

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ A :

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC A TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR

MARC LAUZON

ÉTUDE DE L'ÉROSION EN MILIEU AGRICOLE ARGILEUX: LE CAS DU BASSIN-
VERSANT DU RUISSEAU DES SAULES A SAINT-LÉON-LE-GRAND, QUÉBEC

SEPTEMBRE 1987

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

Les préoccupations concernant la dégradation des sols deviennent de plus en plus importantes à l'échelle nationale. Dans un rapport déposé en juin 1984, le comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts lance un cri d'alarme à ce sujet. Le Québec n'échappant pas à ce fléau, nous avons tenté de circonscrire les phénomènes d'érosion dans un petit bassin-versant (Le ruisseau des Saules, 1105,4 ha) situé dans la plaine argileuse du lac Saint-Pierre.

L'objectif de notre étude est de voir les phénomènes d'érosion présents dans ce territoire, d'en saisir l'évolution temporelle et le comportement saisonnier. La méthodologie utilisée pour atteindre ce but repose sur trois volets. D'abord, il s'agit d'étudier, à partir de photographies aériennes, l'évolution des surfaces érodées depuis les trois dernières décennies et de localiser les secteurs du bassin-versant les plus affectés. Ensuite, à partir des concentrations de solides en suspension présentes dans les échantillons d'eau recueillis périodiquement dans les cours d'eau du bassin, nous tentons de voir dans quels sous-bassins-versants l'érosion est la plus manifeste, et ce pour le printemps et l'automne. Finalement, en étudiant les diverses caractéristiques pédologiques, géomorphologiques et

hydrographiques des sous-bassins, nous tentons d'expliquer la présence de ces sédiments dans les cours d'eau.

Les résultats obtenus font ressortir le ruisseau Pelletier (affluent du ruisseau des Saules). A cause d'une zone de glissements de terrain active dans sa partie amont, ce ruisseau transporte des charges considérables de sédiments. Cette zone a pu être observée sur les photographies aériennes et pendant la période printanière d'échantillonnage. Aussi, il s'avère que les solides en suspension dans les cours d'eau sont, pendant la période printanière principalement issus des zones riveraines (des berges). A l'automne, la situation diffère. Pendant cette période, il semble que leur présence soit d'avantage liée aux caractéristiques pédologiques des terres cultivées (pourcentage de sable des champs). En somme, les résultats démontrent que l'érosion des berges est principalement active au printemps alors que les cours d'eau sont à leurs plus hauts niveaux et qu'à l'automne, à cause des précipitations importantes et de la vulnérabilité des terres liées au labours automnaux, les solides en suspension dans l'eau seraient d'avantage associés aux terres cultivées.

REMERCIEMENTS

Je ne pourrais terminer ce travail sans remercier ceux qui ont participé, de près ou de loin, à sa réalisation. Que ceux qui ne sont pas mentionnés ne se sentent pas négligés. D'abord, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Dr Jean-Marie Lancery, professeur de géographie à l'Université du Québec à Trois-Rivières. Son aide accordée pendant le cheminement de cette étude fut très précieuse et essentielle pour l'étudiant gradué que j'étais.

Aussi, il me faut mentionner l'appui que m'a accordé Mme Odette Cormier, mon épouse, qui a manifesté son support lors du traitement de texte et pendant les périodes creuses qu'a comportées ce travail. De même, je suis plein de gratitude pour mon collègue et ami M. Denis Lamontagne, biologiste. Ensemble, nous avons partagé les joies et angoisses qui se sont présentées pendant le cheminement de cette maîtrise.

Finalement, je ne pourrais passer sous silence le travail de Messieurs Jean-Marc Hamelin et Robert Aubin,

géographes. Sans leurs initiatives et leurs ardeurs, l'échantillonnage n'aurait pas toujours été chose facile.

La réalisation de ce travail est, en partie, rendue possible grâce à la contribution financière d'Emploi et immigration Canada et d'Environnement Canada. Nous les en remercions.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS.	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	xii
INTRODUCTION	1
CHAPÎTRE 1	
FORME ET PROCESSUS D'ÉROSION : REVUE DE LITTÉRATURE . . .	6
1.1 Érosion : Définitions et types	6
1.1.1 L'érosion : phénomène naturel ou anthropique .	6
1.1.2 Types d'érosion en milieu agricole	8
1.2 Les agents d'érosion	9
1.2.1 Les précipitations	9
1.2.2 Les températures	10
1.2.3 La couverture neigeuse	11
1.3 Les variables affectant l'érosion	12
1.3.1 Érosion en nappe et en rigole	12
1.3.2 Érosion des berges et lits des cours d'eau . .	14
1.3.3 Les glissements de terrain	16
1.4 Le transport de sédiments	17
CHAPÎTRE 2	
DESCRIPTION DU TERRITOIRE	20
2.1 Les composantes naturelles	20
2.1.1 Le relief	20
2.1.2 Les dépôts de surface	21
2.1.3 Les sols	21
2.1.4 L'hydrographie	25
2.1.5 La végétation	25
2.2 Le milieu humain	27
2.2.1 L'utilisation du sol	27

2.2.2	Le drainage	27
2.2.3	Les travaux mécanisés	28

CHAPITRE 3

METHODOLOGIE	29
3.1 Analyse de photographies aériennes	29
3.2 La cueillette d'échantillons d'eau	30
3.3 Etude des champs cultivés	34
3.4 Relevés sur les berges et les zones riveraines	36
3.5 Caractéristiques géomorphologiques et hydrographiques des sous-bassins-versants	36
3.6 Traitements statistiques des données	37

CHAPITRE 4

LES RESULTATS	38
4.1 Etude de l'érosion par photographies aériennes	38
4.1.1 Les zones érodées entre 1948 et 1982	38
4.1.2 Le pâturage en zones riveraines	44
4.2 Les solides en suspension dans les cours d'eau	49
4.2.1 Echantillonnage au printemps	49
4.2.2 Echantillonnage à l'automne	52
4.2.3 Comparaison printemps - automne	55
4.2.4 Comparaison entre l'amont et l'aval	58
4.2.5 Les débits solides	62
4.3 Les précipitations	62
4.3.1 Les précipitations printanières	64
4.3.2 Les précipitations automnales	66
4.4 Analyse des champs	68
4.4.1 La texture du sol	68
4.4.2 La matière organique	70
4.5 Les caractéristiques des berges	70
4.6 Les composantes hydrographiques	72
4.7 Traitements statistiques des résultats	74
4.7.1 Relations entre les solides en suspension et les précipitations	76

4.7.2	Relations entre les solides en suspension et les variables explicatives	78
4.7.3	Relations entre les variables explicatives . .	89
4.7.4	Analyses multivariées	91
4.7.4.1	Les solides en suspension au printemps .	91
4.7.4.2	Les solides en suspension à l'automne . .	92

CHAPÎTRE 5

DISCUSSION	96
5.1 L'analyse des photographies aériennes	96
5.2 Les solides en suspension au printemps	98
5.3 Les solides en suspension à l'automne	99
5.4 Comparaison printemps-automne	99
5.5 Comparaison amont-aval	100
5.6 Les relations entre la pluie et les solides en suspension	101
5.7 Analyses des relations entre les concentrations de solides en suspension et les variables explicatives. .	102
5.7.1 Au printemps	102
5.7.2 A l'automne	105
CONCLUSION	109
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	112
Sources écrites	112
Sources cartographiques	120
Photographies aériennes	121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	page
1- Description du profil : Argile Rideau	23
2- Description du profil : Argile Sainte-Rosalie . . .	24
3- Superficies érodées en m ² dans le bassin-versant du ruisseau des Saules (1948, 1964, 1977, 1982) . .	40
4- Caractéristiques des sentiers d'animaux en amont du pont de la route Barthélémy sur le ruisseau des Saules	46
5- Corrélations significatives ($p \leq 0,05$) entre les paramètres des sentiers d'animaux	48
6- Concentrations des matières en suspension (mg/l) au printemps 1985 dans les six stations d'échan- tillonnage	50
7- Coefficients de corrélation des concentrations de matières en suspension au printemps 1985 pour les stations 1 à 5	53

8- Concentrations des matières en suspension (mg/l) à l'automne 1985 dans les six stations d'échan- tillonnage	54
9- Coefficients de corrélation entre les concentra- tions de matières en suspension à l'automne 1985 pour les stations 1 à 5	56
10- Comparaison printemps-automne des moyennes de sédiments en suspension (mg/l) par station	57
11- Comparaison amont-aval des solides en suspension selon les saisons sur le ruisseau Paquin	61
12- Charges sédimentaires en suspension pour quatre stations du bassin-versant du ruisseau des Saules (printemps 1985)	63
13- Précipitations journalières pour les mois d'avril et mai 1985 pour la station climatique de Louiseville	65
14- Précipitations journalières pour les mois d'octobre et novembre 1985 pour la station climatique de Louiseville	67

15- Granulométrie des champs par sous-bassin-versant .	69
16- Pourcentage de matière organique par sous-bassin- versant	71
17- Caractéristiques des berges pour chaque sous-bassin- versant	73
18- Valeurs des composantes hydrographiques par sous- bassin-versant	75
19- Coefficients de corrélation entre les sédiments en suspension et les précipitations pour les six stations (printemps et automne 1985)	77
20- Liste des variables dépendantes et indépendantes et leur abbréviation	79
21- Coefficients de corrélation entre les variables dépendantes et indépendantes	80
22- Coefficients des corrélations significatives ($p \leq 0,05$) entre les variables explicatives . . .	90
23- Coefficients de régression, valeurs réelles (Sedpr), prédites (Pred) et résidus (Résid) pour le modèle	

explicatif des concentrations de sédiments en suspension au printemps 1985.	93
24- Coefficients de régression, valeurs réelles (Semin), prédites (Pred) et résidus (Résid) pour le modèle explicatif des concentrations minimales de sédiments en suspension à l'automne 1985	95

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1- Localisation de la zone d'étude	4
2- Hydrographie du bassin-versant du ruisseau des Saules	26
3- Localisation des stations d'échantillonnage d'eau	31
4- Localisation des secteurs de mesures des zones érodées	41
5- Évolution du bassin-versant du ruisseau des Saules, 1948 - 1980	43
6- Solides en suspension pour les stations d'aval (4) et d'amont (6) sur le ruisseau Paquin pour le printemps et l'automne 1985	60
7- Droites de régression entre solides en suspension au printemps - taux de sable et solides en suspension au printemps - indice de dénudation. . .	82

- 8- Droites de régression entre solides en suspension
au printemps - pente des berges et solides en
suspension au printemps - % des terres drainées
souterrainement 83
- 9- Droites de régression entre solides en suspension
à l'automne - pente du cours d'eau et solides en
suspension à l'automne - pente du bassin-versant. . 85
- 10- Droite de régression entre solides en suspension
à l'automne (valeurs maximales) - pente du bassin-
versant 86
- 11- Droites de régression entre solides en suspension
à l'automne (valeurs minimales) - taux de sable et
solides en suspension à l'automne (valeurs minima-
les) - indice de dénudation 87
- 12- Droites de régression entre solides en suspension
à l'automne (valeurs minimales) - pente des berges
et solides en suspension à l'automne (valeurs
minimales) - % des terres drainées souterrai-
nement 88

INTRODUCTION

En juin 1984, le comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts publiait un rapport sur la dégradation des sols intitulé: "Nos sols dégradés, le Canada compromet son avenir." Par ce document, le comité lance un cri d'alarme concernant la dégradation des terres agricoles au pays. Parmi les formes de dégradation concernées, l'érosion des sols provoquerait une perte de 30 à 40% des récoltes de maïs en Ontario. Depuis un siècle, le Canada aurait perdu plus de la moitié de son sol arable dû à l'érosion (Hamman 1985). Dumanski et al (1986) estiment que les pertes économiques liées à l'érosion hydrique varient entre 266 et 424 millions de dollars au Canada. Au Québec, ces valeurs se situeraient entre 5 et 17 millions de dollars.

Aux Etats-Unis, les problèmes de dégradation des terres agricoles par l'érosion sont devenus une préoccupation d'ordre nationale depuis plus de 40 ans. Ceci a fait naître le "Soil conservation service of America". Par ce fait, de nombreuses recherches ont permis de voir l'importance de ce phénomène tant sur le plan économique qu'environnementale.

Les études de Wischmeier (1959, 1960, 1969, 1972) et Wischmeier et Smith (1978) sont parmi les plus réputées. Ils ont établi une équation universelle de perte de sol qui est aujourd'hui reconnue mondialement. Cette équation est un modèle mathématique établi par des régressions multiples qui permet de prévoir l'érosion en nappe et en rigole sur les terres cultivées. Elle est basée sur l'analyse des paramètres liés au sol, au climat, au relief et à l'utilisation des terres. D'autres auteurs se sont attardés sur l'érosion des berges (Bowie, 1980, 1982; Hamlett et al., 1983, 1984; Little et al., 1982; Thorne et al., 1981 et Thorne, 1982). Par ces études, les auteurs ont évalué l'apport des berges au niveau des matériaux transportés par les cours d'eau, les coûts associés à ce type d'érosion, de même que les mesures correctives à préconiser. Selon Bowie (1980), l'érosion des berges contribuerait jusqu'à 55% des sédiments transportés par les cours d'eau.

Toutefois, au Québec, les études spécifiques sur l'érosion se font rares. De plus, on fait face à des contradictions au sein même du gouvernement (Hamman, 1985); Selon lui, alors qu'au ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation certains croient qu'il y a beaucoup d'exagérations au sujet de l'érosion des sols, le ministère de l'environnement presse le pas pour que des études spécifiques examinent ce problème de plus près.

A l'Université du Québec à Trois-Rivières, Jean-Marie Lancery, professeur de géographie physique, examine les problèmes liés à l'érosion depuis 1982. Ses études ont permis de localiser certaines zones où l'érosion se manifeste de différentes façons. Parmi celles-ci, la région de Saint-Léon-Le-Grand a attiré l'attention et c'est elle qui est l'objet de notre étude. Il s'agit d'une petite municipalité située au nord de Louiseville à quelques 50 km de Trois-Rivières (figure 1). L'étude concerne le bassin-versant du ruisseau des Saules, affluent de la rivière Chacoura, tributaire à son tour de la rivière du Loup. Ce territoire, représentatif de la région agricole concernée, couvre une superficie de 11,05 km² (Lancery et Caron, 1983) et son utilisation est essentiellement agricole.

L'objectif de cette étude est d'abord de localiser les zones du bassin-versant où l'érosion a été la plus active jusqu'à présent. Aussi, il s'agit de voir si l'érosion qui se produit au cours d'une année d'échantillonnage reflète ce qui s'est passé auparavant. L'étude consiste aussi en la découverte des facteurs provoquant cette érosion.

Pour ce faire, il s'agit de voir l'évolution du territoire à partir de photographies aériennes. Ensuite, l'analyse des concentrations de sédiments en suspension dans l'eau des ruisseaux permet d'évaluer l'érosion effective

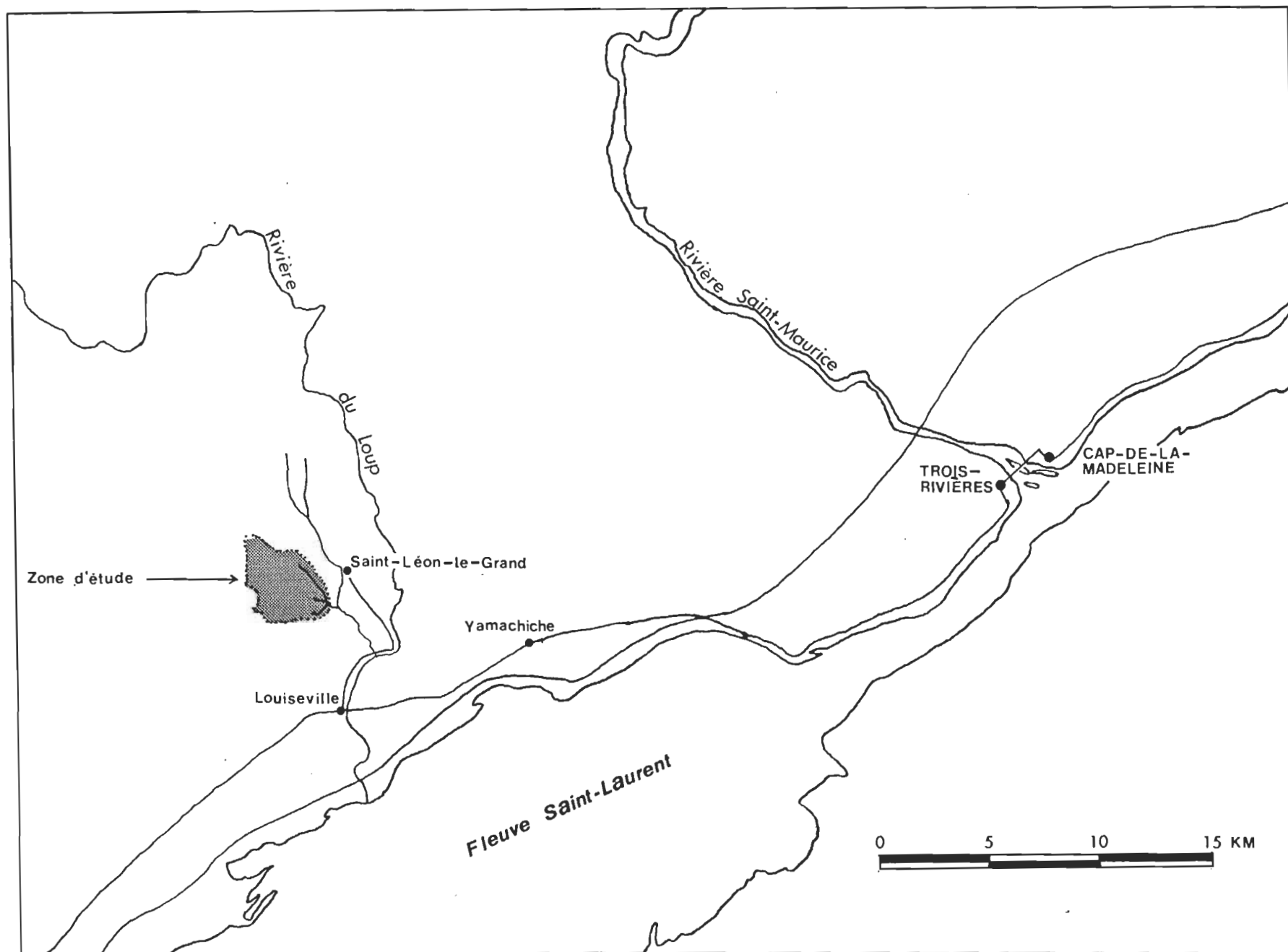


Figure 1: Localisation de la zone d'étude

pendant le printemps et l'automne 1985. Il est ainsi possible de savoir dans quels sous-bassins l'érosion est la plus importante selon la saison. Pour expliquer cette érosion, des variables relatives aux champs, aux berges et aux caractéristiques hydrographiques sont analysées. Cette méthodologie, inspirée en partie d'Anderson (1954), nous permet de savoir quelles sont les variables qui affectent l'intensité de l'érosion. Les associations entre les variables dépendantes et explicatives (indépendantes) sont mesurées par des régressions simples et multiples.

CHAPITRE 1

FORMES ET PROCESSUS D'ÉROSION: REVUE DE LITTÉRATURE

1.1 Erosion: définitions et types

1.1.1 L'érosion: phénomène naturel ou anthropique

La structure du paysage est le résultat d'un ensemble de processus géologiques et géomorphologiques complexes et intimement liés. Parmi ceux-ci on note les processus d'érosion qui, par leurs actions d'arrachement, de transport et de sédimentation participent activement au modelé du relief (Derruau, 1974). Parmi les agents d'érosion traditionnels au Québec, on note principalement les glaciers, l'eau et le vent.

Par ces processus, la nature a mis en place, dans les vallées et dans les plaines alluviales des matériaux meubles constitués de sable, de limon, d'argile, de cailloux, etc.. Sur ces matériaux, se sont développés des sols souvent riches et fertiles qui ont plus tard été mis en culture par l'homme. C'est à partir de ce moment qu'a débuté l'érosion accélérée et anthropique (Derruau, op cit.). Par la déforestation, le pâturage, la mise en culture et les travaux d'égouttement l'homme accélère les processus

d'érosion et de dégradation des terres agricoles. Selon Derruau, l'érosion des sols peut être comprise selon deux sens.

Sens étroit: Enlèvement de tout ou partie du sol par les
eaux ou le vent

Sens large : Comprend aussi l'appauvrissement du sol et du
tapis végétal.

