

L'impact du drainage souterrain sur la morphologie des cours d'eau

Catherine Leduc

**Rapport manuscrit préparé pour le
Conseil canadien de la recherche sur
l'évaluation environnementale
1986**

AVANT-PROPOS

Le Conseil canadien de la recherche sur l'évaluation environnementale (CCREE) fut établi en 1984 par le ministre fédéral de l'**Environnement**, par l'entremise du Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales (BFEEE). Il a été créé dans le but de faire progresser les connaissances théoriques et pratiques de l'évaluation environnementale. Comme partie intégrante de son engagement à améliorer l'évaluation environnementale au Canada, le CCREE a encouragé la recherche dans plusieurs domaines relatifs à l'évaluation environnementale. Les résultats de ces recherches sont présentés sous trois formes de publications : exposés de recherche, documents de référence et rapports manuscrits.

Ce rapport fait partie de la série des manuscrits, qui est composée principalement de rapports de recherche individuelle subventionnée, complètement ou en partie, par le CCREE. Les manuscrits sont fournis dans la langue et le format dans lesquels ils furent soumis. Ils **ne sont pas soumis à un examen par des pairs et ne reflètent pas nécessairement les points de vue et la politique du CCREE.**

Des exemplaires des publications du CCREE peuvent être commandés par l'entremise de :

Groupe Communication Canada - Édition
Ottawa, Canada
K1A 0S9

Tél. : (819) 956-4802
Télec. : (819) 994-1498

Des exemplaires sur microfiches des publications du CCREE peuvent être commandés par l'entremise de :

Micromédia Limitée
165, rue Hôtel de Ville
Place du Portage, Phase II
Hull (Québec)
G8X 3X2

Tél. : 1-800-567-1914 (Canada), (819) 770-9928
Télec. : (819) 770-9265

Pour de plus amples renseignements au sujet du travail accompli par le CCREE, veuillez communiquer avec le :

Bureau fédéral d'examen des évaluations environnementales
Développement du processus
Édifice Fontaine, 14^e étage
200, boul. Sacré-Coeur
Hull (Québec)
K1A 0H3

Tél. : (819) 953-8591 ou 953-0036
Télec.: (819) 994-1469

- * Sa Majesté du chef du Canada possède tous les droits, incluant les droits de propriété intellectuelle, des rapports du CCREE.

L'impact du drainage souterrain sur
la morphologie des cours d'eau :
Approche méthodologique d'un problème
d'érosion du sol en milieu agricole,

Catherine Leduc
Département de Géographie
Université de Montréal

Rapport de recherche présenté au
Conseil Canadien de la Recherche sur
les Evaluations Environnementales
Ministère de l'Environnement, Canada.

Mars 1986

Table des matières	page
Résumé	I
Liste des figures	III
Liste des planche3	IV
Liste des tableaux	V
Introduction	1
Chapitre 1 :Aspect théorique du problème	6
1.1-Le projet	8
1.2-L' effet du drainage sur l'hydrologie	10
1.3-L'effet du drainage sur la morphologie	21
Chapitre 2:Techniques d'évaluation et résultats	30
2.1-Etude régionale	33
2.2-Etude longitudinale	47
2.3-Etude ponctuelle	58
Conclusion	60
Références	64

Résumé

L'étude que l'on a entreprise traite de l'effet du drainage souterrain sur la morphologie des cours d'eau. En effet, nous croyons que le drainage souterrain, par les modifications de régime hydrique qu'il implique, provoque des changements morphologiques à l'intérieur des bassins-versants. Cette hypothèse s'appuie sur le fait que l'installation de drains souterrains provoque des changements hydrologiques dans les bassins, et que la forme des cours d'eau est ajustée au régime hydrique,

Pour montrer l'effet du drainage souterrain, nous devons en premier lieu établir une méthode d'évaluation qui s'applique à ce problème. Après avoir testé différentes méthodes, nous jugeons que les études au niveau d'un bassin-versant sont les plus adéquates. Rien que nous avons également obtenu de bons résultats de méthodes employées à l'échelle d'une région (donc englobant plusieurs bassins),

