wall, G.J. 1988. A phosphorus transport model for small agricultural watersheds. Can. Agric. Eng. 30:213-220.

Saxton, K.E., Spomer, R.G., Kramer, L.A. 1971. Hydrology and erosion of loessial watersheds. Proc. ASCE, Hydraulic Div. 97:1835-1851.

Saxton, K.E., Spomer, R.G. 1968. Effects of conservation on the hydrology of loessial watersheds. Trans. ASAE 11 :848-849,853.

Stewart, B.A., Woolhiser, D.A., Wischmeier, W.H., Caro, J.H., Frere, M.H. 1976. Control of water pollution from cropland. Vol II-An overview. USDA Report No. ARS-H-5-2. 187 p.

Timmons, D.R., Holt, R.F., Latterell, J.J. 1970. Leaching of crop residues as a source of nutrients in surface runoff water. Water Res. Research 6:1367-1375.

Van Doren, D.M., Moldenhauer, W.C., Triplett., G.B. 1984. Influence of long-term tillage and crop rotation on water erosion. Soil Sci. Soc. Am. J. 48:636-640.

Wauchope, R.D. 1978. The pesticide content of surface water draining from agricultural fields. A review. J. Environ. Qual. 7:459-472.

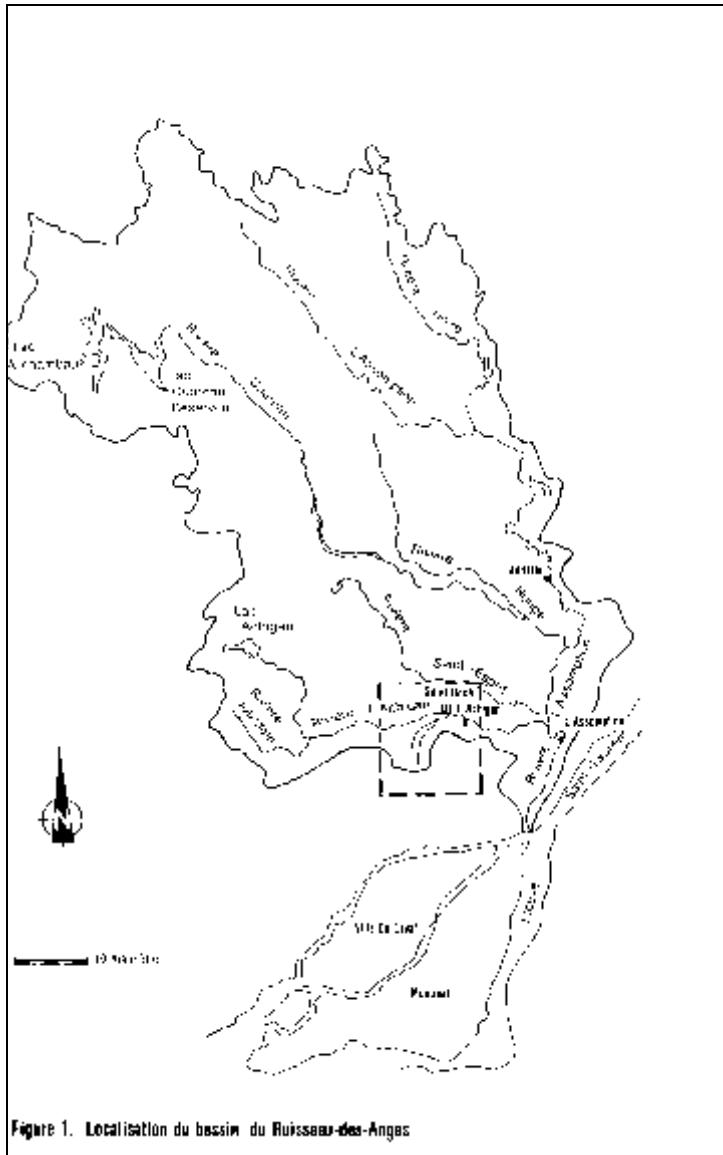


Figure 1. Localisation du bassin du Ruisseau-des-Anges