Outre ces actions d'arrachement causant la dégradation des terres agricoles, les processus de transport et de sédimentation peuvent aussi être lourds de conséquences. En effet, ces particules de terres arrachées au sol augmentent la charge sédimentaire des ruisseaux, ce qui altère la qualité des milieux aquatiques et augmente la sédimentation en aval. Ces phénomènes peuvent provoquer le remblayement des frayères (Ritchie, 1982) ou des voies navigables (Delisle et al, 1978). Ces effets sont encore plus importants si on considère que des éléments nutritifs (chimiques ou organiques) (Monke et al, 1981) et des polluants sont souvent accrochés à ces particules de sol (Bernard, 1984).

1.1.2 Types d'érosion en milieu agricole

Dans cette étude, nous nous attardons spécifiquement sur l'érosion hydrique, l'érosion éolienne étant moins apparente et presque nulle vue la nature argileuse des terres. Les types d'érosion hydrique sont multiples. Agriculture Canada (1976) en identifie cinq qui sont traités dans notre étude:

Erosion en nappe: Enlèvement d'une couche plus ou moins uniforme de sol de surface par l'eau de ruissellement.

Erosion en rigole: Formation de nombreux petits sillons de quelques centimètres de profondeur; cette forme d'érosion se rencontre surtout sur des sols cultivés depuis peu.

Erosion en ravin: Processus d'érosion par lequel l'eau s'accumule dans les sillons et dans des périodes très courtes, emporte le sol des sillons et creuse des ravins de profondeur variables allant de 0,3 m à 30 m.

Erosion des berges: Type d'érosion lié à la dynamique érosive du cours d'eau. Elle peut se produire par sapement des berges ou en provoquant de petits décrochement sur les talus riverains.

Mouvements de masse: Forme d'érosion caractérisée par des coulées argileuses et des glissements de terrain qui peuvent atteindre des dimensions très spectaculaires. Ce type d'érosion se produit le long des cours d'eau et sur les bouts de terre.

1.2 Les agents d'érosion

1.2.1 Les précipitations

Les précipitations ont un effet très important sur la mise en disponibilité et le transport des sédiments. Au niveau du champ, l'impact créé par les gouttes de pluie fera éclater les agrégats de sol. Le ruissellement de surface pourra ensuite prendre en charge ces particules pour, peut-être, les acheminer jusqu'au cours d'eau principal. A ce sujet, Wischmeier (1959) a établi un index numérique permettant d'évaluer l'érosivité des pluies. On y retrouve

un indice permettant d'évaluer la capacité érosive des pluies à partir de leur durée et de leur intensité.

1.2.2 Les températures

L'action des températures se fait valoir à deux niveaux. Les périodes chaudes et sèches de l'été rendent les agrégats de sol très durs. L'hiver sous l'action du gel, ils éclatent. La réhumification favorise un changement de structure. Ils sont alors plus sensibles à l'éclatement sous l'action des gouttes de pluie. Par ailleurs, Marcotte (1974) a démontré le rôle important du gel et du dégel sur l'évolution des versants argileux du Québec. L'argile soumise à une forte dessiccation pendant l'été donne naissance à un réseau de fentes. Ces fentes sont ensuite comblées par l'eau des pluies automnales que l'hiver transforme en glace. Cette glace cimente les blocs d'argile et les broie en petites particules. Lors de la fonte, le matériel saturé peut s'écouler le long des versants soit sous forme liquide, soit en granules. Ce matériel sera ensuite pris en charge par le cours d'eau qui est alors en pleine crue.

1.2.3 La couverture neigeuse

L'impact de la couverture neigeuse se fait sentir lors de la fonte printanière. Le sol gelé ou complètement détrempé provoque le ruissellement de l'eau de fonte (Zuzel, et al, 1982). En fait, lors de la fonte, il se produit deux types d'érosion. D'abord, il y a l'érosion de surface dans les champs. A ce sujet, Van Vliet et al (1981) identifient trois types d'évènements hivernaux pouvant provoquer le ruissellement de surface: le ruissellement dû à la fonte des neiges, celui lié à la pluie sur le sol gelé, puis celui lié à la combinaison de l'eau de fonte et de l'eau de pluie.

L'autre type d'érosion associé à la fonte printanière est l'érosion des berges des cours d'eau due à une forte montée des niveaux d'eau. Il s'en suit un sapement des berges et des décrochements d'importances variables le long des cours d'eau. Ce type d'érosion est lié à l'action du cours d'eau dont le niveau est plus haut et le courant plus fort, ce qui lui donne une plus grande force érosive. L'effet de la glace est aussi important car en se décrochant des berges, elle amène avec elle des quantités importantes de sédiments (St-Yves, 1983).

1.3 Les variables affectant l'érosion

Après avoir examiné les facteurs pouvant causer l'érosion hydrique, nous voyons maintenant les facteurs relatifs au milieu pouvant affecter l'intensité de l'érosion.

1.3.1 Erosion en nappe et en rigole

Concernant l'érosion en nappe ou en rigole, le meilleur outil pour expliquer les facteurs affectant l'intensité de l'érosion est sans doute l'équation universelle de perte de sol (Wischmeier et Smith 1978). Celle-ci a été établie par l'analyse des régressions menées sur plus de 10 000 résultats annuels observés sur des parcelles expérimentales de petits bassins-versants dans 45 stations de recherche aux Etats-Unis. Cette équation se lit comme suit:

$$E = R .K .SL .C .P.$$

OU

E = Erosion mesurée ou prévisible (T/ha/an)

R = Erosivité des pluies

K = Erodabilité du sol

SL= Inclinaison et longueur de la pente

C = La couverture du sol et les techniques
culturales utilisées.

P = Pratiques anti-érosives utilisées.

Nous n'expliquerons pas en détail le calcul de chacune des variables car l'utilisation ou l'application de cette équation n'est pas l'objectif de notre étude. Voyons toutefois de quelle façon ces variables peuvent affecter l'érosion. Le facteur "R" est relatif à l'érosivité des pluies. Cet indice d'agressivité des pluies est fonction de leur durée et de leur intensité. Plus elles sont intenses et longues, plus l'indice est élevé. Toutefois, on ne peut l'appliquer intégralement au Québec car la couche nivale de même que les périodes de gel et de dégel n'y sont pas considérées (Van Vliet et al, 1976).

Le second facteur, l'érodabilité (K), est fonction de quatre variables: la texture du sol (granulométrie), le pourcentage de matières organiques, la structure et la perméabilité du sol. A ce niveau, ce sont les sols avec un haut pourcentage de limon et de sable fin qui sont les plus susceptibles à l'érosion. Par ailleurs, les colloïdes contenus dans les sols argileux favorisent la formation d'agrégats stables, ce qui les rend moins sensibles au ruissellement (Grissinger, 1966; Holy, 1980; Schwab et al, 1977). Par contre, la forte perméabilité des sols sablonneux diminue le ruissellement. Aussi, ces sols sont composés de particules plus grossières et difficilement transportables par les eaux de surface. C'est ainsi que ces sols sont moins vulnérables à l'érosion. La matière organique, quant

à elle, favorise une meilleure structure du sol et assure une plus grande stabilité des agrégats (Chaney et al, 1984).

La pente (LS) est un élément très important dans le processus de ruissellement de surface. Plus la pente est forte et longue, plus l'écoulement sera efficace. L'arrachement et le transport de matériel seront donc d'autant plus importants.

Les facteurs (C) et (P) sont liés à l'utilisation du sol et aux pratiques culturales. Le premier tient compte du type de culture et des rotations qui sont pratiquées sur les terres, tandis que le second considère les mesures anti-érosives exercées.

Cette équation résume bien les facteurs liés à l'érosion de surface, il faudra donc tenir compte de ces variables lors de l'élaboration de la stratégie d'échantillonnage et de l'analyse des résultats.

1.3.2 Erosion des berges et lits des cours d'eau

Ce type d'érosion est lié à la dynamique érosive du cours d'eau et à la cohésion du matériel en place. En ce qui nous concerne, les berges s'insèrent dans un milieu

argilleux où il existe un fort pouvoir de cohésion. L'arrachement de particules individuelles sera plus difficile que dans des milieux non-cohésifs comme les sables ou les limons (Grissinger et al, 1981). Cependant, tenant compte des caractéristiques locales de l'argile Champlain; limite de liquidité de 60 à 65% et humidité intrinsèque de 40%, il s'en suit souvent des décrochements d'importance variable vers le bas des pentes. Par ailleurs, le fait que l'on soit en milieu cohésif, l'action du gel et du dégel transforme les mottes d'argile en petits agrégats qui seront ensuite facilement pris en charge par le cours d'eau, et ce surtout pendant les périodes de crues (Marcotte, 1974).

St-Yves (1983) et Lagacé (1979) ont identifié les zones qui sont particulièrement sensibles à ce type d'érosion. Ce sont les rives concaves car le courant y arrive à grande vitesse avec une force d'arrachement et de transport considérable. L'absence de végétation riparienne explique aussi une diminution de la stabilité des berges. La présence des tiges protège le matériel meuble en ralentissant la vitesse du ruissellement sur les talus riverains, puis les racines maintiennent en place les particules de sol tout en favorisant une bonne pénétration de l'eau (Hickin, 1984). Ainsi, la disparition de la végétation ira inévitablement vers l'instabilité des berges.

Les sorties de drains ou de fossés dans le cours d'eau principal sont aussi des points propices. Sans aménagements adéquats, ils se dégradent très rapidement. Finalement, la présence du bétail dans les zones riveraines est un autre élément pouvant contribuer à l'érosion des berges des cours d'eau. L'impact du pâturage en zone riveraine se fait sentir à deux niveaux. D'une part, le piétinement des talus pourra provoquer de petits décrochements et la mise en circulation de sédiments dans l'eau (Lancery, 1984). D'autre part, le passage répété des animaux aux mêmes endroits provoquera la compaction du sol. Le ruissellement sera ensuite concentré dans ces zones et son pouvoir érosif sera d'autant plus fort (St-Yves, 1983).

1.3.3 Les glissements de terrain

Les glissements de terrain sont des formes d'érosion qui marquent considérablement le paysage du territoire étudié. On en retrouve de nombreux, le long des cours d'eau et certains sont très anciens. La présence de ce phénomène résulte principalement de deux facteurs. D'une part, la composition du matériel et ses caractéristiques physiques font en sorte qu'il est très fluant. Etant très imperméable, l'argile absorbe l'eau jusqu'à ce qu'elle atteigne sa limite de liquidité. C'est alors qu'il se produit des coulées boueuses dont l'ampleur peut être très

spectaculaire. Elles peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres carrés de superficie.

L'autre facteur qui provoque des glissements de terrain est lié à la dynamique érosive des cours d'eau (Thorne, 1981). En érodant les berges et en s'enfonçant dans son propre lit, le cours d'eau modifie son niveau de base et dérange le profil d'équilibre des versants. Ainsi, c'est au printemps, lorsque les terres sont très humides et que les cours d'eau sont à leur plus haut niveau que se produisent les glissements de terrain les plus importants.

1.4 Le transport de sédiments

Pour qu'à un point donné d'un cours d'eau puissent être recueillis des sédiments, il faut deux conditions. D'abord ce matériel doit avoir été érodé quelque part dans le bassin-versant en amont du point d'échantillonnage, ensuite il faut que l'écoulement soit assez fort pour transporter ses sédiments jusqu'au site de cueillette des échantillons. Toutefois, entre le point d'arrachement et celui de l'échantillonnage, plusieurs variables vont affecter la capacité de transport du cours d'eau.

En effet, plusieurs facteurs contribuent d'une façon significative pour expliquer les différences entre l'érosion des terres et les sédiments transportés. Ainsi, les quantités de sédiments transportés à l'aval ne correspondent pas à l'érosion qui se produit en amont dans le bassin versant. A ce sujet, Renfro (1972) mentionne: "A characteristic relationship of sediment to erosion alone, apparently does not exist."

La configuration du cours d'eau et la présence d'obstacles ont une influence très importante. Ces éléments peuvent ralentir la vitesse du courant et occasionner la redéposition du matériel en suspension. Ainsi, Roehl (1962) a identifié certains facteurs majeurs pouvant affecter le transport de sédiments. Outre les sources de sédiments, les facteurs climatiques et la texture du matériel, il considère les facteurs géomorphologiques du bassin versant pouvant créer, selon le cas, un environnement favorable à la redéposition, plus particulièrement pour les sables et les limons. L'argile restant en suspension même lorsque le courant est nul (Derruau, 1974).

Ces facteurs géomorphologiques ou hydrographiques sont principalement la dimension du bassin versant, la pente du bassin versant et du cours d'eau, la dénivellation entre le

point maximum et minimum du bassin et la densité du système de drainage.

Roehl (1962) a ainsi pu élaboré un modèle permettant d'évaluer le pourcentage des sédiments érodés qui seront transportés. On appelle ce rapport le "delivery ratio" ou "Indice de transport".

En fait, ce DR correspond à:

$$DR = Y / A \quad \text{où} \quad \begin{aligned} DR &= \text{"Indice de transport"} \\ Y &= \text{Sédiments transportés} \\ A &= \text{Erosion totale} \end{aligned}$$

En comparant la sédimentation et l'érosion dans 15 bassins-versants différents, Roehl (op. cit.) a pu établir une relation directe log-log entre les caractéristiques géomorphologiques et le DR. Nous ne décrivons pas cette équation en détail, celle-ci étant très complexe et, pour l'instant, inutilisable sur le territoire à l'étude. Cependant, l'utilité de ce modèle est qu'il permet d'évaluer avec plus de fidélité l'érosion susceptible de se produire dans un bassin-versant à partir des données de matières en suspension. Aussi, il permet de cerner les variables hydrographiques et géomorphologiques pouvant expliquer, en partie, la présence de sédiments dans l'eau et la capacité de transport du cours d'eau.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION DU TERRITOIRE

Afin de mieux connaître le territoire à l'étude, ce chapitre décrit les principales composantes naturelles et humaines de la région. D'abord, en analysant le milieu physique: relief, dépôts meubles, sols, hydrographie, puis en étudiant le milieu humain: utilisation du sol, drainage ou autres travaux agraires, nous tenterons de dresser un portrait précis de la région de Saint-Léon-Le-Grand.

2.1 Les Composantes naturelles

2.1.1 Le relief

Située dans la plaine du Saint-Laurent, la région étudiée présente un relief plat sur toute sa surface jusque dans sa partie nord où la présence de la moraine de Saint-Narcisse accentue la topographie. Toutefois, le relief devient plus accidenté à proximité des cours d'eau où les pentes sont très abruptes (20 à 40°) et les dénivellations très importantes (10 à 25m). En fait, malgré la planéité des zones cultivées, le territoire est excessivement morcelé par les zones riveraines. On y observe aussi que certains fossés ont pris l'apparence d'entailles dont l'envergure

varie de trois à 15 m. Celles-ci diminuent fortement la pleine utilisation de ce territoire. D'une part, elles rendent plus difficile l'accès aux champs obligeant les cultivateurs à faire de longs détours ou à construire des ponceaux. D'autre part, ces entailles diminuent l'étendue de la zone cultivable. On peut estimer qu'environ 110 hectares ne peuvent être utilisés pour l'agriculture, ce qui représente près de 10% du bassin-versant.

2.1.2 Les dépôts de surface

Issus de la phase marine Champlainienne, les dépôts de surface sont principalement constitués d'argile sur près de trente mètres d'épaisseur (Lancery et Caron, 1983). D'ailleurs, cette nappe argileuse englobe les paroisses de Saint-Justin, Sainte-Ursule et Saint-Léon-Le-Grand. Sur ces dépôts d'origine marine se sont ensuite formés des sols argileux des séries Rideau et Sainte-Rosalie.

2.1.3 Les sols

Dans le territoire étudié, deux types de sol sont présents (Godbout, 1962). D'abord, l'argile Rideau recouvre entre 20 et 30% du territoire. Ce type de sol est localisé le plus souvent le long des cours d'eau où il est disposé en bandes de largeurs variables de part en part des affluents.

Les horizons y sont bien développés et suffisamment épais pour l'agriculture (tableau 1).

C'est sur ces sols que sont situées les zones de ravins et des glissements de terrain qui limitent fortement l'accès des machines aratoires. Cependant, dans sa partie accessible, ces propriétés sont très bonnes pour la grande culture.

Par contre, l'argile Sainte-Rosalie est beaucoup plus importante car elle recouvre 70 à 80% du bassin-versant. Son profil est typique des gleysols humiques (Canada, agriculture, 1978) (tableau 2).

Le profil de ce sol ressemble à celui du Rideau. Toutefois, il contient plus de sable et de limon, surtout dans la partie nord du bassin. Il est caractérisé par une topographie plane et un sous-sol imperméable qui maintiennent la nappe phréatique élevée (Godbout, 1962).

Donc, l'argile Rideau se situe à proximité des cours d'eau où s'inscrit une topographie accidentée, tandis que l'argile de Sainte-Rosalie est localisée en milieu plat et représente la presque totalité de la zone cultivable.

Tableau 1
Description du Profil
Argile Rideau

Horizon	Epaisseur (cm)	Description
Ac	0 - 20	Argile brun rouge, faiblement humifère, structure granulaire.
Bg	20 - 56	Argile brune à gris brun clair, avec trainées blanchâtres et faiblement mouchetée de rouille, structure polyédrique. Consistance compacte.
C	- de 56	Argile très lourde, gris foncé à gris olive, structure polyédrique, plastique et collante.

Godbout (1962)

Tableau 2

Description du Profil

Argile Sainte-Rosalie

Horizon	Epaisseur (cm)	Description
Ac	0 - 15	Argile à loam argileux brun gris très foncé, structure granuleuse
GB	15 - 58	Argile brun gris à brun gris foncé, structure massive et polyédrique, abondance de tâches rouillées; consistance plastique
C	- de 58	Argile très lourde, gris à gris olive clair, très massive, presque toujours saturée d'eau

Godbout (1962)

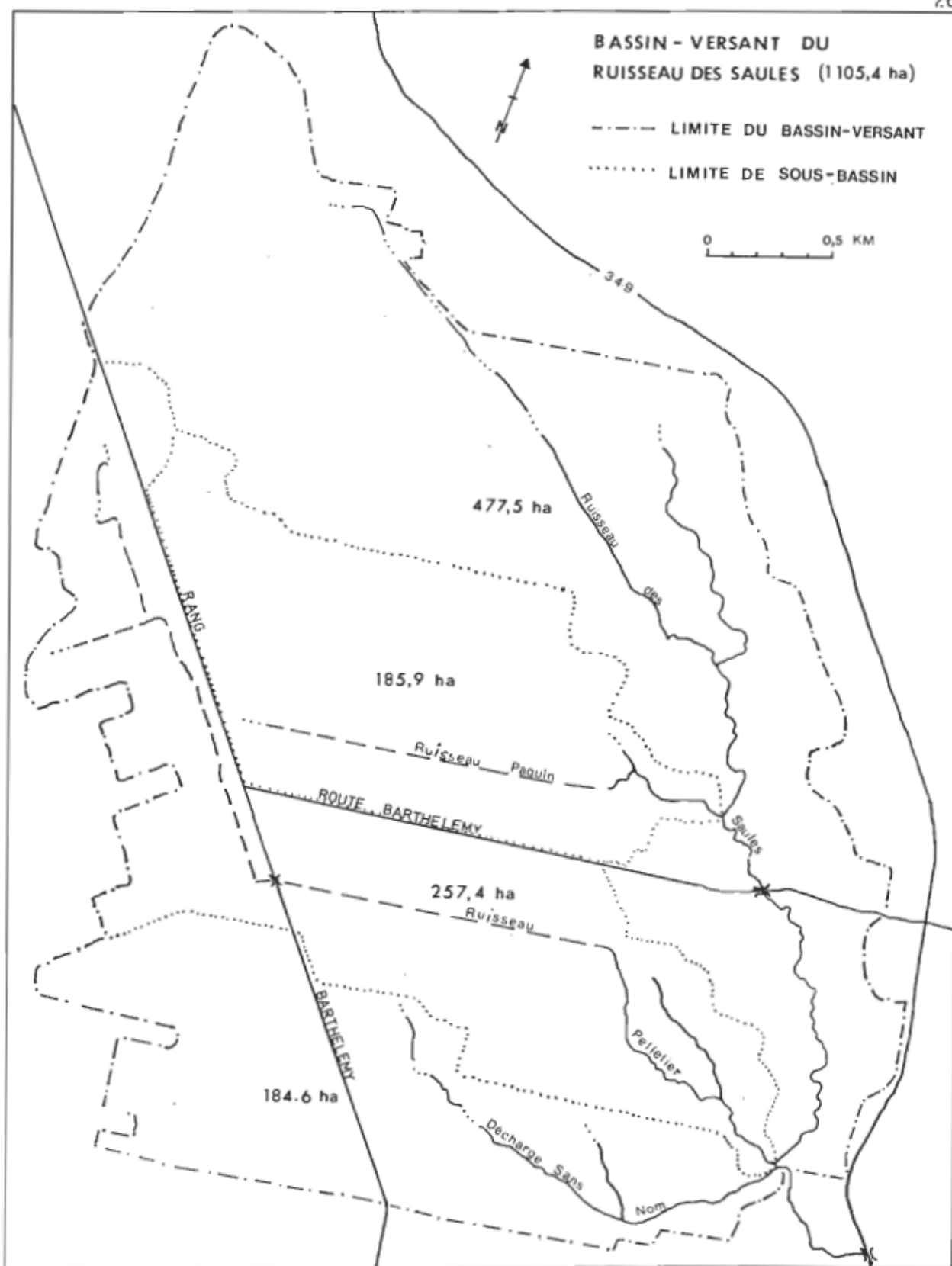
2.1.4 Hydrographie

Le ruisseau des Saules illustre très bien l'hydrographie générale de la région. Il s'insère dans la plaine argileuse et a développé un réseau de drainage dendritique. Chacun des affluents est fortement encaissé dans l'argile Champlain. Le ruisseau des Saules est alimenté par trois autres affluents: le ruisseau Paquin, le ruisseau Pelletier et la décharge Sans Nom. Ces cours d'eau drainent des bassins dont les proportions varient considérablement (figure 2).