Rinsi, suite à une analyse fonctionnelle entre les variables de forme des cours d'eau et la superficie de leur bassin, nous avons obtenu, pour une région de l'Estrie, les résultats suivants: On remarque que la taille des cours d'eau, pour une même superficie de bassin, est toujours supérieure pour les cours d'eau drainés comparativement aux sites non-drainés. C'est donc dire que

les cours d'eau doivent augmenter la superficie de leur coupe transversale, pour évacuer un volume d'eau qui serait plus important dans les bassins où des travaux de drainage souterrain ont été effectués. Nous avons obtenu des résultats de même nature, à l'intérieur d'un bassin-versant. En effet, en faisant des relevés de forme d'un cours d'eau le long de son profil longitudinal, nous avons remarqué que les sites à l'amont de l'exutoire des drains agricoles, qui se déversent dans le cours d'eau, ont toujours une capacité inférieure aux sites situés à l'aval de ces drains,

On croit pouvoir expliquer ces changements morphologiques par les modifications apportées au régime hydrique des bassins-versants, suite à l'implantation de réseaux de drainage. Cependant cette possibilité reste à être vérifiée. Les modifications morphologiques que nous croyons pouvoir attribuer aux activités agricoles ne se résument pas à un simple élargissement de la coupe transversale du cours d'eau. Dans certaines régions où les sols sont particulièrement instables et où les rivières sont déjà encaissées, on observe un élargissement des vallées sous forme de glissements de terrain,

Ainsi, le drainage souterrain peut-être identifié comme une cause de la dégradation des terres en milieu agricole,

Liste de figures

Figure 1: Décrochements sur les versants de la Petite Rivière Yamachiche ,	p. 3
Figure 2: Comparaison d'hydrogrammes de crues entre des sites drainés et non-drainés ,	p.12
Figure 3: Hydrogrammes unitaires pré et post-drainage du bassin Nenagh ,	p.15
Figure 4: Relation entre le débit et l'intervalle de récurrence pour les données pré et post-drainage du bassin Nenagh,	p.17
Figure 5: Comparaison des relations entre la charge en suspension et le débit en fonction de la période pré et post-drainage ,	p.19
Figure 6: Evolutions de profils longitudinaux d'aggradation et de dégradation ,	p.23
Figure 7: Courbes représentant l'énergie produite de l'ampleur et de la fréquence des événements, pour évaluer le débit dominant ,	p.28
Figure 8: Carte de localisation ,	p.39
figure 9: Relation entre la forme des cours d'eau et la superficie des bassins ,	p.42
Figure 10 et 11 : Paysage de dégradation ,	p.53-54

Liste des planches

Planche 1: Profil longitudinal #1

p.49

Planche 2: Profil longitudinal #2

p.50

Liste des tableaux

tableau 1 : Méthodes d'évaluation proposées	p.32
tableau 2 : Résultats de l'analyse fonctionnelle entre les variables de forme des cours d'eau et la taille des bassins	p.41
tableau 3 : Résultats des différentes méthodes d'évaluation	p.61

INTRODUCTION

La dégradation des terres en milieu agricole représente un problème crucial à l'échelle nationale, pourtant la recherche à ce niveau est très peu développée.

La dégradation résulte à long terme de l'interaction d'un ensemble de facteurs: climat, sols, morphologie, hydrologie et utilisation du sol. L'incision rapide des réseaux hydrographiques, le recul des têtes de cours d'eau et le déséquilibre des versants provoquant un élargissement important des vallées sont un aspect crucial de ce processus. Ces formes d'érosion ont généralement une source ponctuelle et sont d'ampleur peu importante en soi, mais avec le temps et en fonction du nombre elles se cumulent et engendrent des pertes de terrain considérables.

Une commission sénatoriale a eu pour mandat en 1984 de déterminer la nature de l'érosion des terres et d'en évaluer l'ampleur. Le ruissellement de surface et le vent y sont identifiés comme étant les principales causes d'érosion (Sparrow-1984). Cependant nous croyons que le drainage souterrain y joue un rôle plus important que ce que l'on soupçonne,

Le drainage souterrain est une technique agricole qui consiste à insérer un réseau de canalisation sous la surface des champs, Et il a pour but d'accélérer l'évacuation de l'eau vers le réseau hydrographique. La croissance des plantes s'en trouve ainsi favorisée puisque le volume d'oxygène dans le sol y est augmenté.