2.1.5 La végétation

La végétation de la zone d'étude se répartie selon deux milieux distincts. D'abord, dans la zone cultivée on retrouve des cultures céréalières et fourragères ainsi que des zones de pâturages où le couvert végétal est maintenu à ras le sol.

Le second milieu se situe au niveau des zones riveraines. A première vue on y constate des zones perturbées en voie de recolonisation plus ou moins avancée selon les secteurs du bassin-versant. D'autres secteurs présentent des terres boisées principalement par des épinettes blanches et des peupliers faux-trembles.



Source: Lancery et al 1983

Figure 2: Hydrographie du bassin-versant du ruisseau des Saules

2.2 Le milieu humain

2.2.1 L'utilisation du sol

Soumise à l'agriculture depuis la fin du XVIII siècle, la région à l'étude est aujourd'hui spécialisée dans l'industrie laitière. On y fait aussi de la culture maïs-grain et une zone d'élevage d'ovins est présente dans le secteur.

Au niveau de l'utilisation du sol, les champs sont soit en culture soit en pâturage. Les zones riveraines sont, le plus souvent, laissées à elles-mêmes. Toutefois, à quelques endroits, les cultivateurs se servent de ces zones comme secteurs de pâturages pour le bétail. Cette technique a souvent comme conséquence le déclenchement de processus d'érosion dû au passage répété des animaux aux mêmes endroits.

2.2.2 Le drainage

Compte tenu de l'imperméabilité du sol et de la hauteur de la nappe phréatique, les agriculteurs ont dû, dès la mise en culture de ces terres, effectuer d'importants travaux de drainage superficiels sur l'ensemble du territoire. Cependant, celui-ci étant trop lent pour les besoins actuels, le drainage souterrain s'est développé rapidement à partir des

drainage souterrain s'est développé rapidement à partir des années 1970. Ce dernier est plus efficace pour évacuer l'eau des terres agricoles, principalement au printemps lors de la fonte de la neige. Ainsi, environ 50% du territoire est maintenant drainé par voies souterraines.

2.2.3 Les travaux mécanisés

Certains secteurs rendus innaccessibles par le ravinement et les glissements de terrain ont été nivelés afin de remettre en culture certaines zones jadis inutilisables.

Ce genre de travaux est exclusivement réalisé sur les sols de la série Rideau qui, comme nous l'avons mentionné, sont très marqués par l'érosion. Ainsi, ces sols ayant de très bonnes propriétés agronomiques constituent un attrait pour les agriculteurs. Cependant, de tels travaux ont des implications certaines. En effet, en nivelant le terrain à l'aide de machineries lourdes, on dérange le profil du sol et on risque d'amener à la surface les horizons inférieurs (B et C) qui sont moins riches en matières organiques et plus sensibles à l'érosion.

CHAPÎTRE 3

MÉTHODOLOGIE

L'objectif de cette étude est de localiser les zones du bassin-versant du ruisseau des Saules où, jusqu'à présent, l'érosion a été la plus importante. Aussi, il s'agit de voir si l'érosion qui s'est produite au cours d'une année d'échantillonnage reflète ce qui s'est passé pendant les périodes antérieures. Dans un dernier temps, il faut savoir quels sont les facteurs qui causent cette érosion. Pour ce faire, la campagne d'échantillonnage et de relevés s'est déroulée selon cinq volets, soient: l'analyse de photographies aériennes, la cueillette d'échantillons d'eau, l'analyse des champs, l'étude des zones riveraines et l'analyse des composantes hydrographiques des cours d'eau.

3.1 Analyse des photographies aériennes

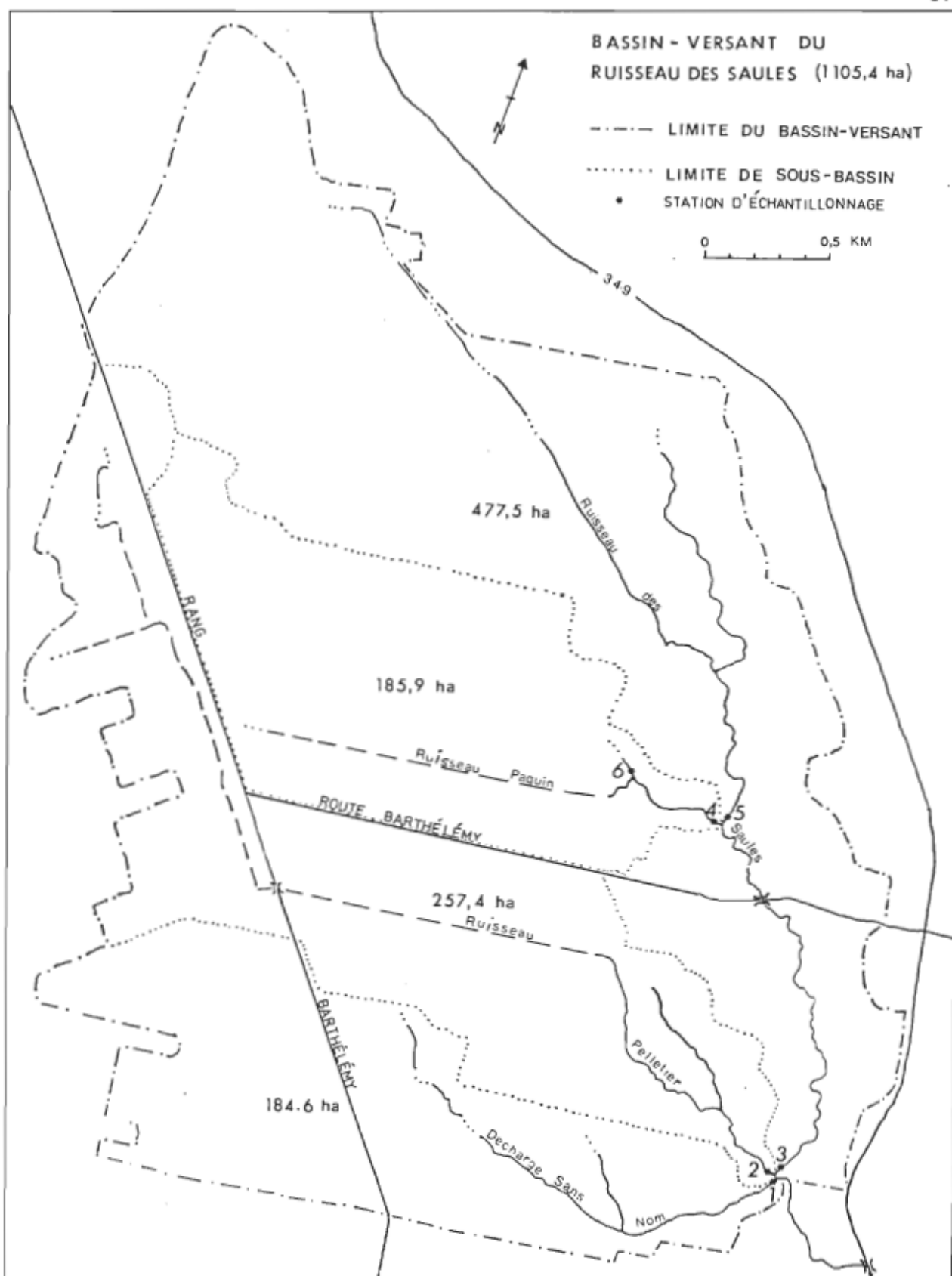
Ce volet a pour but de localiser les secteurs du bassin-versant les plus morcelés par l'érosion. Pour ce faire, l'analyse de photographies de diverses années est effectuée. Par celles-ci, trois éléments principaux sont localisés et mesurés, soit: les zones de ravinement, celles de glissements de terrain et les déplacements des cours

d'eau. Les photographies aériennes utilisées sont celles de 1948 (A-11360 - 57,58, 1: 7000) et de 1982 (Q82319 - 143, 144, 1:6500). Les quelques 34 années qui séparent ces deux séries permettent d'évaluer les pertes de terrains dûes à l'érosion. D'autres photographies prises en 1964, 1977 et 1980 aident à découvrir les zones les plus sensibles du bassin-versant du ruisseau des Saules.

Cette partie de la recherche s'avère un élément important dans la connaissance de l'érosion effective depuis ces dernières décénies. Il est ensuite possible de comparer ces résultats avec ceux obtenus pendant la période d'échantillonnage.

3.2 La cueillette d'échantillons d'eau

Lors de cette étape, il s'agit de recueillir périodiquement des échantillons d'eau afin d'en mesurer la concentration en mg/l de matières en suspension pour les divers affluents du ruisseau des Saules. Pour chaque échantillonnage, deux prélèvements étaient effectués à l'aide d'un sac en plastique (300 ml) à dix centimètres du fond. On compte six stations d'échantillonnage réparties dans le bassin de façon à pouvoir évaluer le matériel transporté dans chaque affluent (figure 3). Les stations 1 à 5 sont localisées à l'exutoire des sous-bassins-versants. La station 1 corres-



Source: Lancery et al 1983

Figure 3: Localisation des stations d'échantillonnage d'eau

pond à la décharge Sans Nom, la 2 au ruisseau Pelletier, la 3 au ruisseau des Saules (en aval), la 4 au ruisseau Paquin et la 5 au ruisseau des Saules (en amont). Ces stations sont localisées afin de pouvoir comparer les sédiments transportés par chacun des ruisseaux. Ensuite, nous tentons d'expliquer les différences à partir de diverses caractéristiques des sous-bassins respectifs des stations. La station 6 est située à la tête du ruisseau Paquin dans le but de voir l'augmentation de matières en suspension dans l'eau entre l'amont (station 6) et l'aval (station 4).

La période d'échantillonnage est subdivisée en deux séquences. La première correspond à la période des crues printanières. Elle s'étend du 6 avril au 14 mai 1985 et comporte 10 journées d'échantillonnage. Au cours de cette période, les relevés étaient effectués deux à trois fois par semaine. Ceci pour connaître l'évolution dans le transport de sédiments pendant la période de la fonte des neiges.

La seconde séquence fût réalisée entre le 30 septembre et le 21 novembre 1985 afin de voir l'érosion qui se produisait pendant l'automne où les pluies sont plus abondantes.

La période estivale n'a pas été échantillonnée puisque l'écoulement de surface des cours d'eau est très faible pendant cette période.

Ces échantillons d'eau étaient ramenés au laboratoire pour filtration à l'aide de filtres Gelman 41 d'une porosité de 0,04 microns, préalablement pesés. Ces derniers étaient séchés à l'étuve pendant 24 heures à 105°C puis pesés à nouveau. La différence entre les poids initial et final permettait de connaître la masse de matière en suspension selon le volume initial filtré que l'on transposait en mg/l.

Il faut noter ici qu'il aurait été préférable et très utile que les échantillons d'eau soient accompagnés de mesures de débit pour chaque station. On aurait pu ainsi connaître les débits solides et les transformer en tonnes/hectare/an, tel Anderson (1954) ou Hamlett (1984). Toutefois, de telles mesures exigent beaucoup de temps et de déplacements, sinon une instrumentation coûteuse dont nous ne disposons pas. Nous avons tout de même fait quelques mesures de débit, au printemps, mais sans doute trop peu pour que ce soit significatif.

3.3 Étude des champs cultivés

La seconde composante de la campagne de prélèvements consistait en l'analyse des champs cultivés. Ceux-ci étant des sources potentielles de départ de sédiments par ruissellement, il fallait voir la variabilité des facteurs pédologiques et topographiques à l'intérieur du bassin du Ruisseau des Saules. Il s'agissait de recueillir des échantillons de sol dans chaque champ et d'y mesurer la pente.

Afin d'obtenir un échantillonnage le plus fidèle possible, nous avons procédé en effectuant un pointage sur environ 90% du territoire à l'étude. Ce quadrillage était fait de façon à recueillir trois échantillons par lot. Ainsi, 283 prélèvements furent effectués.

L'échantillonnage se faisait à l'aide d'une tarière de type Oakfield dans les 15 premiers centimètres de sol tel Anderson (1954). Une dizaine de prélèvements étaient effectués pour chaque échantillon. Ensuite, on prenait une mesure de pente sur chaque champ à l'aide d'un clinomètre. Finalement, outre les échantillons de sol et les autres relevés, nous observions aussi le terrain. C'est-à-dire que nous examinions l'extrémité des champs et les bords des fossés afin de voir s'il n'y avait pas des formes d'érosion,

ou encore des indices nous permettant de dire qu'il y avait de l'érosion en nappe ou en rigole sur les terres cultivées.

Les échantillons de sol étaient ramenés au laboratoire pour fin d'analyses granulométriques par densimétrie selon la méthode de Boyoucos (A.S.T.M., 1980) et de matières organiques selon la méthode Walkley-Black (O'Grady, 1978). Ces analyses ont pour but, d'une part, de séparer les fractions sableuses, limoneuses et argileuses et d'autre part, de mesurer le pourcentage de matières organiques contenu dans l'horizon A (0 à 15 centimètres selon Godbout, 1962), couche soumise à l'action érosive des pluies et du ruissellement.

Cet échantillonnage a permis d'acquérir une connaissance précise des terres cultivées pour chacun des sous-bassins. Par l'interprétation de ces données, nous tenterons d'évaluer l'influence de la texture du sol et du pourcentage de matières organiques sur les concentrations de matières en suspension dans les divers affluents, et ce, pour les deux saisons qui nous concernent. Rappelons que Wischmeier et al (1972) considèrent ces variables très importantes dans le calcul de l'érodabilité des terres.

3.4 Relevés sur les berges et les zones riveraines

Les berges des cours d'eau peuvent contribuer considérablement dans la présence de matières en suspension dans les ruisseaux. Il fallait tenir compte de ce facteur. La méthode utilisée devait permettre l'inventaire des berges susceptibles de favoriser le départ de matériel vers le cours d'eau.

Pour ce faire, il s'agissait de faire l'inventaire des berges dénudées sur chaque affluent du territoire étudié, ces zones étant susceptibles de contribuer pour une large part dans la présence de sédiments dans l'eau des ruisseaux. Pour chacune de ces zones, la pente (degrés), la dénivellation (m) et la surface (m²) étaient mesurées. La pente était mesurée à l'aide d'un clinomètre, la dénivellation à l'aide d'un altimètre et la surface par un télémètre. Cette stratégie a été mise de l'avant dans le but de voir l'influence de ces variables sur les quantités de solides en suspension dans les cours d'eau.

3.5 Les caractéristiques géomorphologiques et hydrographiques des sous-bassins-versants

Ce dernier volet a été réalisé dans le but de connaître les composantes géomorphologiques et hydrographiques des

bassins qui pourraient affecter le transport de sédiments. A partir de cartes topographiques et de photographies aériennes, les variables suivantes ont été mesurées: superficie et pente des bassins-versants, pentes des cours d'eau, densité de drainage et pourcentage des terres drainées souterrainement.

3.6 Traitements statistiques des données

Des tests statistiques sont utilisés lors de l'analyse des résultats. D'abord, des tests de T et des analyses de variances sont utilisés pour comparer des bassins pour chaque variable. Ensuite, par des régressions simples, sont examinées les relations entre les diverses variables étudiées. Puis finalement, nous tentons de définir des modèles par des régressions multiples. Ces analyses sont effectuées à l'aide du logiciel SPSSX et le choix de ces tests est guidé par la lecture de Doornkamp et al (1971), Sherrer (1984) et Zar (1974).

CHAPÎTRE 4

LES RÉSULTATS

Dans cette partie de l'étude, il s'agit de présenter les résultats obtenus lors des diverses étapes de la campagne de relevés et d'échantillonnage. Après avoir brossé un tableau de l'érosion produite entre 1948 et 1982, les résultats d'échantillonnage d'eau sont étudiés. Ensuite, il est question des relevés effectués dans les champs et sur les zones riveraines. De même, les résultats relatifs aux composantes géomorphologiques et hydrographiques sont présentés. Dans un dernier temps, les liens entre les variables sont mesurés par des analyses statistiques.

4.1 Étude de l'érosion par photographies aériennes

4.1.1 Les zones érodées entre 1948 et 1982

A première vue, l'examen des photographies aériennes de 1948 et 1982 laisse voir que le paysage présente la même physionomie générale d'une photo à l'autre. Pour ces deux années, les ruisseaux sont fortement encaissés dans la

plaine argileuse. Les versants sont, dans les deux cas, caractérisés par de fortes pentes. Cependant, à la tête des ruisseaux, les dénivellations semblent plus importantes en 1982 qu'en 1948.

Certains éléments démontrent que le territoire a subi des modifications notoires au fil des ans. Au niveau des surfaces érodées, le tableau 3 présente les superficies de terre rendues inutilisables pour l'agriculture par l'érosion. Le critère pour identifier ces surfaces est leur inaccessibilité pour les machines aratoires. Ces résultats proviennent de l'analyse de quatre séries de photographies prises en 1948, 1964, 1977 et 1982. Le territoire a été subdivisé en quatre secteurs (figure 4).

L'examen des résultats rend compte des variabilités temporelles des surfaces impropres à la culture. En effet, ces quatre zones laissent voir des fluctuations de surfaces entre les années. Celles-ci s'expliquent par le fait que les travaux mécanisés permettent de remettre en culture certaines zones jadis inaccessibles. Ces ouvrages compensent pour les terres perdues ailleurs dans une autre partie d'un même secteur. Par exemple, le secteur 2, dont fait partie le ruisseau Pelletier, démontre une certaine régularité entre les quatre années. Cela se produit malgré le fait que des travaux mécanisés ont permis de récupérer

Tableau 3

Superficies érodées en m² dans le bassin-versant du ruisseau des Saules (1948, 1964, 1977, 1982)

Secteur *	Année			
	1948	1964	1977	1982
1	240 944	168 096	154 544	175 122
2	178 130	174 268	184 816	181 022
3	107 833	118 891	101 112	104 531
4	58 996	64 282	58 740	49 716
Total	585 903	525 537	499 212	510 391

* Les secteurs sont localisés à la figure 4.

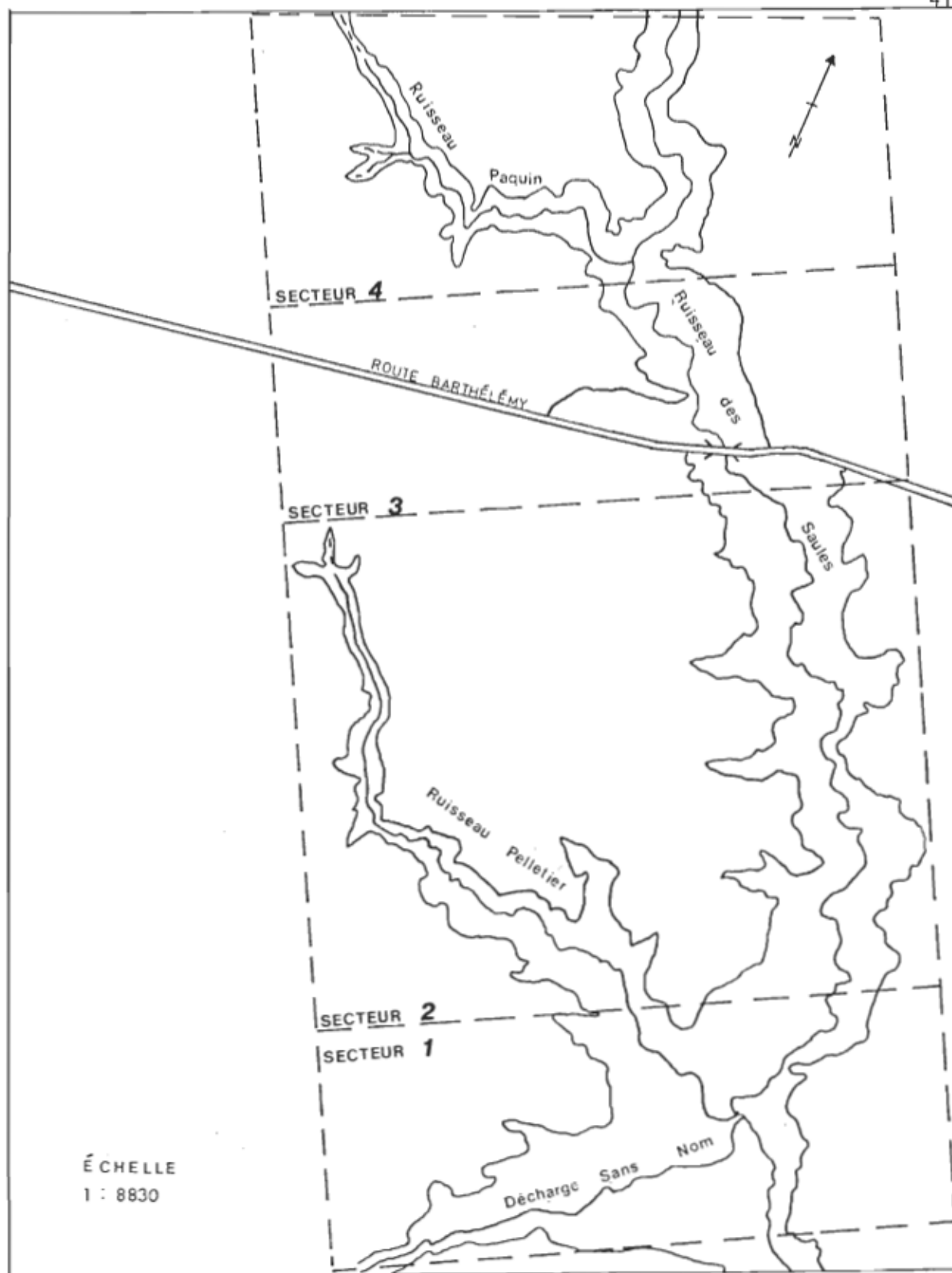


Figure 4: Localisation des secteurs de mesures des zones érodées

prés de 15 000 m² de terres cultivables. Or, sur cet affluent, pendant la même période, il s'est produit des glissements de terrain successifs, ce qui vient augmenter la quantité de terres érodées.

En somme, malgré une érosion apparente à plusieurs endroits dans le bassin, le total des terres inutilisables tend à diminuer en passant de 58,6 ha en 1948 à 51,0 ha en 1982. Cette situation témoigne de l'importance des travaux mécanisés effectués sur le territoire étudié.

Dans le même ordre d'idée, la figure 5 démontre l'évolution du bassin du ruisseau des Saules entre 1948 et 1980. Sur cette carte, sont représentées les zones érodées, celles remises en culture, de même que les modifications du tracé des cours d'eau survenues entre ces deux années.

Au niveau des zones érodées, le ruisseau Pelletier présente des surfaces relativement importantes. C'est sur cet affluent que sont apparus les glissements de terrain les plus spectaculaires. D'ailleurs, les visites sur le terrains de 1985 et 1987 ont permis de constater que la zone de glissement de terrain se prolonge vers l'amont. Ceci démontre une très grande instabilité des versants sur cet affluent. Les rives droites des décharges Sans Nom et Paquin de même que la partie amont du ruisseau des Saules

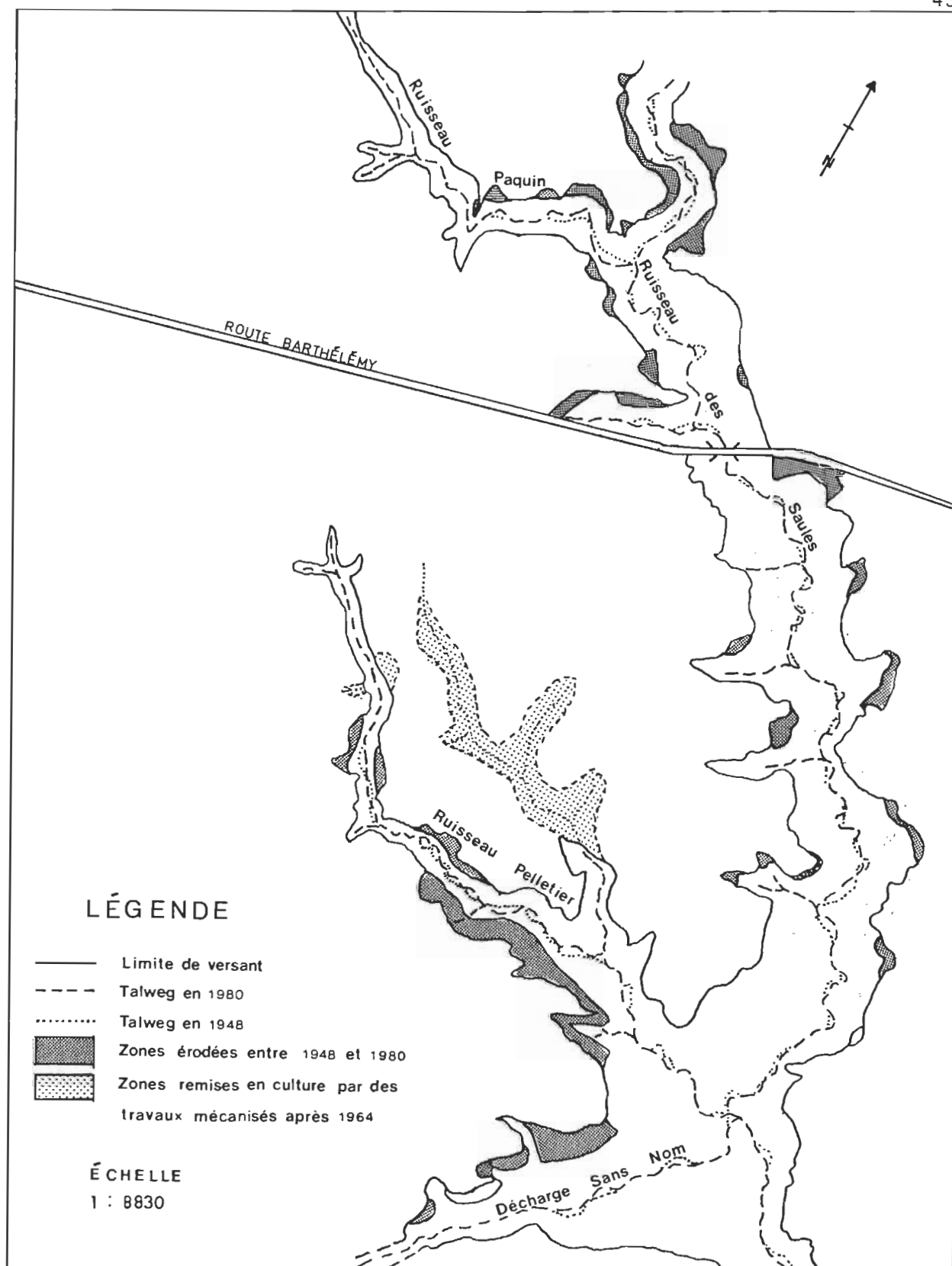


Figure 5: Evolution du bassin-versant du ruisseau des Saules
1948 - 1980

sont aussi des zones où les pertes de terrain sont considérables.

Un autre élément intéressant à constater est le changement du tracé des cours d'eau. Rappelons que les ruisseaux à la recherche d'un profil d'équilibre vont modifier leur tracé. Les forces érosives dégagées de l'écoulement provoquent une érosion des berges et du lit du cours d'eau (Derruau, 1974). Ainsi, un cours d'eau dont le tracé est constamment modifié sera un bon indicateur de l'érosion effective dans le talweg. La figure 5 témoigne des modifications des talwegs entre 1948 et 1980. Dans l'ensemble, tous les cours d'eau du bassin démontrent des modifications évidentes. Entre autres, le ruisseau Pelletier laisse voir des changements importants sur toute sa longueur. A certains endroits sur cet affluent, le déplacement du lit est de près de 12 m. De même, dans le ruisseau Paquin et dans la partie amont du ruisseau des Saules, des modifications significatives apparaissent.

4.1.2 Le pâturage en zones riveraines

Tel que mentionné au point 1.3.2, la présence de bétail qui pâture en zones riveraines a souvent pour effet le déclenchement de processus d'érosion dû à leur passages répétés aux mêmes endroits. Il se forme alors des sentiers

où est concentré le ruissellement de surface. Par l'analyse de photographies aériennes, de telles zones ont été décelées sur les ruisseaux des Saules et Paquin. Parmi celles-ci, une a particulièrement attiré l'attention, vue l'importance des sentiers pouvant y être observés. Elle se situe sur le ruisseau des Saules, juste en amont du pont de la route Barthélémy (figure 5). Une visite sur le terrain a permis de mieux l'évaluer.

Afin de mesurer l'ampleur de ce phénomène, une surface de 1944 m^2 ($36 \times 54 \text{ m}$) fût délimitée. Les sentiers présents dans ce périmètre ont été inventoriés afin d'en mesurer certaines caractéristiques, soit: la longueur, la largeur, la profondeur, la pente, l'orientation par rapport à la berge et la compaction du sol. Pour cette dernière variable, un pénétromètre de type C7-700 (Soiltest Inc.) est utilisé. Cet appareil permet de mesurer la force de confinement du sol par la résistance qu'il offre à sa pénétration. Or, le sol des sentiers est si compacte que la résistance du sol dépasse la capacité de l'appareil, soit 5 kg/cm^2 . C'est pourquoi les valeurs obtenues à l'aide de cet appareil n'apparaissent pas au tableau 4 où sont présentés les résultats.

Tableau 4

Caractéristiques des sentiers d'animaux en amont du pont de la route Barthélémy sur le ruisseau des Saules

Sentier	Pente (°)	Longueur (m)	Largeur (cm)	Profondeur (cm)
<u>Perpendiculaire</u>				
1	15	23,4	60	11,6
2	16	28,8	73	15,3
3	17	11,1	61	15,6
4	22	4,8	73	21,2
6	9,5	20,4	69	9,7
8	21	6,1	58	4,7
13	15,5	2,3	79	10,2
-- x --	16,6	13,8	65,7	12,6
<u>Oblique</u>				
7	12	12,4	44	5,8
9	15	18,2	78	7,5
11	12	12,2	56	5,1
16	11	11,1	49	8,3
17	10	27,1	66	13,1
-- x --	12	16,2	58,6	8,0
<u>Parallèle</u>				
5	1,5	9,1	44	6,5
10	1,5	34,3	54	6,9
12	7	8,1	36	5,8
14	4	41,2	54	11,5
15	5	9,0	62	5,0
-- x --	3,8	20,3	50	7,1
x total	11,5	16,5	59,8	9,6
σ total	6,2	11,1	12,4	4,6

Ce tableau dégage trois types d'orientation pour lesquelles les autres variables des sentiers sont mesurées. Des 17 sentiers inventoriés, sept sont perpendiculaires au cours d'eau, cinq obliques et cinq parallèles.

Les valeurs de pente, de largeur et de profondeur du groupe perpendiculaire sont plus élevées que celles des autres orientations. Ceci peut s'expliquer du fait que lorsque la pente est élevée, le ruissellement est plus important, ce qui provoque un enfoncement et un élargissement du sentier. D'ailleurs, en réalisant des tests de corrélation entre les valeurs de ces trois variables, on obtient des coefficients significatifs (tableau 5). Cela démontre que sur les pentes plus fortes, le départ de matériel peut être plus important.

La surface totale occupée par ces sentiers est de 162,4 m². Cette valeur correspond à près de 8,4% de la surface déterminée préalablement, soit 1944 m².

Aussi, au pied de ces sentiers, on a remarqué des accumulations de matériel en forme de delta, dont la largeur à la base varie de un à trois mètres. Ce matériel, près de la berge, pourra être pris en charge par le cours d'eau lors de la crue printanière et être acheminé vers l'aval.

Tableau 5

Corrélations significatives ($p \leq 0,05$) entre les paramètres des sentiers d'animaux

Variables	Valeur de r
Pente - profondeur	0,48
Pente - largeur	0,53
Largeur - profondeur	0,51

Toutefois, il demeure difficile d'évaluer l'apport de ces zones, considérant le peu de surface qu'elles affectent. Cependant, ces constatations démontrent que le pâturage en zones riveraines peut déclencher certains processus d'érosion. Ces sentiers peuvent, à moyen terme (5 à 10 ans) prendre plus d'ampleur et donner naissance à un réseau de petits ravins.

4.2 Les solides en suspension dans les cours d'eau

4.2.1 Echantillonnage au printemps

Les résultats de cette période d'échantillonnage apparaissent au tableau 6. L'examen de ces données démontre que les concentrations de solides en suspension varient beaucoup dans l'espace et dans le temps. La station 6 étant un site amont, elle ne sera pas comparée aux autres, du moins, dans les lignes qui suivent.

Sur le plan temporel, la plupart des stations atteignent les maximums au cours des premiers échantillonnages, entre les 6 et 11 avril 1985. Cette période correspond aux crues maximales de la saison en cours. Les résultats tendent à diminuer pour le reste de la période.

Tableau 6

Concentrations des matières en suspensions (mg/l) au printemps 1985 dans les six stations d'échantillonnage

Date	Stations d'échantillonnage					
	1	2	3	4	5	6
6 avril	744	6 928	791	695	797	174
8 avril	105	3 884	300	766	731	94
9 avril	382	9 134	210	***	877	116
11 avril	589	7 158	170	66	55	101
18 avril	520	5 378	246	298	492	48
20 avril	151	127	***	54	85	32
25 avril	389	4 964	52	48	44	16
3 mai	14	186	27	37	20	13
6 mai	17	22	21	13	36	***
14 mai	87	89	44	52	42	45
Moyenne (\bar{x})	299,8	3 787	206,8	225,4	317,9	71,0
Ecart-type (σ)	260,6	3 463,4	242,4	298,9	344,4	53,8

*** Données manquantes

La station 2 est celle qui présente les plus fortes concentrations. Dans six des dix journées d'échantillonnage, les concentrations varient de 3884 à 9134 mg/l, alors que les valeurs maximales des autres stations n'allaient guère au-dessus de 800 mg/l. Cette grande disparité s'explique par la présence d'un important glissement de terrain observé à la tête du ruisseau Pelletier. Cette zone couvre une superficie d'environ 0,95 hectare et s'étend sur une centaine de mètres le long du cours d'eau.

La masse décrochée était descendue dans le talweg et pour circuler, le cours d'eau a dû modifier son tracé afin de contourner les blocs d'argile disposés sur son parcours.-

Par ce processus, il se produisait une forte augmentation des sédiments en suspension dans l'eau entre l'amont et l'aval de ce glissement. Des échantillons nous ont permis de constater que la concentration passait de 234 à 8 510 mg/l sur une distance d'environ 100 m.

Mise à part la station 2, on observe une certaine similarité entre les concentrations des autres stations. D'ailleurs, une analyse de variances menée sur les résultats de cinq stations démontrent que seuls les résultats de la station 2 sont différents ($p \leq 0,05$) des autres.

Afin de vérifier l'existence de patrons communs au

niveau du comportement saisonnier des ruisseaux, des régressions simples furent réalisées entre les résultats de chaque station (tableau 7). Parmi les dix régressions réalisées, six sont significatives. Malgré les grandes différences de concentrations entre les stations 2 et 1 puis 2 et 5, il existe des liens significatifs manifestés par des coefficients de 0,821 ($p \leq 0,004$) et de 0,673 ($p \leq 0,038$). A l'inverse, certaines stations, considérées similaires par l'analyse de variances, présentent des patrons différents au niveau du comportement; par exemple, les relations 1-4 et 1-5 ne présentent aucun lien significatif.

4.2.2 Échantillonnage à l'automne

Les résultats de cette campagne sont présentés au tableau 8. A première vue, les concentrations des sédiments en suspension sont moins fortes qu'au printemps. Cependant, il ne semble pas y avoir, là non plus, de grands écarts entre les ruisseaux, sauf pour la station 5 dont la moyenne double celle des autres.

Cette augmentation de la station 5, surtout vers la fin de la période d'échantillonnage, s'explique du fait qu'un glissement de terrain d'environ 350 m², juste en amont de la station, est venu alimenter le cours d'eau de son matériel de départ. L'analyse de variance menée sur les cinq

Tableau 7

Coefficients de corrélation des concentrations de matières
en suspension au printemps 1985 pour les stations 1 à 5

		Stations				
Stations		1	2	3	4	5
1	r		0,821	0,693	0,356	0,440
	n		10	9	9	10
	p		0,004	0,038	0,348	0,203
2	r			0,539	0,494	0,673
	n			9	9	10
	p			0,134	0,167	0,033
3	r				0,817	0,729
	n				8	8
	p				0,013	0,026
4	r					0,975
	n					9
	p					0,000

Tableau 8

Concentrations des matières en suspension (mg/l) à l'automne 1985 dans les six stations d'échantillonnage

Date	Stations d'échantillonnage					
	1	2	3	4	5	6
30 septembre	46	22	72	18	38	72
1er octobre	43	15	17	41	67	82
2 octobre	59	38	59	86	79	75
10 octobre	80	39	70	302	248	271
25 octobre	34	248	151	63	66	60
6 novembre	132	81	199	279	621	229
7 novembre	53	60	60	22	31	29
21 novembre	22	295	307	54	894	52
Moyenne (\bar{x})	58,7	99,8	116,7	108,1	255,5	108,8
Ecart-type (σ)	34,3	108,7	96,2	114,8	325,5	89,4

stations ne distingue aucune différence significative entre elles. Donc, on ne peut pas affirmer qu'un ou l'autre des affluents transportent plus de matériel que d'autres. Du moins pendant cette période d'échantillonnage.

Les régressions portant sur les résultats automnaux démontrent l'existence de trois liens significatifs entre les stations (tableau 9). On constate que des relations qui étaient non significatives au printemps, le deviennent à l'automne. Par exemple, les stations 1 et 4 ne démontraient pas de comportements similaires au printemps ($r = 0,356$, $p \leq 0,348$) alors qu'à l'automne, on observe un lien significatif ($r = 0,813$, $p \leq 0,014$). La même chose se produit pour les stations 2 et 3 alors que le coefficient de corrélation passe de 0,539 à 0,836. Le seul lien significatif pour les deux saisons est celui des stations 3 et 5. Cela s'explique facilement puisque ces stations sont localisées toutes deux sur le ruisseau des Saules. Ainsi, les cours d'eau ne réagissent pas tous de la même façon lors des deux régimes hydrologiques concernés.

4.2.3 Comparaison printemps - automne

Afin de comparer les résultats de ces deux saisons, le tableau 10 met en relation les moyennes obtenues lors de ces deux séquences d'échantillonnage. Les tests de T effectués

Tableau 9

Coefficients de corrélation entre les concentrations de matières en suspension à l'automne 1985 pour les stations 1 à 5

		Stations				
Stations		1	2	3	4	5
1	r		-0,421	-0,015	0,813	0,190
	n		8	8	8	8
	p		0,300	0,972	0,014	0,653
2	r			0,837	-0,169	0,577
	n			8	8	8
	p			0,009	0,689	0,135
3	r				0,130	0,898
	n				8	8
	p				0,759	0,002
4	r					0,345
	n					8
	p					0,402

Tableau 10

Comparaison printemps-automne des moyennes des sédiments en suspension (mg/l) par station

	Stations					
	1	2	3	4	5	6
\bar{x} printemps	299,8	3 787,0	206,8	225,4	317,9	71,0
σ printemps	260,6	3 463,4	242,4	299,0	363,0	53,8
\bar{x} automne	58,6	99,8	116,9	108,1	255,5	108,8
σ printemps	34,3	108,7	96,2	114,8	325,5	89,4
$\frac{\bar{x} \text{ automne}}{\bar{x} \text{ printemps}} \times 100$	19,7	2,6	56,5	48,0	80,4	153,2
Valeur T	2,58	2,99	0,98	1,04	0,38	-1,06
P	0,020	0,009	0,342	0,314	0,710	0,305

pour comparer les moyennes des deux saisons démontrent que seules les stations 1 et 2 présentent des moyennes significativement différentes. Les autres sont considérées similaires. Toutefois, le rapport x automne/ x printemps permet de voir que, mis à part la station 6, les ruisseaux transportent à l'automne de 2,6% à 80,4% de la valeur printanière. La station 6, quant à elle, exprime un fait intéressant. A cette station située à la tête du ruisseau Paquin, les concentrations automnales moyennes sont plus élevées que celles du printemps (108,8 et 71,0 mg/l). Nous traiterons plus longuement de ce phénomène lors de la comparaison des stations amont et aval du ruisseau "Paquin".