Nous croyons pouvoir établir une corrélation entre le drainage souterrain et la dégradation des terres en milieu agricole. En effet, ce n'est que récemment que l'on a commencé à remarquer des indicateurs de dégradation dans certains milieux agricoles, Or si on se réfère aux plans de drainage du ministère de l'agriculture, on voit que cette pratique agricole était presque inexistante avant 1964. Toutefois elle a connu un essor considérable, étant fortement subventionnée par l'état, Ainsi, il est possible de croire que la dégradation observée depuis peu est liée à l'installation de réseaux souterrains de drainage qui se pratique de plus en plus fréquemment,

D'ailleurs il est possible que ce type d'intervention anthropique à l'intérieur des bassins-versants puisse expliquer l'augmentation des risques d'inondations, la déstabilisation des cours d'eau, l'augmentation de la quantité de sédiments en suspension dans l'eau, et même indirectement le déclenchement de glissements de terrain, Des glissements de ce type ont été observés dans la région agricole des Basses-Terres du St-Laurent (voir figure 1).



Figure 1 : Paysage typique de **dégat** ion que l'on peut **désormais observer** dans les Basses-Terres du St-Laurent, On peut voir des décrochements sur les **versants** de la rivière Petite Yamachiche. Comme il est expliqué au chapitre 1, plusieurs de ces glissements de terrain sont **associés** au développement du système de drainage agricole. (Photo saisie lors de l'excursion de J.M.Lancery-1985)

Cette hypothèse est basée sur le fait que le drainage agricole modifie le régime d'écoulement dans le sol, ce qui provoque des changements dans les paramètres hydrologiques des cours d'eau. Ces modifications du régime hydrologique affectent en retour la morphologie du lit et des berges du cours d'eau.

Nous verrons au chapitre 1 que des recherches ont tenté de montrer l'effet du drainage agricole sur le comportement hydrologique des bassins-versants. Par contre, l'étude des modifications morphologiques des cours d'eau qu'entraîne le drainage et de son impact environnemental est peu développée (Brookes-1985). Il est surprenant que si peu d'étude traite de ce sujet puisque l'étude des changements morphologiques suite à des variations de régime fait partie de préoccupations traditionnelles en géomorphologie. Le manque d'intérêt pour ce genre de recherche peut-être lié au fait qu'il est difficile de percevoir l'effet du drainage, l'extension spatiale des répercussions de ce phénomène étant restreinte. En effet, il s'agit de processus qui agissent de façon ponctuelle et linéaire. Ainsi, les résultats obtenus de ce type d'étude sont souvent contradictoires. D'ailleurs Armstrong en 1981 énonçait l'état de nos connaissances sur les effets du drainage agricole:

"One of the first step in converting much land to agriculture is the artificial drainage of the land. However, the effects of drainage on the hydrological and geomorphological systems are by no means clear"

Il est très difficile d'identifier les effets du drainage agricole, tant au niveau hydrologique que morphologique, car ils sont difficiles à isoler de toutes les autres causes de dégradation qui affectent les bassins. Notre but premier sera de développer des méthodes d'évaluation qui permettent de saisir les effets morphologiques du drainage qui se manifestent : au niveau d'une région, à celui d'un bassin-versant ou de façon ponctuelle.

Nous discuterons, au chapitre 2, des possibilités qui nous sont offertes quant à ces techniques d'évaluation. Nous anticipions, a priori, que la réponse des méthodes d'études à l'échelle d'un bassin-versant serait la plus intéressante. Contrairement à nos attentes, nous avons aussi obtenu de très bons résultats des méthodes faites à l'échelle régionale.

En résumé, ces travaux contribueront à mieux comprendre le système fluvial lorsqu'il doit faire face à des modifications anthropiques. Nous croyons qu'il est important d'effectuer ce type d'étude afin de parvenir à l'élaboration d'une politique agricole nationale qui encouragerait la productivité tout en évitant la détérioration de notre environnement.

Chapitre 1: Aspect théorique du problème

Nous avons été sensibilisés à ce problème après avoir observé des cours d'eau très dégradés dans les Basses-Terres du St-Laurent, au nord du lac St-Pierre,

Dans une recherche indépendante de la nôtre, Lancery (1985) avait également étudié cette région parce qu'elle est caractérisée par un taux élevé de dégradation, qu'il a attribué au drainage agricole. En effet, la dégradation semble y être le fruit de processus d'érosion dont les effets s'amplifient avec le temps. Il s'agit généralement d'une reprise de l'érosion linéaire qui permet au cours d'eau de s'ajuster aux nouvelles conditions hydrologiques qui régissent le bassin. On peut généralement observer des berges sapées à leur base, qui provoquent des glissements de terrain sur les versants, et un recul de la tête des versants. Il en résulte des vallées très incisées et larges dont les versants sont à nu. De plus, on remarque une incision des ravins qui autrement ne contiendraient pas de cours d'eau (la contribution du bassin n'y est pas assez concentrée, sans l'intervention des drains souterrains, pour leur formation),

Il semble y avoir une corrélation spatiale entre la localisation des drains et les sites particulièrement dégradés, mais ce n'est pas évident.