4.2.4 Comparaison entre l'amont et l'aval

Le choix de la station 6 avait lieu dans le but de connaître la quantité de sédiments transportés à un site où la contribution des berges était limitée. En amont de ce site, les berges étaient stables, bien soutenues par une végétation riparienne dense et caractérisées par des dénivellations faibles (moins de 2 m.). En comparant les résultats de cette station avec ceux de la station 4, située en aval, nous pourrions peut-être évaluer la contribution des berges dans les concentrations de la station d'aval comme l'ont fait Hamlett et al (1983) dans leurs études en Iowa.

La figure 6 expose le comportement de ces deux stations lors des saisons échantillonnées. Au printemps, il y a de bonnes différences entre les valeurs des premiers prélèvements de chaque station. Par la suite, leurs résultats respectifs se rapprochent davantage. Pour la saison automnale, c'est toute la séquence d'échantillonnage qui est similaire. Au tableau 11 sont indiquées les relations entre les stations 6 et 4.

Tout d'abord, on constate que les moyennes de sédiments en suspension ne varient pas de la même façon lors des deux saisons échantillonnées. Alors que la station 4 connaît une diminution de 52% entre le printemps et l'automne, la station 6 démontre une augmentation de 53%. Aussi, le rapport station 6/station 4 passe de 31,5% au printemps à 100,6% à l'automne. Ces constatations nous ont amené à faire des régressions entre ces deux stations. Les coefficients de corrélation calculés sont de 0,745 ($p \leq 0,034$) et de 0,974 ($p \leq 0,000$) pour le printemps et l'automne. Un test de Fisher-Student effectué entre ces deux indices démontre qu'ils sont significativement différents. Ainsi, le lien entre ces deux stations est plus fort à l'automne qu'au printemps. La différence entre les deux saisons est encore plus évidente lorsqu'on examine le coefficient de détermination (r^2). Alors que le r^2 du printemps montre que la station 6 explique 55,6% de la station 4, celui de

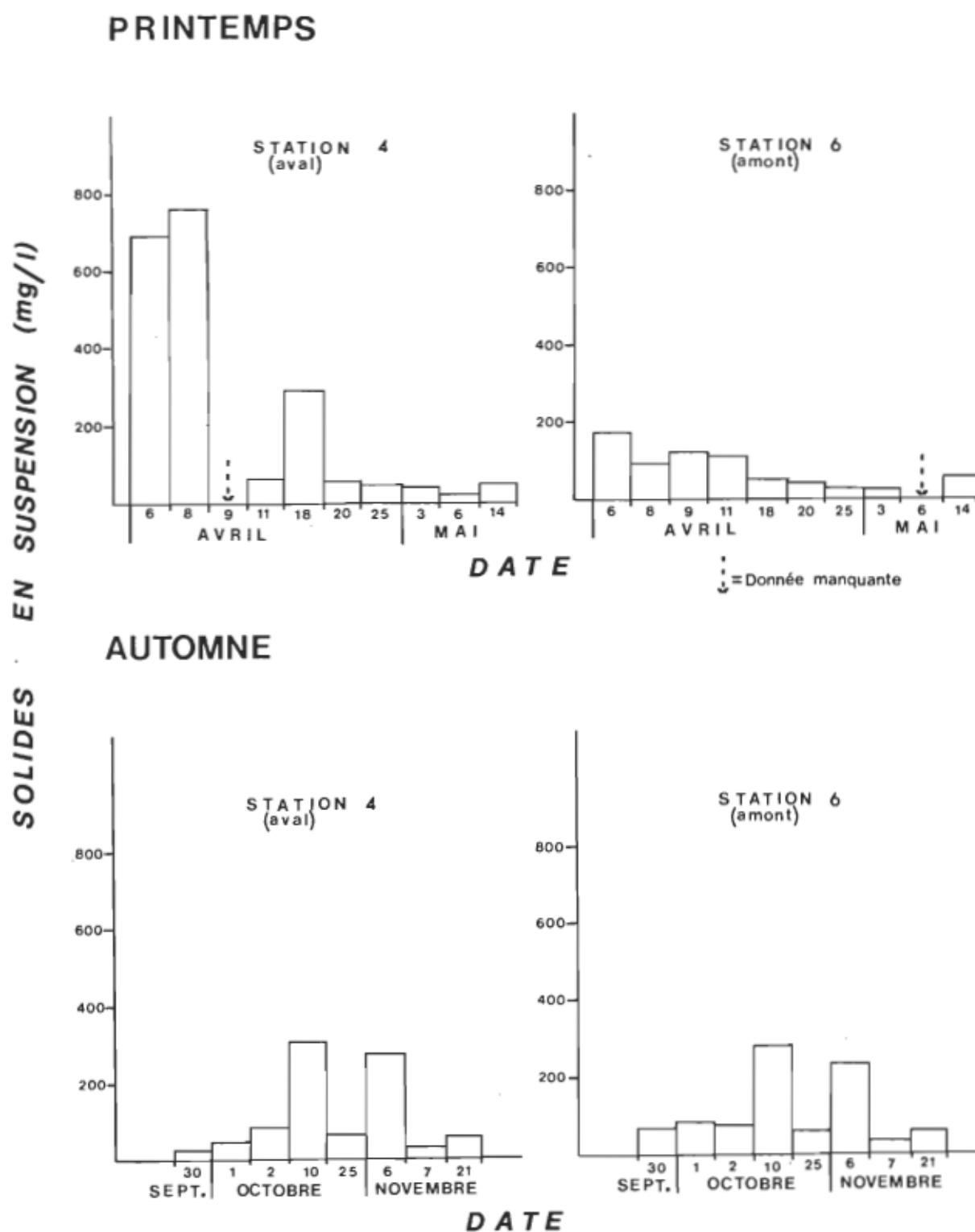


Figure 6: Solides en suspension pour les stations d'aval (4) et d'amont (6) sur le ruisseau Paquin pour le printemps et l'automne 1985

Tableau 11

Comparaison amont-aval des solides en suspension selon les saisons sur le ruisseau Paquin

Caractéristiques	Printemps	Automne
x station 4	225,44	108,12
σ station 4	295,95	114,82
x station 6	71,00	108,75
σ station 6	53,82	89,40
$\frac{\text{station 6}}{\text{station 4}} \times 100$	31,5%	100,6%
r entre stations	0,745	0,974
p	0,034	0,000
r ²	0,556	0,945

l'automne démontre que 94,5% de la valeur d'aval est expliquée par la valeur d'amont.

4.2.5 Les débits solides

Afin d'évaluer les charges solides transportées en suspension, des mesures de débit furent effectuées sur certains cours d'eau à divers moment de la période printanière d'échantillonnage (tableau 12).

Pour les stations 1 et 6, trois mesures de débit furent réalisées. L'examen des masses transportées en 24 heures, nous démontrent que les charges solides diminuent fortement avec l'évolution de la saison printanière. A la station 2, alimentée par le ruisseau Pelletier où s'est produit le glissement de terrain, on observe des charges très considérables. Si l'on considère que le poids spécifique de ce sol est de près de $2,5 \text{ g/cm}^3$, ces 202,85 tonnes métriques représentent l'équivalent en volume de $81,14 \text{ m}^3$.

4.3 Les précipitations

Avant de traiter des variables pédologiques et géomorphologiques pouvant affecter l'intensité de l'érosion, il est impératif de discuter d'abord des précipitations, facteur primordial dans l'étude l'érosion hydrique. Même si

Tableau 12

Charges sédimentaires en suspension pour 4 stations du bassin-versant du ruisseau des Saules (printemps 1985)

Station	Date	Débit (l/s)	Concentration (g/l)	Masse transportée en 24 heures (tonne métrique)
1	11 avril	230	0,589	19,870
	29 avril	20	0,389	0,670
	1er mai	15	0,030	0,039
2	11 avril	328	7,158	202,850
3	11 avril	325	0,170	4,177
6	10 avril	180	0,116	1,800
	20 avril	78	0,032	0,215
	25 avril	10	0,016	0,014

nous assumons le fait que les précipitations soient uniformes sur tout le bassin, vue sa petitesse, il est toutefois important d'examiner le comportement des pluies tombées pendant les périodes d'échantillonnage.

4.3.1 Les précipitations printanières

Au tableau 13 les précipitations tombées au printemps sont représentées. La station climatique de référence étant celle de Louiseville. Il est tombé en avril 60,0 mm d'eau, ce qui représente 91% de la normale climatique. De ce nombre, 59,2 mm sont tombés pendant la première moitié du mois. Si on divise la normale en deux pour savoir ce que représente la normale de la première moitié du mois, on obtient 30 mm. Donc, il est tombé, pendant la première moitié d'avril, 197% de la normale. Combinée à la fonte des neiges, cette situation revêt un caractère exceptionnel.

A la deuxième moitié de l'échantillonnage, il se produit le phénomène inverse. D'abord, pendant la seconde moitié d'avril, il n'est tombé que 0,8 mm de pluie, soit 1,2% de la normale. Puis, en mai, il n'est tombé que 24% de la normale climatique mensuelle, soit 16,9 mm. De plus, considérant que les échantillonnages de mai se sont déroulés

Tableau 13

Précipitations journalières (mm) pour les mois d'avril et mai 1985 pour la station climatique de Louiseville

Jours	Avril	Mai
1	8,2(neige)	
2		
3	2,6	
4	1,2(neige)	
5	10,8	
6	3,4	
7		
8		
9		
10	1,8	2,8
11		
12		
13	5,0(neige)	1,4
14	9,4	
15	14,4	0,4
16	2,4	0,8
17		
18		0,8
19		0,4
20		3,2
21		
22		
23		
24		
25		
26	0,8	0,7
27		0,4
28		
29		
30		0,8
31		5,2
Total	60,0	16,9
% de la normale	91%	24%

pendant les deux premières semaines, on constate qu'il n'est tombé que 4,2 mm de pluie, soit 11,9% de la normale pour cette période.

En somme, la séquence d'échantillonnage se subdivise en deux périodes, l'une pluvieuse correspondant à la première moitié d'avril pendant laquelle s'est effectué quatre échantillonnages. L'autre sèche, pendant laquelle six échantillonnages furent réalisés.

4.3.2 Les précipitations automnales

Contrairement à la saison printanière, les précipitations automnales correspondent davantage aux normales climatiques mensuelles. Des pourcentages respectifs de 114% et 84% pour les mois d'octobre et novembre le démontrent (tableau 14).

Au cours de la séquence automnale, les journées d'échantillonnage étaient choisies en fonction des précipitations. Chacune d'elles fût réalisée le lendemain où la journée même de précipitations importantes, sauf pour le 21 novembre où deux jours se sont écoulés entre la dernière pluie et l'échantillonnage. Il aurait été préférable de réaliser plus de journées d'échantillonnage mais certaines contraintes nous ont obligé à limiter nos déplacements.

Tableau 14

Précipitations journalières (mm) pour les mois d'octobre et novembre 1985 pour la station climatique de Louiseville

Jours	Octobre	Novembre
30 septembre	4,2	
1	17,0	
2		
3		
4		
5	12,0	18,4
6		2,4
7		
8		
9	6,8	
10	9,4	
11		
12	5,8	7,2
13	3,0	1,8
14		
15	8,6	
16		4,6
17		0,8
18		3,0
19		2,2
20		
21		
22		18,4
23		0,8
24	17,2	1,2
25		
26	2,6	
27		
28		
29		
30		
31		
Total	82,4	65,4
% de la normale	114%	84%

4.4 Analyse des champs

4.4.1 La texture du sol

Pour les analyses granulométriques, 74 échantillons furent analysés. L'objectif de ces analyses était de séparer les fractions sableuse, limoneuse et argileuse afin de définir les classes texturales des sols de chaque bassin. En examinant le tableau 15, on constate que les cinq sous-bassins se regroupent selon deux classes texturales: l'argile pour les bassins 1 et 2, puis le loam limono-argileux pour les bassins 3, 4 et 5.

Dans le but de mieux saisir les différences entre les sols de ces cinq bassins, des analyses de variance furent effectuées à partir des résultats de chaque échantillon de sol pour les trois fractions granulométriques.

Au niveau des sables, l'analyse de variance n'a révélé aucune différence significative. Toutefois, celles menées sur les pourcentages de limon et d'argile confirment les regroupements observés précédemment. Le territoire se divise donc en deux parties, le secteur sud qui comprend les bassins 1 et 2 et qui est argileux, puis la partie nord, limono-argileux, où les fractions limoneuses prennent plus d'importance.

Tableau 15

Granulométrie des champs par sous-bassin-versant

Variables	1	2	# Bassin 3*	4	5
Sable					
x(%)	17,6	13,7	20,0	18,4	20,6
σ	12,1	5,7	9,3	4,7	11,2
Limon					
x(%)	37,0	38,8	45,6	45,8	47,5
σ	5,9	3,5	7,5	5,6	6,8
Argile					
x(%)	45,5	47,5	34,6	35,8	32,4
σ	7,7	3,3	9,2	8,9	10,3
Classe texturale	Argile	Argile	Loam l. argi.	Loam l. argi.	Loam l. argi.
Nbre d'échan- tillons	9	6	59	25	24

* Le bassin 3 comprend les bassins 4 et 5.

4.4.2 La matière organique

Pour ce qui est de la matière organique, les 283 échantillons recueillis furent analysés. A partir de ces résultats, des moyennes pour chaque bassin furent calculées. En examinant le tableau 16, on s'aperçoit que le taux de matière organique ne varie pas beaucoup (5,51 à 6,02%). Si l'on compare ces valeurs avec celles de Godbout (1962), on s'aperçoit qu'elle correspondent à peu près à ce qu'elles devraient être. D'ailleurs, par l'analyse de variance, aucune différence significative n'a pu être décelée entre les valeurs des cinq sous-bassins-versants.

4.5 Les caractéristiques des berges

Ce volet de la campagne d'échantillonnage avait lieu dans le but de connaître à fond l'état des berges, source potentielle de sédiments pour les cours d'eau. Pour ce faire, trois variables étaient analysées: la surface des berges dénudées, leur pente et leur dénivellation. Ainsi, en parcourant les affluents, nous notions ces caractéristiques pour chaque zone dénudée de végétation.

Un indice de dénudation des berges fût établi pour la compilation des données de surface dénudées. Cet indice représente le total des surfaces dénudées (m^2) divisé par la longueur de l'affluent (m). Pour les deux autres variables,

Tableau 16

Pourcentage de matière organique par sous-bassin-versant

% de matière organique	# Bassin				
	1	2	3*	4	5
Moyenne(\bar{x})	6,02	5,51	5,53	5,77	5,62
Ecart-type(σ)	1,19	1,58	1,67	1,53	1,68
Nombre d'échantillons	27	45	211	67	120

* Le bassin 3 comprend les bassins 4 et 5.

ont été retenu les moyennes de pente et de dénivellation de toutes les surfaces dénudées de chaque affluent. Le tableau 17 présente les résultats obtenus.

L'indice de dénudation varie considérablement d'un bassin à l'autre. En effet, celui-ci passe de 1,52 pour le bassin 3 à 2,79 pour le bassin 2. On doit noter que le glissement de terrain dans la partie amont du ruisseau Pelletier (bassin 2) contribue pour une large part dans le total des berges dénudées pour cet affluent.

La pente, quant à elle, ne varie pas beaucoup d'un bassin à l'autre, sauf pour le ruisseau Pelletier où elle atteint 42,1°, soit environ quatre degrés de plus que les autres. Les dénivellations démontrent peu de variabilité d'un bassin à l'autre, sauf pour le bassin 5 qui présente une valeur moyenne légèrement plus élevée.

4.6 Les composantes hydrographiques

Cinq variables furent mesurées pour évaluer l'effet des composantes hydrographiques sur les sédiments en suspension. Il s'agit de la pente du cours d'eau (en %), la superficie des bassins (en hectares), le pourcentage des terres drainées par voies souterraines, la pente des bassins-versants (m/km) et la densité de drainage (m/ha). Cette

Tableau 17

Caractéristiques des berges pour chaque sous-bassin-versant

Variable	# Bassin				
	1	2	3*	4	5
Indice de dénuda- tion des berges (m ² /m)	1,98	2,79	1,52	1,82	1,67
Pente moyenne des berges	37,9°	42,1°	37,7°	38,1°	38,0°
Dénivellation moyenne des berges (m)	6,29	5,21	5,12	5,91	7,62

* Le bassin³ comprend les bassins 4 et 5.

dernière variable représente le rapport entre la longueur totale des chenaux encaissés (mètres) sur la superficie du bassin (hectares) tel que calculé par Berthold Baver (1980).

Le tableau 18 présente les résultats de ces cinq variables pour chacun des bassins. La pente des cours d'eau varie de 0,79% à 1,38%. Les superficies des bassins varient considérablement, rappelons cependant que le bassin 3 comprend les bassins 4 et 5. Quant aux superficies drainées par voies sous-terraines, seul le bassin 2, avec 35%, diffère des autres qui se maintiennent entre 47,55% et 59,40%. Pour les pentes des bassins-versants, le bassin 1 est inférieur aux autres avec un rapport de moins de 10 m/km. Finalement, la densité de drainage laisse voir des différences importantes entre les bassins, passant de 3,14 m/ha pour le bassin 5 à 5,90 m/ha pour le bassin 3.

L'examen de ce tableau ne permet pas de regrouper des bassins à partir de cinq variables. Nous tenterons, tout de même, de les mettre en relation avec d'autres variables et de voir si elles ont un effet sur le transport de sédiments.

4.7 Traitements statistiques des résultats

Le but du traitement mathématique est de mesurer les liens entre les différentes variables et d'expliquer les

Tableau 18

Valeurs des composantes hydrographiques par sous-bassin

Variable	Sous-bassins				
	1	2	3*	4	5
Pente du cours d'eau (%)	1,23	1,21	0,98	1,38	0,79
Superficie du bassin (hectare)	184,6	257,4	655,5	185,9	302,5
% des terres drainées souterrainement	59,4	35,0	47,5	49,8	53,4
<u>Dénivellation du bas.</u> longueur du bassin (m/km)	9,55	13,61	13,95	12,50	15,34
Densité des chenaux (m/ha)	4,05	3,23	5,90	4,67	3,14

* Le bassin 3 comprend les bassins 4 et 5.

différences entre les concentrations de sédiments en suspension dans les cours d'eau. Dans un premier temps, les liens entre les précipitations et les sédiments transportés de chaque ruisseau sont mesurés. Ensuite, nous tentons de voir les relations entre les variables liées au sol, aux berges et aux caractéristiques hydrographiques des sous bassins avec les sédiments en suspension par des régressions simples. Finalement, tout comme Anderson (1957) ou Van Vliet et al (1981), des régressions multiples sont effectuées afin de définir des modèles d'érodabilité des bassins. Les variables à expliquer (dépendantes) sont les concentrations de sédiments dans l'eau et les variables explicatives (indépendantes) sont celles liées aux sols, aux berges et aux caractéristiques hydrographiques des bassins-versants.

4.7.1 Relations entre les solides en suspension et les précipitations

Des régressions simples ont été calculées entre ces deux variables pour évaluer leur interrelation selon les deux saisons étudiées. Pour les précipitations, c'est la pluie tombée la journée précédant l'échantillonnage d'eau qui est retenue. Cette valeur est opposée au résultat de sédiments en suspension pour le calcul de la régression. Les résultats présentés au tableau 19 n'expriment pas, dans la plupart des cas, de relations directes entre les préci-

Tableau 19

Coefficients de corrélation entre les sédiments en suspension et les précipitations pour les six stations (printemps et automne 1985)

	Printemps	Automne
Station 1		
r (n)	0,635 (10)	0,526 (8)
r^2	0,403	0,277
p	0,049**	0,180
Station 2		
r (n)	0,331 (10)	0,101 (8)
r^2	0,110	0,010
p	0,350	0,812
Station 3		
r (n)	0,877 (9)	0,117 (8)
r^2	0,779	0,014
p	0,002**	0,783
Station 4		
r (n)	0,737 (9)	0,457 (8)
r^2	0,288	0,209
p	0,136	0,255
Station 5		
r (n)	0,392 (10)	-0,007 (8)
r^2	0,654	0,000
p	0,262	0,988
Station 6		
r (n)	0,740 (9)	0,324 (8)
r^2	0,548	0,105
p	0,023**	0,733

** Significatif $p \leq 0,05$

pitations et les sédiments en suspension. Parmi les douze corrélations calculées, trois seulement sont significatives. Elles surviennent toutes pendant la période printanière et concernent les stations 1, 3 et 6. Pour obtenir des relations plus fortes, il aurait fallu retenir les valeurs de précipitations tombées juste avant la cueillette d'échantillons d'eau. Nous discuterons plus longuement de ceci au chapitre suivant.