Les dépôts de surface qu'on y retrouve, des argiles marines très

instables, évoluent généralement par mouvements de masse, il devient donc pratiquement impossible d'isoler dans l'évolution de ces vallées, la part attribuable à la mécanique des sols, de celle imputable à un déséquilibre d'ordre anthropique des bassins-versants. En d'autres termes, il s'agit de faire une distinction entre l'érosion causée par la migration normale des cours d'eau et celle provoquée par des modifications dans l'utilisation du sol,

Afin d'augmenter nos chances de détecter l'effet du drainage souterrain, nous appliquerons différentes méthodes d'évaluation des effets, sur deux régions. La première comprend le bassin de la rivière Petite Yamachiche qui est située dans les Basses-Terres du St-Laurent, En deuxième lieu, les méthodes seront testées dans une région de l'Estrie où l'intensité des activités agricoles est moindre et où les sédiments de surface sont plus stables,

1.1-Le projet

Le projet proposé repose sur deux postulats. Premièrement, différentes études, particulièrement celles du F.D.E.U. (Field Drainage Experimental Unit) qui seront présentées en détail plus loin, ont mis en évidence l'effet du drainage souterrain sur l'hydrologie des cours d'eau qui reçoivent les drains. Règle générale, l'effet consiste en une augmentation importante du débit de pointe, observé dans un plus court laps de temps. L'hydrogramme de crues y est pour ainsi dire plus compact.

De plus, nous savons que la géométrie hydraulique des cours d'eau s'ajuste aux variations d'écoulement. Généralement une augmentation du débit implique soit une augmentation de la superficie de la coupe transversale, soit une accélération de la vitesse. Des modifications de vitesse sont concomitantes avec des changements dans la pente du lit (Schumm-1969, 1975, Mackin-1948). Nous sommes donc en droit de prévoir des modifications morphologiques des cours d'eau qui subissent des changements anthropiques de régime. A un niveau local, ces changements morphologiques consistent en la construction de formes d'érosion autant que d'accumulation. Il s'agit d'ajustements temporaires permettant au système fluvial de parvenir à un nouvel équilibre.

L'intérêt de ce projet réside dans le fait que l'on tentera d'établir un lien entre les études hydrologiques entreprises par les ingénieurs agricoles et les études morphométriques effectuées par les géomorphologues, Aux vues du commentaire de Armstrong cité en page 4, il est à noter que cette approche est nouvelle pour traiter de l'impact du drainage agricole sur l'environnement.

1.2-L'effet du drainage sur l'hydrologie

Le drainage agricole a pour but d'abaisser la nappe phréatique. Ceci est possible par l'implantation d'un réseau de canalisations de surface, souterrain ou mixte. On discutera ici sans discernement des différents types de drainage souterrain. Il s'agit de canaux construits sous la surface des champs à l'aide de tuyaux de plastique ou de tuiles d'argile. Dans les sols très cohésifs on retrouve parfois de simples cavités souterraines sans qu'aucune forme de tuyaux n'y soit introduite. Les drains sont alors creusés à l'aide d'une charrue-taupe ("mole drainage"). Ces canaux sillonnent toute la superficie des champs, pour se déverser le long du réseau hydrographique déjà existant ou d'un fossé de drainage qui à son tour se déversera dans un cours d'eau. Les canaux permettent à l'eau s'infiltrant dans ces sols d'être évacuée plus rapidement. Cette façon d'évacuer l'eau par les drains permet aussi d'abaisser la nappe phréatique et d'améliorer l'aération du sol. De plus, les variations de température sous la surface des champs sont atténuées, ce qui permet de semer plus tôt au printemps et d'offrir une meilleure protection face aux gelées hâtives de l'automne.

Une telle manipulation du système hydrologique, si elle n'est pas toujours essentielle à la culture, en augmente du moins la productivité.

Aycroft & Massey (1975) ont compilé les travaux de recherche qui ont porté sur les effets hydrologiques du drainage, Les conclusions de ces études sont tellement contradictoires qu'elles affirment ne pas y voir d'influences leur permettant de croire en un effet du drainage souterrain sur l'hydrogramme de crue, Il faut dire que ces travaux comportent des conditions d'expérimentation très différentes, En effet, on n'y retrouve aucune comparaison possible quant à l'échelle à laquelle ces études ont été menées. Certaines portent sur des milieux naturels alors que d'autres proviennent de sites expérimentaux, De plus, les caractéristiques hydrogéologiques des sols, leur condition de saturation suite aux précipitations, Les types de drainage et leur ampleur ne sont pas similaires' Pourtant il est connu que ces facteurs introduisent des variations dans le temps de réponse et le volume d'eau qui arrive au cours d'eau (Trafford & Aycroft-1973) et doivent par conséquent être contrôlés,

On peut observer à la figure 2, des nuances du comportement hydrologique, pour un même bassin lors de différents événements de précipitation, de deux types. Les travaux de Burke et al rapportés dans l'article de Aycroft & Massey (1975) consistent en la comparaison de deux sites, l'un draine à l'aide de canaux souterrains sans tuyaux ("mole drainage") et l'autre non-drains, Les sites sont localisés à Rallinamore dans le comté de Eire en Grande-Bretagne. Ils ont étudié la relation entre les précipitations et les débits à ces deux endroits,

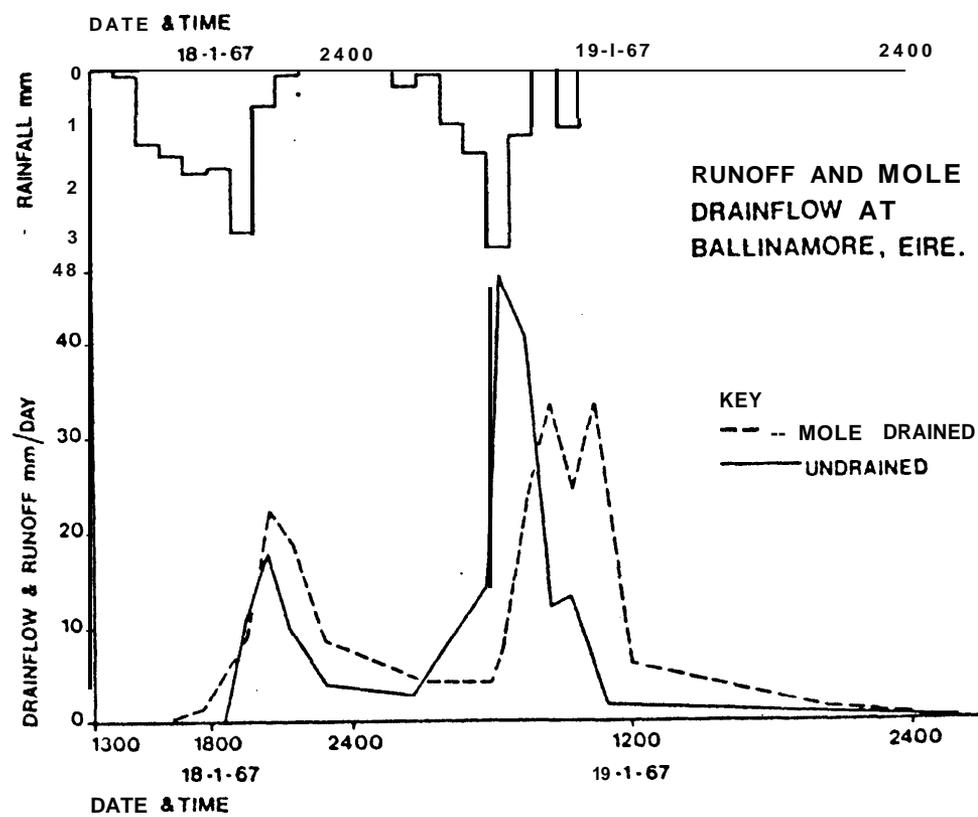


Figure 2 : Comparaison d'hydrogrammes de crues entre des sites drainés et non-drainés. Tiré de Rycroft & Massey (1975)

Le débit du site drainé comprend l'eau provenant du ruissellement dans le bassin, auquel s'additionne la contribution des drains, Des résultats provenant de cette expérience ont été analysés par Rycroft & Massey (1975).