4.7.2 Relations entre les solides en suspension et les variables explicatives

Le tableau 20 présente la liste des variables dépendantes et indépendantes utilisées lors du traitement des données. Quatre variables dépendantes sont retenues: solides en suspension au printemps, solides en suspension à l'automne (pris globalement), solides en suspension à l'automne (valeurs maximales) et solides en suspension à l'automne (valeurs minimales). Chacune de ces variables fut mise en relation avec les douze variables explicatives préalablement analysées.

Les analyses par régressions simples donnent certains résultats significatifs (tableau 21). Au printemps, quatre variables ont un lien significatif avec les sédiments en suspension. Au niveau de la granulométrie, le

Tableau 20

Liste des variables dépendantes et indépendantes et leur abréviation

Variable	Unité de mesure	Abréviation
<u>Variables dépendantes</u>		
Solides en suspension au printemps	mg/l	Sedpr
Solides en suspension à l'automne (globalement)	mg/l	Sedat
Solides en suspension à l'automne (valeurs maximales)	mg/l	Semax
Solides en suspension à l'automne (valeurs minimales)	mg/l	Semin
<u>Variables explicatives</u>		
Taux de sable dans le sol	%	Tsab
Taux de limon dans le sol	%	Tlim
Taux d'argile dans le sol	%	Targ
Taux de matière organique	%	Mato
Indice de dénudation des berges	m ² /m	Idénu
Pente moyenne des berges	degrés	Pebe
Dénivellation des berges	m	Debe
Pente du cours d'eau	%	Penco
Superficie du bassin	ha	Subas
Pourcentage du bassin drainé par voies souterraines	%	Soute
Pente du bassin-versant	m/km	Penba
Densité de drainage	m/ha	Chde

Tableau 21

Coefficients de corrélation entre les variables dépendantes
et indépendantes

Variables indépendantes	Sedpr	Variables dépendantes Sedat	Semax	Semin
Tsab	-0,8961 (0,015)*	0,5546 (0,161)	0,4799 (0,202)	0,8957 (0,016)*
Tlim	-0,4994 (0,191)	0,7270 (0,075)	0,0883 (0,093)	0,4144 (0,240)
Targ	0,6827 (0,095)	-0,7202 (0,078)	-0,6721 (0,100)	-0,6035 (0,135)
Mato	-0,4263 (0,233)	-0,3965 (0,251)	-0,3768 (0,203)	0,2219 (0,358)
Idenu	0,9430 (0,006)*	-0,3648 (0,270)	-0,2826 (0,320)	-0,8656 (0,024)*
Pebe	0,9972 (0,000)*	-0,1913 (0,377)	-0,1202 (0,423)	-0,8661 (0,024)*
Debe	0,4281) (0,232)	0,7275 (0,075)	0,7427 (0,069)	0,5570 (0,159)
Penco	0,2101 (0,366)	-0,8032 (0,045)*	0,7504 (0,065)	0,6497 (0,111)
Subas	-0,1867 (0,380)	0,1338 (0,414)	0,0398 (0,474)	0,3855 (0,257)
Soute	-0,8580 (0,026)*	0,0877 (0,444)	0,0503 (0,468)	0,7935 (0,048)*
Penba	0,1534 (0,402)	0,7939 (0,048)*	0,7808 (0,053)	0,0525 (0,466)
Chde	-0,5001 (0,191)	-0,3707 (0,266)	-0,4550 (0,216)	0,2881 (0,317)

pourcentage de sable démontre un lien inversement proportionnel ($r = -0,896$, $p \leq 0,015$). Concernant l'état des berges, l'indice de dénudation ($r = 0,943$, $p \leq 0,006$) et la pente des berges ($r = 0,997$, $p \leq 0,000$) démontrent des liens directs très forts. La dernière variable démontrant un lien significatif est le drainage souterrain ($r = -0,858$, $p \leq 0,026$). Cette corrélation négative laisse voir un lien inverse avec les sédiments transportés.

Les droites de régression présentées aux figures 7 et 8, démontrent que les coefficients de corrélation précédents sont explicables en grande partie par la station 2, bassin du ruisseau Pelletier, où s'est produit le glissement de terrain. A cause des très grandes concentrations observées sur cet affluent, les relations sont amplifiées. Les corrélations auraient été différentes, n'eut été de la présence du ruisseau Pelletier.

Les trois autres variables dépendantes sont liées au régime hydrologique automnal. La première (Solides en suspension à l'automne pris globalement) contient tous les échantillons recueillis pendant cette saison. On observe, dans le tableau 21, que seulement deux variables explicatives démontrent un lien significatif avec Sedat. Il s'agit de la pente du cours d'eau ($r = -0,803$, $p \leq 0,045$) et de la pente du bassin-versant ($r = 0,739$, $p \leq 0,048$). Les droites

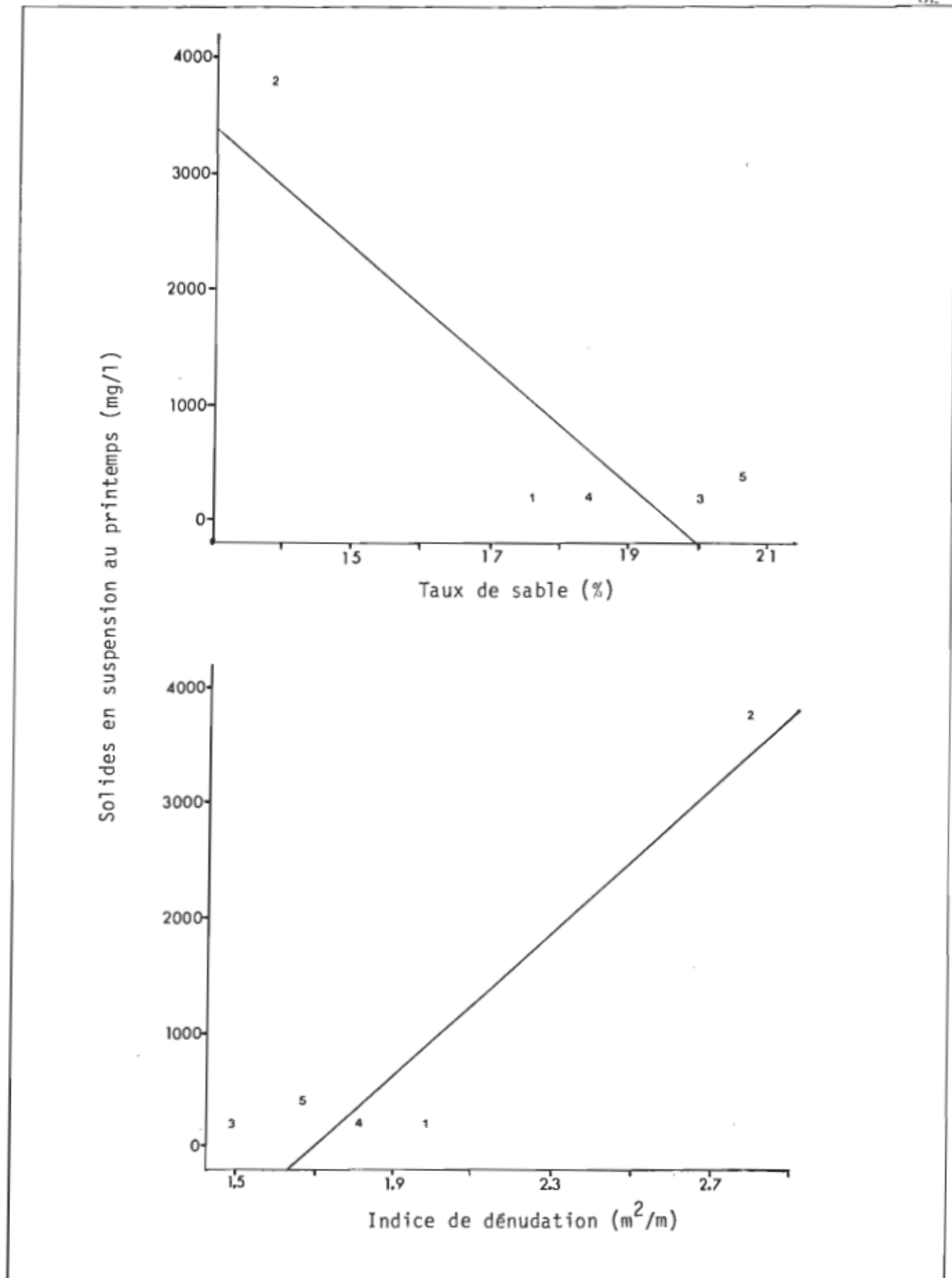


Figure 7: Droites de régression entre solides en suspension au printemps - taux de sable et solides en suspension au printemps - indice de dénudation

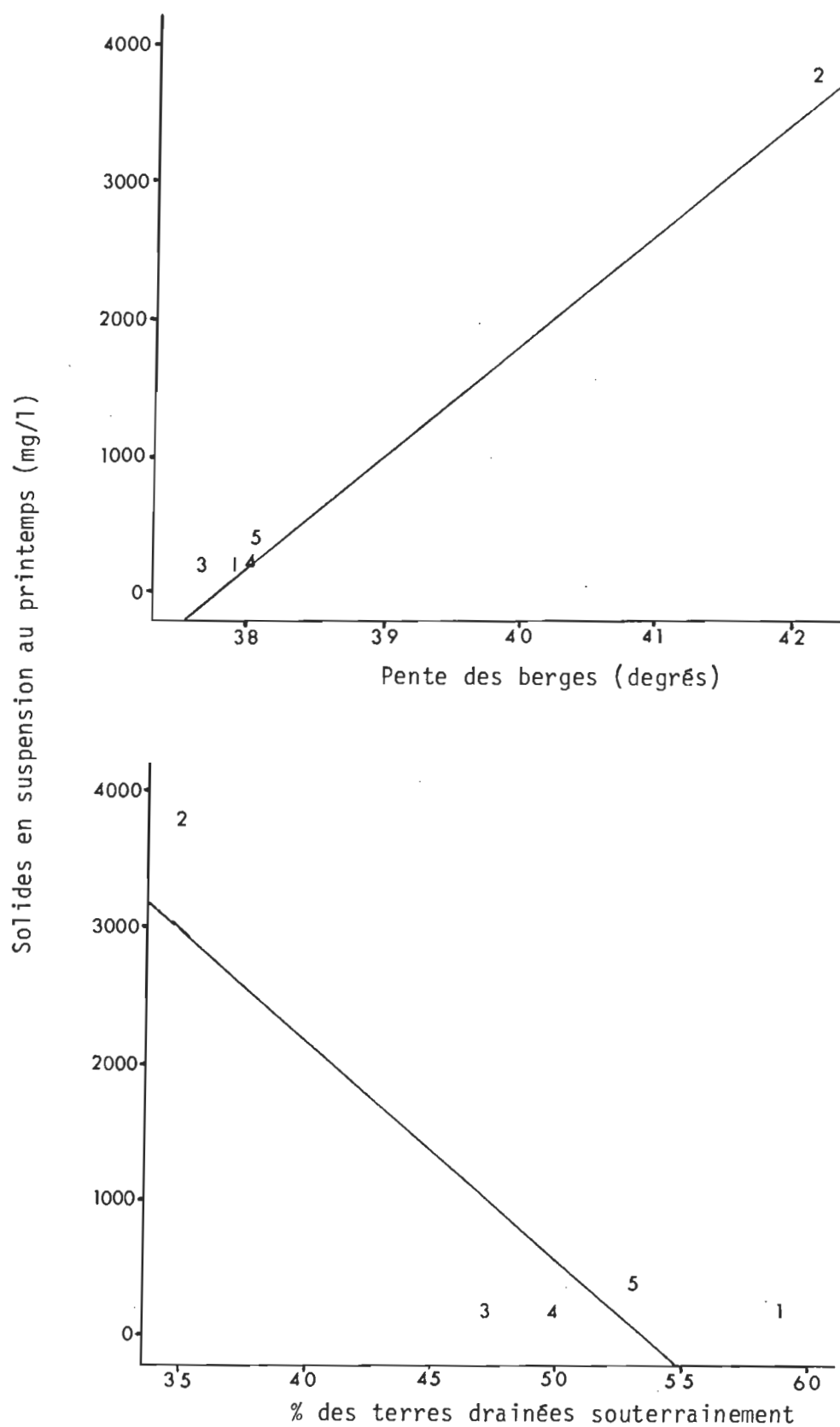


Figure 8: Droites de régression entre solides en suspension au printemps - pente des berges et solides en suspension au printemps - % des terres drainées souterrainement

de régression de ces deux variables apparaissent à la figure 9. Le même phénomène se produit avec la variable solides en suspension (valeurs maximales) alors que seule la pente du bassin-versant (Penba) exprime une corrélation significative ($r = 0,781$, $p \leq 0,053$) (figure 10).

La dernière variable dépendante, solides en suspension à l'automne - valeur minimale ou Semin, est significativement liée avec quatre variables: pourcentage de sable (TSab), l'indice de dénudation (Idenu), la pente des berges (Pebe) et le drainage souterrain (Soute). Ce qui est intéressant dans cette relation, c'est que ce sont les mêmes variables qu'au printemps, sauf qu'elles sont toutes de signes inverses. Ainsi Semin devient directement proportionnel avec Tsab et Soute alors qu'elle l'est inversement pour les variables Idenu et Pebe. Les figures 11 et 12 démontrent de quelle façon se dispersent les points autour de la droite de régression. On s'aperçoit qu'ils sont disposés plus uniformément et que les coefficients de corrélation ne sont pas expliqués par un seul point comme c'était le cas au printemps.

On a pu voir précédemment que les résultats relatifs aux solides en suspension variaient entre les deux saisons au niveau des quantités, ceux du printemps étant plus élevés. Maintenant, on s'aperçoit que ce ne sont pas les

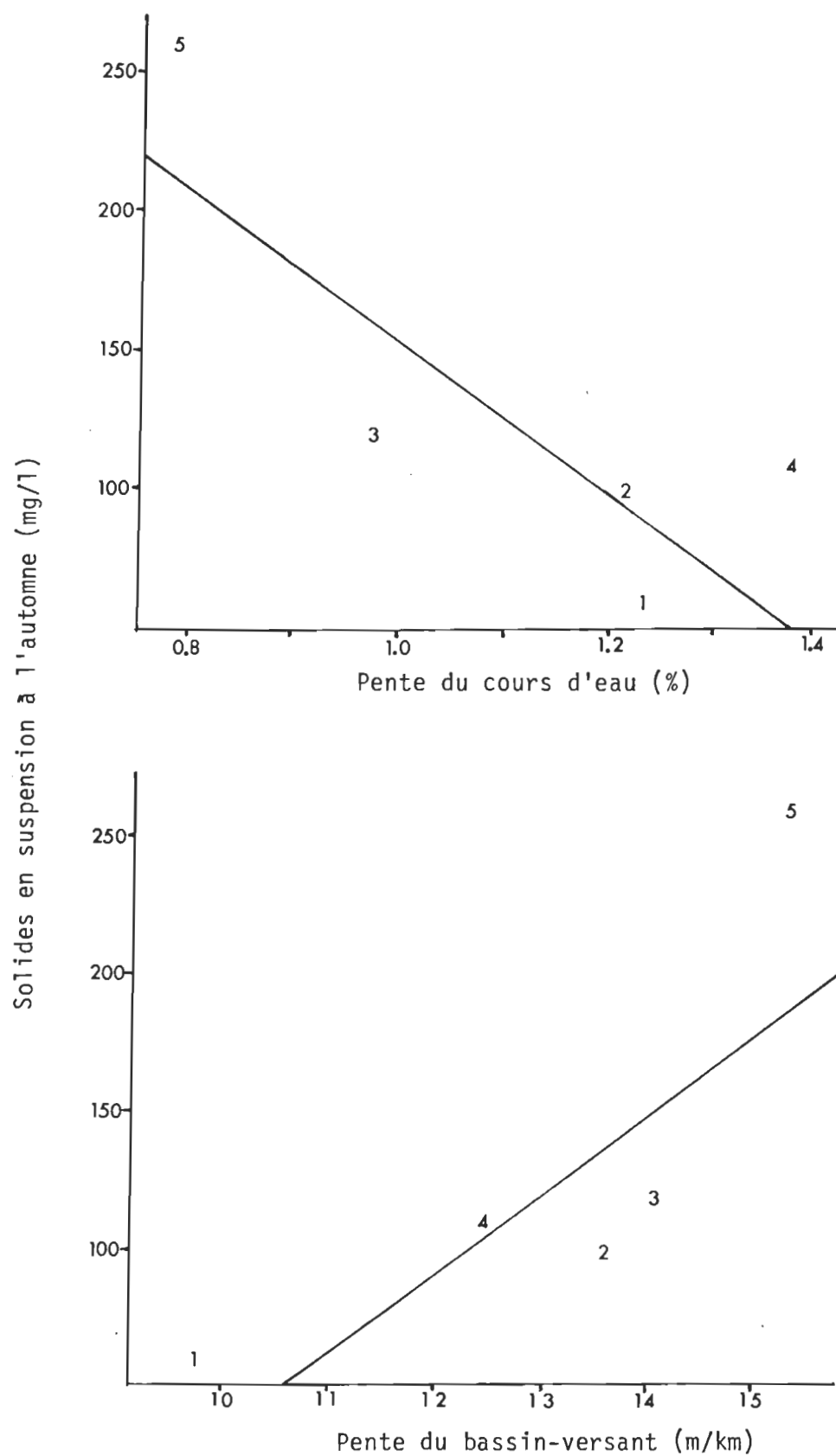


Figure 9: Droites de régression entre les solides en suspension à l'automne - pente du cours d'eau et solides en suspension à l'automne - pente du bassin-versant.