Premièrement, dans les deux cas (drainé, non-drainé), durant le deuxième événement la contribution du bassin est plus importante que lors du premier, et ce, bien que la précipitation y soit moins forte. De plus, le cours d'eau semble réagir de façon plus rapide. Ceci est dû à ce que le bassin est encore sous l'influence de la première pluie,

La nuance de comportement observée en deux lieux consiste à comparer la relation entre les deux types de sites pour ces mêmes deux événements. On note un renversement des comportements lors de la deuxième précipitation. Ainsi, lors du deuxième événement, le débit maximum du cours d'eau drainé est plus faible que celui du cours d'eau non-drainé. De plus, le délai entre la base et le pic de l'hydrogramme y est plus long. On explique cette différence observée entre le comportement de cet événement et ce lui de l'événement précédent, entre autre par le fait que les conditions de saturation suite au premier événement prévalent encore dans le sol non-drainé. La réponse suite à la précipitation est donc presque immédiate. Par contre, dans le sol drainé, l'eau doit tout de même s'infiltrer jusqu'aux drains,

Si l'on fait abstraction de ces divergences, on observe règle générale dans un sol drainé que l'eau de pluie est rapidement canalisée vers le cours d'eau, et ce, dans des proportions beaucoup plus importantes qu'avant le drainage (Bailey & Bree-1981). On peut voir à la figure 3, l'augmentation de débit maximum suite à l'implantation d'un réseau de drainage dans le bassin ①.

Ceci est dû au fait que l'infiltration de l'eau se produit sur une moins grande profondeur puisqu'elle est captée par les drains. De cette façon, l'eau réside moins longtemps dans le sol et une partie moindre est évaporée. En conséquence, le débit de la rivière est augmenté.

le temps de réponse est également affecté. Sur la figure 3, on voit aussi que le délai nécessaire à ce que le débit maximum parvienne au cours d'eau est de beaucoup diminué lorsque le bassin est drainé 0^2 . Ainsi, dans un bassin drainé tout comme à l'intérieur d'un bassin naturel, les précipitations s'acheminent vers la rivière. Cependant dans un bassin drainé, elles y parviennent en masse par les drains, et non plus peu à peu en fonction de la conductivité hydraulique du sol.

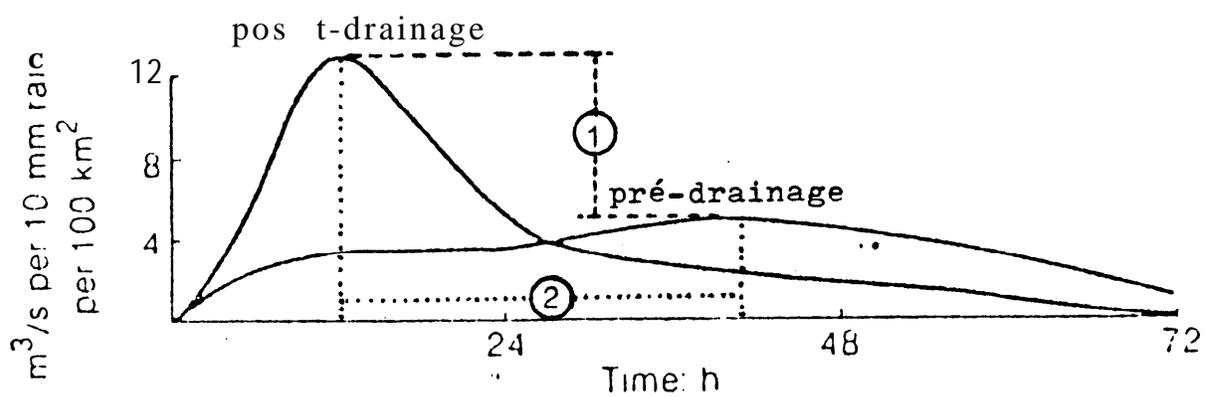


Figure 3 : Hydrogrammes unitaires pré et post-drainage du bassin Henagh. Tiré de Bailey & Bree (1981)

Comme nous l'avons vu précédemment le débit est augmenté de façon ponctuelle lors d'une précipitation. Ce comportement est également perceptible dans la relation entre le débit et l'intervalle de récurrence (fig.4). Bailey & Bree (1981) ont étudié les relevés hydrologiques d'un bassin, afin de comparer son comportement antérieur et postérieur aux travaux de drainage. Les débits majeurs sont plus fréquents suite au drainage. Par exemple, un débit de $40 \text{ m}^3/\text{s}$ considéré catastrophique (d'un intervalle de récurrence=20 ans) avant le drainage, a une fréquence suite à ces travaux d'en moyenne un an,

D'ailleurs on remarque que les débits d'un intervalle de récurrence donné sont toujours supérieurs pour les événements postérieurs au drainage. Cela se traduit par un surplus d'eau dans le réseau hydrographique. Afin de l'évacuer, le cours d'eau devrait augmenter sa capacité (superficie de la coupe transversale) et/ou modifier sa pente. Ces changements morphologiques entraînent la dégradation des bassins-versants.

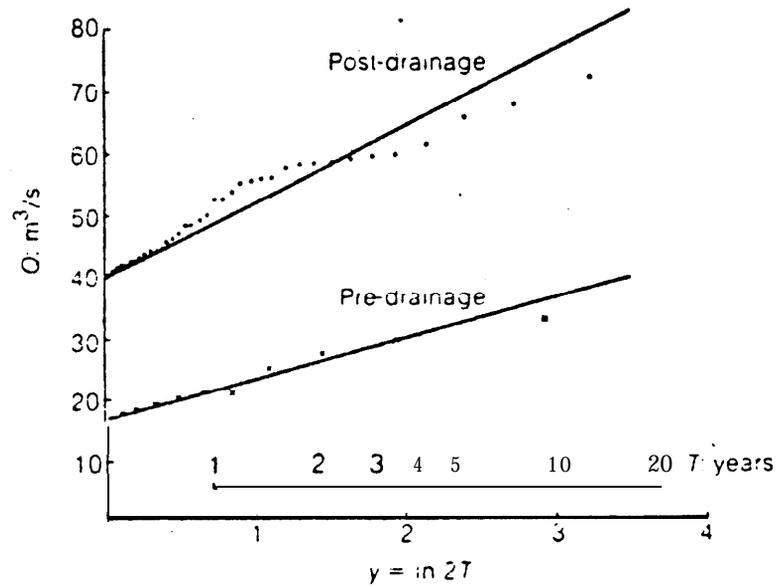


Figure 4 : Relation entre le débit et l'intervalle de récurrence pour les données pré et post-drainage du bassin Nenagh Tiré de Bailey & Bree (1981).

Nous anticipons des résultats similaires à ceux obtenus par Bailey & Bree. D'ailleurs notre approche quant au design expérimental sera assez semblable (voir chapitre 2). Nous prévoyons effectuer un contrôle assez strict des conditions. Ceci afin de parvenir à expliquer les modifications de la forme observées dans les bassins drainés, Notre intérêt porte d'avantage sur cet aspect du problème que sur l'impact hydrologique. En effet notre premier objectif est d'établir un lien entre les modifications entraînées par le drainage et les changements morphologiques. Si possible nous en expliquerons les mécanismes qui sont probablement liés au comportement hydrologique.

Une autre conséquence du drainage que l'on ne doit pas négliger, consiste en l'augmentation de la concentration des sédiments en suspension, Une étude de Burt et al. (1983) décrit l'impact du drainage sous forme de fossés sur la quantité de sédiments en suspension dans les cours d'eau. Ils ont échantillonné le même cours d'eau avant et après que des fossés soient excavés. Plusieurs événements de précipitation ont été documentés de façon détaillée, dans les deux cas, Ils ont étudié la relation entre le débit et la charge en suspension entre autre à l'aide d'une analyse de régression, D'après les résultats qu'ils présentent à la figure 5, la concentration de sédiments augmente plus rapidement en fonction du débit (la pente de la droite est plus forte) pour les données postérieures aux travaux de drainage.