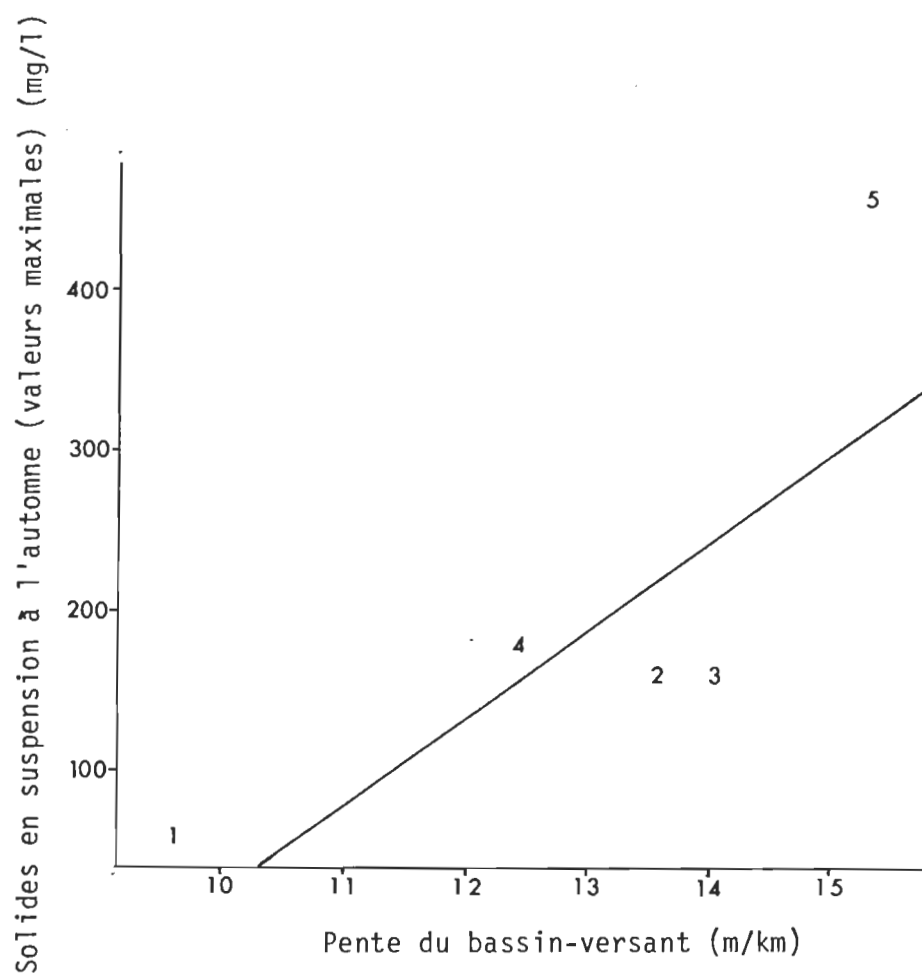


Figure 10: Droite de régression entre solides en suspension à l'automne (valeurs maximales) - pente du bassin-versant

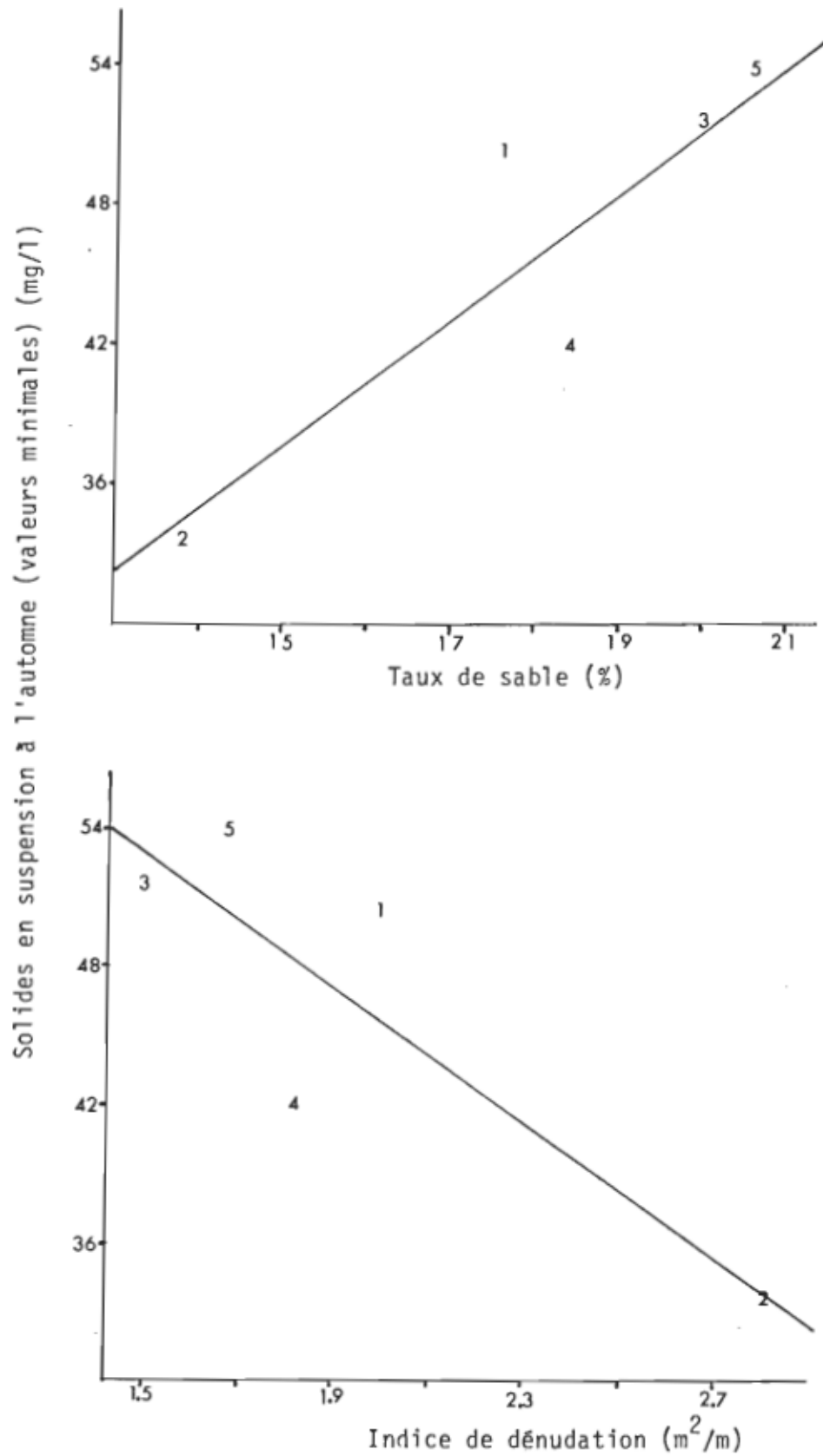


Figure 11: Droites de régression entre solides en suspension à l'automne (valeurs minimales) - taux de sable et solides en suspension à l'automne (valeurs minimales) - indice de dénudation

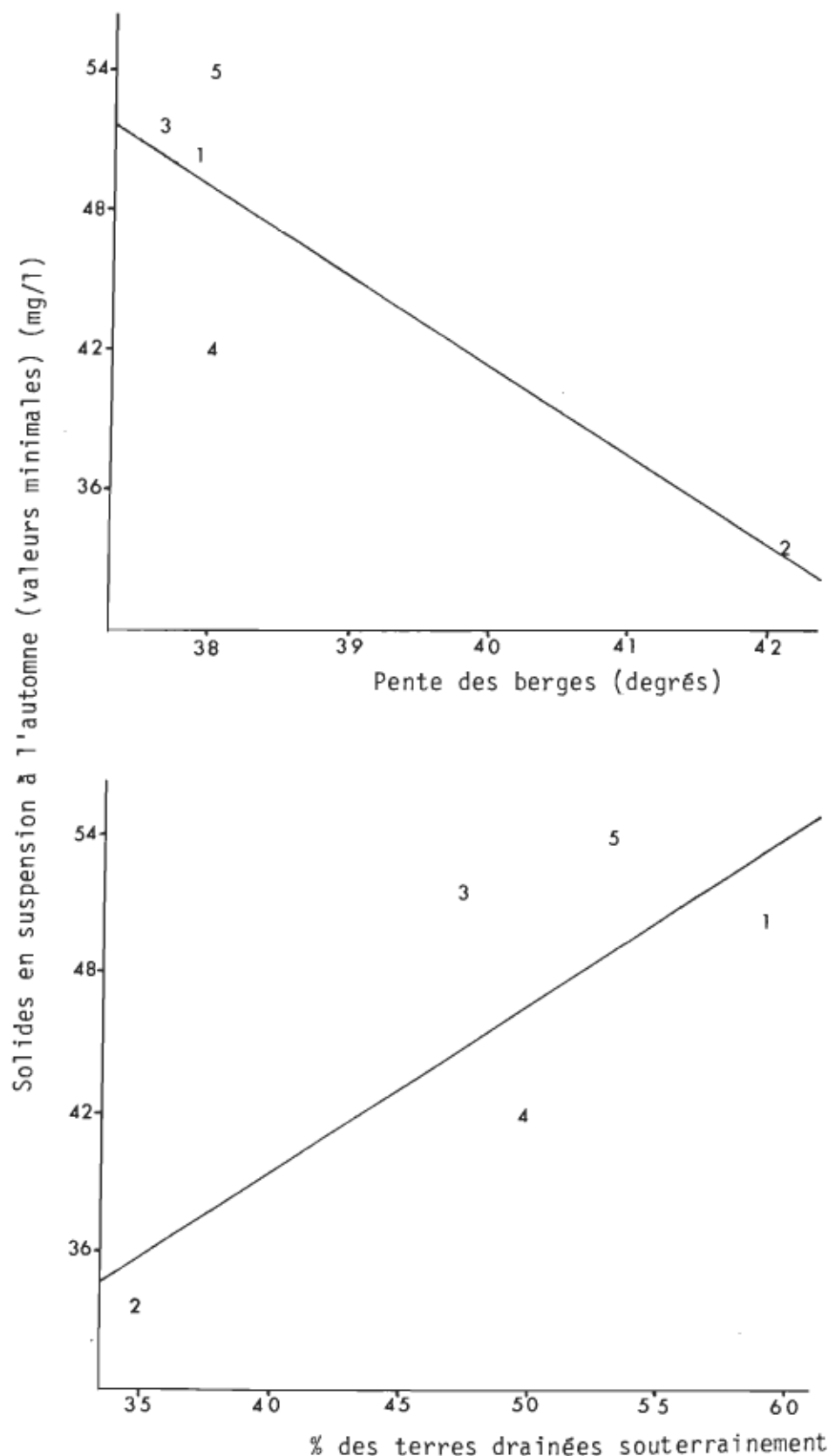


Figure 12: Droites de régression entre solides en suspension à l'automne (valeurs minimales) - pente des berges et solides en suspension à l'automne (valeurs minimales) - % des terres drainées souterrainement

mêmes variables qui agissent sur la présence de sédiments dans l'eau d'une saison à l'autre. Ainsi, les bassins étudiés ne se comportent pas de la même façon lors des deux saisons et les variables explicatives n'interviennent pas de la même manière lors des deux régimes hydrologiques.

4.7.3 Relations entre les variables explicatives

Les relations entre les variables explicatives ont été vérifiées à l'aide de corrélations simples. Le tableau 22 expose les cinq coefficients significatifs qui ressortent de ces analyses. D'abord, le taux de sable et le taux de limon sont associés au taux d'argile par des corrélations négatives ($r = -0,884$, $p \leq 0,019$; $r = -0,969$, $p \leq 0,002$). Ensuite, la troisième corrélation oppose le taux de sable à la pente des berges ($r = -0,903$, $p \leq 0,014$). Cette valeur démontre un lien serré entre ces deux variables. La pente des berges est aussi associée au drainage souterrain par une corrélation négative ($r = -0,860$, $p \leq 0,026$). Finalement, la dernière corrélation significative lie les variables matière organique et pente du bassin-versant ($r = -0,866$, $p \leq 0,024$). Cette association signifie que les sols avec les plus faibles pourcentages de matières organiques se retrouvent dans les bassins-versants avec les plus fortes pentes.

Tableau 22

Coefficients des corrélations significatives ($p \leq 0,05$) entre les variables explicatives

Variables	r	r ²	p	n
Tsab - Targ	-0,884	0,781	0,019	5
Tlīm - Targ	-0,969	0,939	0,002	5
Tsab - Pebe	-0,903	0,815	0,014	5
Pebe - Soute	-0,860	0,739	0,026	5
Mato - Penba	-0,866	0,749	0,024	5

4.7.4 Analyses multivariées

L'analyse des relations simples entre les variables dépendantes et explicatives a permis de mettre en lumière certains liens intéressants. Toutefois, on se doit d'être prudent dans l'interprétation de ces relations. Ces analyses ne tiennent pas compte des interrelations entre les variables explicatives. Ainsi, un lien significatif entre deux variables peut être causé par l'influence d'une troisième variable. L'analyse des données par des régressions multiples, par étape, permet de tenir compte de ces interrelations dans l'explication des variations des variables dépendantes.

4.7.4.1 Les solides en suspension au printemps

Par la régression multiple, on a pu identifier une seule variable explicative ($p \leq 0,05$) pour expliquer les concentrations printanières de solides en suspension. Il s'agit de la pente des berges. Aucune autre variable n'a été retenue, le seuil $p \leq 0,05$ ayant été atteint. Si l'on se fie à cette analyse, les concentrations de solides en suspension dans l'eau ne sont expliquées que par la pente des berges. Cette variable expliquerait 99,26% de la variance totale. L'équation retenue par ce modèle se lit comme suit:

Solides en suspension = $-31575,26 + 839,59$ (pente des
 au printemps berges)

L'analyse des résidus, ou de la partie non expliquée par l'équation, laisse voir des valeurs assez importantes, plus particulièrement pour les sous-bassins 3 et 4 (tableau 23). Ceci rend l'application de ce modèle assez risqué.

4.7.4.2 Les solides en suspension à l'automne

Lors de l'analyse des résultats automnaux, pris globalement, la régression multiple n'a retenu aucune variable significative. Donc, les résultats automnaux ne permettent pas d'établir un modèle prédictif.

La même chose se produit pour les concentrations automnales maximales alors que la régression multiple n'a pu retenir de variables suffisamment importantes pour expliquer les différences entre les divers affluents.

Pour les valeurs des solides en suspension automnales minimales, l'analyse par la régression multiple a permis d'établir un modèle expliquant 73,62% de la variance totale. Ce modèle retient une seule variable explicative, soit le pourcentage de sable. Le seuil $p \leq 0,05$ ayant été atteint, aucune autre variable n'a été retenue. L'équation de ce

Tableau 23

Coefficients de régression, valeurs réelles (Sedpr), prédites (Pred) et résidus (Resid) pour le modèle explicatif des concentrations des sédiments en suspension au printemps 1985

Variable	Moyenne x	Coefficient (B)	F	p
Pente des berges	38,76	839,59	536,01	0,0002
Constante		-31757,26	503,67	0,0002

Modèle	r ² ajusté = 0,99258		F = 536,01	P = 0,002

<u>Station</u>	<u>Sedpr</u>	<u>Pred</u>	<u>Resid</u>	
1	299,8	245,33	68,29	
2	3787,0	3771,62	15,38	
3	206,8	77,41	129,39	
4	225,4	413,25	-187,85	
5	317,9	329,28	-11,39	

modèle se lit comme suit:

Solides en suspension à l'eau = $-4,391 + 2,805$ (taux
tombe (valeurs maximales) de sable)

Le tableau 24 expose les différents paramètres qui composent ce modèle. L'examen des résidus nous laisse croire que ce modèle est acceptable.

Tableau 24

Coefficients de régression, valeurs réelles (Semin), valeurs prédites (Pred) et résidus (Resid) pour le modèle explicatif des concentrations minimales de sédiments en suspension à l'automne 1985

Variable	Moyenne x	Coefficient B	F	P
% de sable	18,06	2,8046	12,166	0,0398
constante		-4,3914	0,090	0,7840

Modèle	r^2 ajusté = 0,7363		F = 12,166	P = 0,0398

<u>Station</u>	<u>Semin</u>	<u>Pred</u>	<u>Resid</u>	
1	50,3	44,97	5,33	
2	33,4	34,03	-0,63	
3	51,8	51,70	0,10	
4	41,9	47,21	-5,31	
5	53,9	53,38	0,52	

CHAPÎTRE 5

DISCUSSION

L'objectif de cette étude se présentait principalement selon deux volets. D'une part, il s'agissait de localiser les zones du bassin-versant où l'érosion a été la plus active depuis les quelques trente dernières années. Ensuite, il fallait voir si l'érosion active au cours d'une année d'échantillonnage était représentative de celle observée précédemment. De plus, nous voulions découvrir les facteurs provoquant cette érosion pour ainsi atteindre une plus grande connaissance des forces agissant sur le départ et le transport de sédiments. Dans les lignes qui suivent, les principaux résultats de cette étude sont dégagés afin de les comparer avec d'autres études portant sur des sujets similaires.

5.1 L'analyse des photographies aériennes

Par l'analyse comparative des photographies se rapportant au territoire à l'étude, certains phénomènes intéressants ont pu être observés. Au niveau des pertes de terres, les surfaces cultivables ne changent pas beaucoup d'une année à l'autre. Cependant, il ne faut pas interpréter ce fait en disant que l'érosion n'est pas importante, mais il faut plutôt dire que les pertes de terre

dues à l'érosion sont compensées par des travaux mécanisés qui permettent de remettre en culture certaines zones jadis inaccessibles aux machines aratoires.

Cependant, en localisant les zones où l'érosion a été la plus intense, le sous-bassin du ruisseau Pelletier et la partie en amont du ruisseau des Saules ressortent davantage. Une visite récente sur le terrain (printemps 1987) a permis de voir que la zone de glissements de terrain du ruisseau Pelletier est toujours active. Par ailleurs, l'étude de l'évolution du tracé des cours d'eau révèle que le talweg de cet affluent a subi d'importantes modifications depuis 1948. Cela démontre que le ruisseau Pelletier est une zone à risques élevés pour l'érosion des zones riveraines.

Un autre élément décelé sur les photographies aériennes, puis vérifié sur le terrain est l'effet du pâturage sur les zones riveraines. Les résultats révèlent que le passage répété des animaux aux mêmes endroits peut être déclencheur de phénomènes d'érosion tels que des rigoles ou des petits ravins. Toutefois, il demeure difficile d'évaluer l'apport en sédiments dans les cours d'eau, vu le peu de surfaces affectées par de telles zones. Cependant, cet élément demeure un facteur d'érosion intéressant qui, éventuellement, pourrait faire l'objet d'une étude plus approfondie.

5.2 Les solides en suspension au printemps

L'examen des résultats obtenus lors de l'échantillonnage printanier a permis de mettre en évidence le ruisseau Pelletier. A cause d'un glissement de terrain de 0,95 ha de surface à la tête de ce dernier, des quantités importantes de sédiments étaient transportées. L'analyse de variances a révélé qu'il n'existait aucune différence significative entre les résultats des quatre autres stations. Donc, sur le plan quantitatif, les affluents du bassin du ruisseau des Saules transportent à peu près les mêmes charges sédimentaires. Devant cette similarité, la vérification de patrons communs au niveau du comportement entre les stations était de mise. Afin de vérifier l'existence de tels liens, des régressions simples furent réalisées.

Les résultats obtenus ont révélé que certaines stations considérées semblables par l'analyse de variance ne présentaient aucun comportement similaire, par exemple les stations 1 et 4. A l'inverse, les stations 1 et 2 qui étaient jugées différentes démontrent un lien significatif ($r = 0,8213$, $p \leq 0,0036$).

Devant ces constatations, il est possible d'avancer certaines hypothèses. Les stations 1 et 2 présentent les mêmes caractéristiques au niveau de la texture du sol. Ceci

peut provoquer un comportement similaire au fil de la saison. La même chose se produit pour les stations 4 et 5 qui sont liées entre elles sans l'être avec les deux précédentes et qui ont toutes deux des caractéristiques similaires au niveau de la granulométrie.

5.3 Les solides en suspension à l'automne

Pendant cette période, aucune différence n'a pu être observée entre les stations; et ce, malgré la présence d'un glissement de terrain mineur (350 m²) survenu en amont de la station 5. L'examen des coefficients de corrélation ne révèle pas les mêmes liens que ceux observés au printemps puisque les relations 1-4 et 2-3 deviennent significatives alors qu'elles ne l'étaient pas la saison précédente. Cette constatation permet d'avancer que ce ne sont probablement pas les mêmes types d'érosion ou les mêmes variables qui affectent les concentrations de sédiments en suspension au cours des deux saisons échantillonnées.

5.4 Comparaison printemps-automne

Dans le même ordre d'idée, les résultats respectifs des deux saisons furent comparés. Par des tests de T, seules les stations 1 et 2 présentent des différences significatives ($p \leq 0,05$). Cependant, en comparant les rapports

\bar{x} automne/ \bar{x} printemps entre les stations 1 (19,56%) et 4 (47,96%), il appert que ces deux bassins de superficie comparable semblent se comporter différemment selon les saisons. Quant à la station 6, située à la tête du ruisseau Paquin, elle présente une moyenne supérieure à l'automne et un rapport de 153,17%. Cette situation démontre que les cours d'eau se comportent différemment dans l'espace et dans le temps.

5.5 Comparaison amont-aval

Afin d'évaluer la contribution des berges, il fallait comparer les concentrations d'amont et d'aval. Pour ce faire, la station 6 fût retenue. L'examen des résultats a permis de constater que les concentrations d'aval sont supérieures à celles d'amont au printemps (225,44 mg/l et 71,00 mg/l) alors qu'à l'automne, elles sont égales (108,12 mg/l et 108,75 mg/l). Aussi, les coefficients de corrélation des deux saisons qui sont de 0,75 pour le printemps et de 0,97 pour l'automne, démontrent que ces deux stations sont beaucoup plus liées pendant la saison automnale.

Ces résultats permettent d'avancer que lorsque les niveaux d'eau sont élevés au printemps, la contribution des berges est plus importante. Par contre, à l'automne alors que les débits sont plus faibles, l'apport des zones

riveraines est plus limité et la présence des sédiments est davantage liée à l'érosion en nappe et en rigole observable sur les champs alors que les labours automnaux rendent les sols à nu et plus vulnérables à l'action des pluies. Ces résultats vont dans le sens des travaux de Hamlett et al (1983) qui ont étudié le ruissellement et le transport de sédiments dans des petits bassins-versants. Ils affirment que l'érosion des berges et du lit des cours d'eau apparaît surtout pendant les périodes de fonte de la neige. Ils démontrent aussi que le ruissellement lié à la fonte provoque une prise en charge des sédiments érodés et déposés dans les chenaux lors de la saison précédente.

5.6 Les relations entre la pluie et les solides en suspension

Bien que l'effet des précipitations sur l'érosion soit largement démontré par la littérature, l'analyse des régressions entre la pluie et les sédiments en suspension n'a révélé que très peu de liens significatifs. Cette absence de lien s'explique par un manque de coordination entre les moments de prise d'échantillons et ceux de tombée des précipitations. Les journées météorologiques s'étendent de 8h00 à 8h00 (le lendemain) et les prélèvements étaient effectués vers 10h00. Ainsi, on ne pouvait retenir les précipitations tombées pendant la journée d'échantillonnage,

celles-ci pouvant avoir eu lieu après la prise d'échantillon. En retenant la pluie tombée la veille de l'échantillonnage, le délai possible s'étend entre deux et 25 heures entre le moment des précipitations et celui des prélèvements. Or, vue la petitesse des bassins-versants, les temps de réponse des ruisseaux, au niveau des débits, sont très brefs (environ une heure) (Chow V. T. et al, 1964). Donc, les pluies tombées plus de trois heures avant la cueillette d'échantillons ne sont pas effectives. Pour obtenir des relations plus significatives, il aurait fallu recueillir les échantillons presque immédiatement après les précipitations. Toutefois, les contraintes de distance et de temps ne permettaient pas une telle démarche.

5.7 Analyse des relations entre les concentrations de solides en suspension et les variables explicatives

5.7.1 Au Printemps

Par des régressions simples, quatre liens significatifs ($p \leq 0,05$) sont mesurés entre les concentrations de sédiments en suspension et les variables explicatives. Le pourcentage de sable est associé par une corrélation négative. Le pourcentage de sable est aussi lié par une corrélation négative au pourcentage d'argile. Ces constatations permettent de penser que dans les bassins argileux

l'érosion est plus forte au printemps. Au niveau des berges, la pente et l'indice de dénudation sont aussi en étroite relation avec les sédiments en suspension.

Ces associations vont dans le même sens que les travaux de Marcotte (1974) qui a étudié l'évolution des versants argileux et qui a mis en lumière l'effet du gel et du dégel printanier sur l'érosion des zones riveraines argileuses. Les variations de température provoquent l'éclatement des agrégats d'argile, ils sont ensuite pris en charge par le cours d'eau qui est alors à son plus haut niveau.

La régression multiple dont l'objectif est d'expliquer les concentrations de sédiments en suspension au printemps, nous a permis de faire ressortir une seule variable explicative, soit la pente des berges. Toutefois, l'examen des résidus nous laisse voir de grands écarts entre les valeurs prédites et réelles. Donc, la prudence est de mise dans l'utilisation de ce modèle. Pour obtenir un modèle plus significatif, avec plus de variables explicatives, il aurait fallu avoir plus de bassins-versants comme dans l'étude d'Anderson (1954) qui utilisait 29 réplicats dans différents milieux. En ayant que cinq entités, nous étions à la merci d'évènements ponctuels majeurs tel que le glissement de terrain survenu à la tête du ruisseau Pelletier. Cet évènement est venu augmenter considérablement les valeurs de

la station 2 et a amplifié l'importance de certaines variables (pente des berges, indice de dénudation, % des terres drainées souterrainement). Néanmoins, les variables associées à la condition des berges ont un effet important sur le transport de sédiments au printemps, surtout à cause des hauts niveaux pendant cette période. Hamlett et al (1983) affirment qu'en moyenne 25% de la charge solide annuelle provient des zones riveraines et ce, principalement pendant la période de fonte de la neige.

Ces constatations, concernant l'érosion hydrique printanière, nous amènent à discuter de l'instabilité des berges. Hopkins et al (1975) mentionnent, dans leurs écrits, que l'érosion du matériel au bas des pentes est la cause majeure de l'instabilité des berges. De même, Little et al (1982) affirment que de fortes pentes et dénivellations associées à une absence de végétation au bas des pentes mènent inévitablement vers des versants instables et des risques de glissements de terrain élevés. Or, comme nous l'avons observé, le ruisseau Pelletier présente des caractéristiques extrêmes au niveau des berges (pente, dénivellation et indice de dénudation). De plus, par l'analyse de photographies aériennes, on a constaté que le ruisseau Pelletier est une zone où l'érosion des versants est beaucoup plus active que sur les autres affluents. Par ailleurs, lors d'une visite récente (printemps 1987), nous

avons observé, à la tête du ruisseau Pelletier, que ce secteur est encore très actif et que la zone de glissement de terrain se prolonge vers l'amont.

Ces observations nous permettent de croire que le glissement de terrain survenu au printemps 1985 n'est pas un événement accidentel isolé dans le temps. Il s'agirait plutôt d'un phénomène récurrent dû aux conditions morphologiques des berges et aux caractéristiques fluentes de l'argile Champlain. Ainsi, les fortes concentrations de matières en suspension obtenues à la station 2 ne sont peut-être pas le lot de ce seul printemps. En effet, les résultats obtenus lors de l'analyse des photographies aériennes laissent voir que le ruisseau Pelletier est une zone caractérisée par de fréquents glissements de terrain. Ceci laisse croire que les sédiments transportés par le ruisseau Pelletier doivent être la plupart du temps considérables, sans toutefois être toujours aussi importants que ceux observés au printemps 1985.

5.7.2 A l'automne

Lors de cette saison, les résultats d'échantillonnage d'eau étaient regroupés de façon à former trois variables dépendantes. Il y avait les solides en suspension d'automne pris globalement (Sedat), les résultats maximaux (Semax) et

les valeurs minimales (Semin). Les deux premières n'ont pratiquement pas démontré de liens significatifs avec les variables explicatives. De même, les analyses par régression multiple n'ont pas permis de définir de variables suffisamment puissantes pour élaborer un modèle prévisionnel de l'érosion automnale. Il aurait probablement fallu, là aussi, plus de bassins-versants localisés dans différents milieux. Une telle situation nous aurait permis d'avoir une plus grande variabilité au niveau des caractéristiques morphologiques et pédologiques du milieu. Par ailleurs, le fait que l'analyse de variances n'ait démontré aucune différence entre les stations n'aide en rien à l'élaboration d'un modèle mathématique.

La troisième variable automnale (Semin), a démontré des corrélations significatives avec quatre variables explicatives. Celles-ci étant les mêmes que pour le printemps sauf que les liens sont tous de signes opposés. La concentration de sédiments en suspension devient directement proportionnel au pourcentage de sable. Ainsi, il se fait plus d'érosion dans les bassins sablonneux qu'argileux à l'automne. D'autre part, les variables relatives à l'état des berges sont liées aux sédiments en suspension par des corrélations négatives. Ces analyses peuvent confirmer ce que nous pensions lors de la comparaison des résultats d'amont et d'aval du ruisseau "Paquin". Rappelons qu'à l'automne, il

n'y avait pas d'augmentation entre les stations 6 et 4, ce qui nous permettait de dire que les contributions des berges étaient minimales.

La dernière variable démontrant un lien avec les concentrations de sédiments en suspension est le drainage souterrain. Cette relation directe laisse croire que l'érosion est plus forte dans les bassins où le drainage souterrain est plus important. Ce lien semble plutôt contradictoire avec les résultats des travaux de Skaggs et al (1982). Ces derniers ont démontré que l'érosion en nappe pourrait diminuer de 90% en changeant le drainage superficiel par du drainage souterrain. Ils considèrent aussi que le drainage souterrain est une pratique anti-érosive efficace contre l'érosion en nappe sur les terres planes. Cette dualité s'explique par le fait que le calcul de cette corrélation n'est basé que sur cinq bassins-versants. Le résultat obtenu n'est peut-être que le fruit du hasard et malgré la signification apparente ($p \leq 0,048$) du coefficient de corrélation, il n'existe peut-être pas de lien direct réel entre les sédiments en suspension et le drainage souterrain.

La régression multiple par étapes nous a permis d'élaborer un modèle mathématique avec une seule variable significative soit, le pourcentage de sable. L'examen des

résidus nous laisse croire que ce modèle est valable. Considérant que les sédiments en suspension dans l'eau proviennent des champs, la variable retenue par ce modèle est donc justifiée. En effet, le pourcentage de sable est souvent utilisé pour mesurer l'érodabilité des sols. Entre autres, Wischmeier (1972) utilise le pourcentage de sable et de limon pour expliquer, en partie, la susceptibilité des sols à être érodés.

Malgré le fait que ce modèle explique 73,62% de la variance totale, il demeure difficile de croire que les concentrations de solides en suspension puissent être expliquées que par le pourcentage de sable des champs. D'autres variables relatives aux terres cultivées auraient pu tenir un rôle important. Notons entre autre, l'utilisation des terres. Dans l'équation universelle de perte de sol de Wischmeier et Smith (1978) le type de culture et les rotations de cultures effectuées sur les champs tiennent un rôle important. De même, les labours automnaux qui rendent les champs à nu auraient pu être considérés. Cependant, l'étude de l'érosion en nappe n'étant pas l'objectif de ce travail, ces variables ne furent pas étudiées.

CONCLUSION

La réalisation de cette étude a permis de mettre en lumière certains faits concernant l'érosion à Saint-Léon-Le-Grand. Le ruisseau Pelletier se révèle comme étant une zone de glissements de terrain où l'érosion des zones riveraines est très active au printemps. Ceci nous avons pu le constater de deux façons. D'une part, l'analyse des photographies aériennes a démontré que l'évolution de ce secteur était très importante, d'autre part, les résultats d'échantillonnage d'eau ont révélé que cet affluent transportait des quantités considérables de sédiments. Les régressions réalisées ont démontré que la pente des berges tient un rôle important pour expliquer ce phénomène. Aussi, la corrélation négative entre le pourcentage de sable et les matières en suspension au printemps, nous démontre que le transport de sédiments en suspension est plus important dans les milieux où la fraction sablonneuse est moins grande et où le pourcentage d'argile est plus fort. Ainsi, le rôle du gel et du dégel sur les versants riverains semble avoir une assez grande importance pour ce qui est de la mise en disponibilité de sédiments pour les cours d'eau.

La comparaison entre l'amont et l'aval sur le ruisseau "Paquin" nous permet de constater qu'au printemps, il se produit une bonne accumulation de sédiments en suspension

entre ces deux stations (300%). Par contre, à l'automne les concentrations sont à peu près similaires. Cette situation nous prouve qu'au printemps la contribution des berges est très forte alors qu'à l'automne, elle est négligeable.

A l'automne, lorsque nous utilisons les valeurs de sédiments en suspension globalement, il ne fût pas possible de trouver de relations directes. Par contre, en utilisant les valeurs minimales, certaines variables explicatives ont démontré des liens significatifs. Le pourcentage de sable en est une. D'ailleurs, la régression multiple calculée sur les résultats d'automne (valeurs minimales) a retenu cette variable dans son modèle. Ce qui confirme que les sédiments en suspension proviennent des champs puisque cette variable est un paramètre important dans l'équation de Wischmeier (1969).

En somme, cette étude a permis de circonscrire le phénomène d'érosion dans le bassin-versant du ruisseau des Saules. Toutefois, elle n'est pas complète en elle-même. Nous nous permettons de dégager trois sujets de recherche qui pourraient découler des résultats obtenus.

D'abord, une étude détaillée de l'évolution des versants permettrait d'évaluer avec plus de précision le rôle des zones riveraines sur la présence des sédiments en

suspension dans les cours d'eau. Ce genre d'étude pourrait se faire sur une plus longue période, ce qui permettrait, entre autres, d'établir le rythme d'enfoncement des cours d'eau. De plus amples connaissances pourraient mieux guider les gestionnaires des terres dans l'application de mesures correctives.

Deuxièmement, une étude plus précise sur l'érosion en nappe et en rigole observable sur les champs permettrait l'acquisition d'une meilleure connaissance, plus particulièrement au niveau de l'effet de la couche nivale sur le ruissellement printanier.

Finalement, les quelques mesures de débit effectuées ont permis de constater que la charge sédimentaire de ces petits cours d'eau pouvait être très spectaculaire. Une étude approfondie sur les sites de sédimentation du matériel favoriserait une meilleure compréhension du phénomène et de ces implications environnementales et économiques.

SOURCES CONSULTÉES

Sources écrites

Anderson, H.W., 1954. Suspended sediment discharge as related to streamflow, topography, soil and use. American Geophysical union 35: 268-281.

American society for testing and materials, 1980. Annual book of A.S.T.M. standards. Part 19 : Soil and rocks; building stones. Philadelphia, 643 p.

Bernard, C., 1984. La dégradation des sols et l'environnement. ministère de l'environnement du Québec. Journée d'information sur la dégradation des sols. 19 p.

Bernard, C., 1985. Le contrôle de la pollution agricole diffuse. Assises annuelles de l'association québécoise des techniques de l'eau. 29 p.

Berthold Bayer, Wien 1980. Drainage density - an integrative measure of the dynamics and the quality of watersheds. Annales de géomorphologie, 24: 261-272.

Bowie, A.J. 1980. Channel contribution to sediment yield in complex watershed. Transactions of the A.S.A.E. 23: 1248-1253.

Bowie, A.J. 1982. Investigations of vegetation for stabilizing eroding streambanks. Transactions of the A.S.A.E., 25: 1601-1606.

Canada, 1976. Glossaire des termes de la science des sols. Ministère de l'agriculture, 44 p.

Canada, 1978. Le système canadien de classification des sols. Ministère de l'agriculture 170 p.

Canada, 1984. Nos sols dégradés, le Canada compromet son avenir. Comité sénatorial permanent de l'agriculture, des pêches et des forêts. Ottawa, 143 p.

Chaney, K. and R.S. Swift 1984. The influence of organic matter on aggregate stability in some British soil. J. of soil science, 35: 223-230.

Chow, Ven. T. et al 1964. Handbook of applied hydrology. McGraw-hill, inc. 1365 p.

- Delisle, A., Y. Descôteaux et M. Denis, 1978. Le fleuve Saint-Laurent et ses sédiments en suspension. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent 1978. Annexe No 13. 119 p.
- Derruau, M., 1974. Précis de géomorphologie. Ed. Masson, Paris. 453 p.
- Doornkamp, J.C. and A.M. Cuchlaine, 1971. Numerical analysis in geomorphology: an introduction. Londres, 372 p.
- Dumanski, J., D.R. Coote, G. Luciuk and C. Lock, 1986. Soil conservation in Canada. J. soil and water conservation. 204-210.
- Godbout, G., 1962. Etude pédologique du comté de Maskinongé. Ministère de l'agriculture et de la colonisation. Bulletin technique No 9. 86 p.
- Goudie, Andrew et al 1981. Geomorphological techniques. Londres 395 p.
- Gray, donald M. et al 1970. Handbook on the principles of hydrology. 600 p.
- Grissinger, E. H., 1966. Resistance of selected clay systems to erosion by water. Water resources research, 2: 131-138.

Grissinger, E. H., W. C. Little and J. B. Murphey, 1981.

Erodibility of streambank materials of low cohesion.

Transactions of the A.S.A.E., 24: 624-630.

Hamlett, J. M., J. L. Baker and H. P. Johnson, 1983. Channel morphology changes and sediment yield for a small agricultural watershed in Iowa. Transactions of the A.S.A.E., 26: 1390-1396.

Hamlett, J. M., J. L. Baker, S. C. Kimes and H. P. Johnson, 1984. Runoff and sediment transport within and from small agricultural watershed. Transactions of the A.S.A.E., 27: 1355-1369.

Hamman, J., 1985. Autant en emporte le vent ... et l'eau. Revue Franc nord, 1: 25-28.

Hickin, E. J., 1984. Vegetation and river channel dynamic. Canadian geographer, 28: 111-126.

Holy, M., 1980. Erosion and environment. Environmental sciences and applications vol. 19. Pergamon press, 225p.

Hopkins, T. C., D. L. Allen and R.C. Deen, 1975. Effects of water on slope stability. Kentucky bureau of highways, Lexington div. of. research.

- Lagacé, R., 1979. La vie et la stabilité des cours d'eau. Dans "construction et aménagement des cours d'eau en milieu agricole". Conférences prononcées lors du 7^e colloque de génie rural, Université Laval, pp. 46-51.
- Lancery, J.-M. et C. Caron 1983. La reprise de l'érosion linéaire et l'amélioration du drainage souterrain et superficiel. Dans "Colloque sur l'érosion accélérée et anthropique, ses conséquences sur l'environnement", U.Q.T.R. pp. 56-79.
- Lancery, J.-M. 1984. Quelques faits et facteurs de dégradation des terres agricoles de la région de Trois-Rivières. Ouvrage non publiée, U.Q.T.R. 21 p.
- Little, W. C., C. R. Thorne and J. B. Murphey, 1982. Mass bank failure analysis of selected Yazoo basin streams. Transactions of the A.S.A.E., 25: 1321-1328.
- Marcotte, H., 1974. Le rôle du gel dans l'évolution des versants argileux de la petite rivière Blanche, Québec. Revue de géographie de Montréal. 28: 207-209.
- Monke, E. J., D. W. Nelson, D. B. Beasley and A. B. Bottcher, 1981. Sediment and nutrient movement from the Black Creek watershed. Transactions of the A.S.A.E., 24: 391-395.

- Novotny, V. and G. Chester, 1981. Handbook of nonpoint pollution. Sources and management. Von Nostrand Reinhold co. New-York. 555 p.
- O'Grady, L.J., 1978. Travaux de laboratoire, cours SLS-12504. Laboratoire , science du sol. Université Laval.
- Ritchie, J. C., 1982. Sediment, fish and fish habitat. J. of soil and water conservation. 27: 124-125.
- Renfro, G. W., 1972. Use of erosion equation and sediment delivery ratio for predicting sediment yield. Proceeding of the sediment-yield work-shop, U.S.D.A. Sedimentation laboratory, oxford Mississippi.
- Roehl, J. W., 1962. Sediment source area, delivery ratios and influencing morphological factors. International association of scientific hydrology publication, 59: 202-213.
- Scherrer, B. 1984. Biostatistique. Ed. Gaétan Morin. 850 p.
- Schwab, G. O., B. H. Nolte and R. D. Brehm, 1977. Sediment from drainage systems for clay soils. Transactions of the A.S.A.E. 20: 866-868.

Sine, L. et J.-P. Agneessens, 1978. Etude des débits solides et du phénomène de migration dans une rivière drainant un bassin agricole. *Pédologie*, XXVIII, 2: 183-191.

Skaggs, R. W., A. Nassehzaleh-Tabrizi and C. R. Foster, 1982. Subsurface drainage effects on erosion. *J. of soil and water conservation*, 36: 167-172.

Spomer, R. G. and A. T. Hjelmfelt, 1983. Snowmelt runoff and erosion on Iowa loess soils. *Transactions of the A.S.A.E.*, 26: 1109-1111.

St-Yves, A. 1983. L'instabilité des berges des cours d'eau municipaux. Dans "Colloque sur l'érosion accélérée et anthropique, ses conséquences sur l'environnement". U.Q.T.R. pp. 42-51.

Thorne, C. R., J. B. Murphey and W. C. Little, 1981. Bank stability and bank material properties in the bluffline streams of north-west Mississippi. Appendix D. Report prepared for U.S. army Corps of Engineers, Vicksburg District on stream channel stability. 258 p.

Thorne, C. R., 1982. Processes and mechanisms of river bank erosion in: *Proceeding of the international workshop on*

engineering problems in the management of gravel-bed-rivers.
John Wiley and sons, London, England, 870 p.

Van Vliet, L. J. P., G. J. Wall and W. T. Dickinson, 1976.
Effects of agricultural landuse on potential sheet erosion
losses in southern Ontario. Canadian J. of soil sciences,
56: 443-451.

Van Vliet, L. J. P. and G. J. Wall, 1979. Comparison of
predicted and mesured sheet and rill erosion losses in
southern Ontario. Canadian J. of soil sciences, 59: 211-
213.

Van Vliet, L. J. P. and G. T. Wall, 1981. Soil erosion losses
from winter runoff in southern Ontario. Canadian J. of soil
sciences, 61: 451-454.

Wischmeier, W. H., 1959. A rainfall erosion index for a
Universal soil-loss equation. Soil society of America, 23:
246-249.

Wischmeier, W. H., 1960. A universal soil-loss equation. In "The
7th international congress of soil science." Madison, tome
VI 2, pp. 418-425.

- Wischmeier, W. H., 1969. Relation of soil properties to its erodibility. Soil science society of America, 33: 131-137.
- Wischmeier, W. H., 1972. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. of soil and water conservation, 26: 189-193.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. U.S. dept. of agriculture. Agriculture Handbook. No 237, 58 p.
- Zar, J. H. 1974. Biostatistical analysis. Printice-Hall inc. 619 p.
- Zuzel, J. F., R. R. Allmaras and R. Greenwalt, 1982. Runoff and soil erosion on frozen soils in northeastern Oregon. J. of soil and water conservation, 36: 351-354.

Références cartographiques

- Canada, Direction des levées et de la cartographie 1981. Trois-Rivières, 1 : 50 000, 31-1/7, carte topographique. Ottawa, Ministère de l'énergie des mines et des ressources.

Québec, Service de la cartographie 1984. Yamachiche, 1 :20 000,
31-107-200-0101. Carte cadastrale. Québec, ministère de
l'énergie et des ressources.

Photographies aériennes

Canada, Ministère de l'énergie des mines et des ressources :

1948: A 11360 - 57, 58, 1 : 6887.

Québec, Ministère de l'énergie et des ressources :

1964: Q 64542 - 19, 20, 21, 1 : 15 840

1977: Q 77333 - 227, 228, 229 1 : 10 000

1980: Q 80112 - 15, 16, 17 1 : 8000

1982: Q 82319 - 143, 144, 145 1 : 15 000