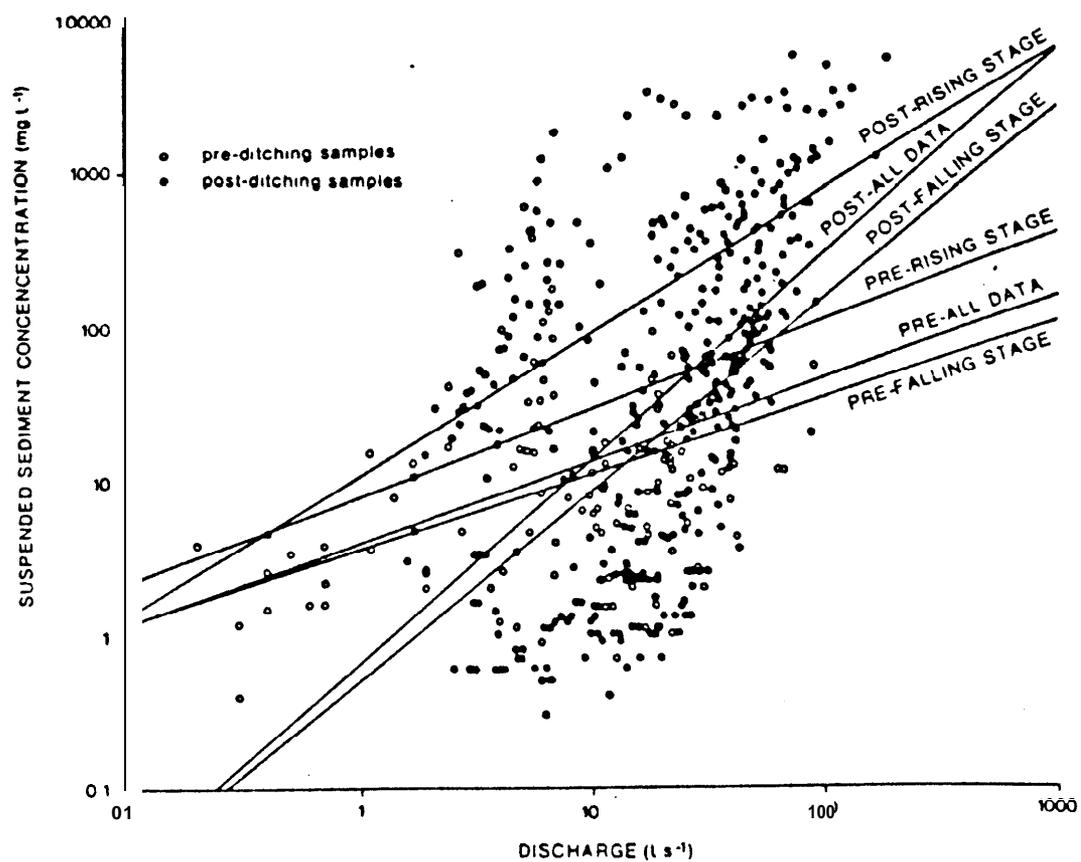


Figure 5 : Comparaison des relations entre la charge en suspension et le débit en fonction de la période pré ou post-drainage.

Tire de Burt et al (1983).

Ils expliquent cette différence par une disponibilité accrue en sédiments lors des travaux, puisque le sol est alors mis à nu, donc plus exposé au ruissellement de surface. Et ce, d'autant plus qu'il s'agit de sites d'où la végétation est absente. Généralement la végétation en ralentissant l'eau de ruissellement et en maintenant le sol diminue l'érosion. Cette explication de l'augmentation des sédiments devrait également être applicable au drainage souterrain. Cependant dans les deux cas (drainage souterrain ou de surface), il n'est pas évident que ce soit une interprétation juste. Le drainage, quel qu'il soit, devrait diminuer le ruissellement de surface, puisqu'il a été conçu pour favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol. Donc, bien que les sédiments soient disponibles, en principe, ils ne pourraient être pris en charge. Ainsi il est probable que l'augmentation de sédiments provienne de la prise en charge de ces sédiments par l'eau qui percole dans le sol. D'ailleurs le volume d'eau qui migre à travers le sol est plus important suite au drainage justement parce que ces travaux favorisent l'infiltration de l'eau. Toutefois, au Québec on encourage l'installation de filtres autour des drains afin d'éviter qu'ils ne se bloquent. Les sédiments transportés devraient donc y être trappés, et ainsi diminuer le débit solide des cours d'eau.

Nous apporterons des éléments de réponse à cet aspect du problème en comparant la charge en suspension échantillonnée dans le cours d'eau à l'amont et à l'aval de l'exutoire des drains (voir chapitre 2).

1.3-L'effet du drainage sur la morphologie

Pour être en équilibre les cours d'eau doivent avoir une puissance (débit \times pente) suffisante pour évacuer le volume d'eau et de sédiments provenant de l'amont, sans pour autant éroder leur coupe transversale ou encore provoquer des accumulations (Bull-1979). D'après Mackin(1948), ce genre de profil d'équilibre évolue en ajustant légèrement sa pente lorsque des modifications de débit ou de charge sédimentaire sont observées dans le bassin. Ce concept était alors appelé "Graded stream".

Schumm (1969) a exploité ce concept pour caractériser les cours d'eau selon leur mode d'évolution à travers le temps:

- de façon stable
- par aggradation
- par dégradation

Cependant, il ajoute une autre variable à ce modèle. Selon lui le cours d'eau s'adapte aux changements dans le bassin par un ajustement de pente mais également en modifiant la forme de la coupe transversale.

Ainsi, il définit les cours d'eau stables comme n'ayant aucunement besoin de modifier leur coupe transversale et leur pente de façon majeure, puisqu'on n'y observe pas de variations de débit et de charge sédimentaire,

Cet état est comparable aux cours d'eau en équilibre ("graded stream") décrits par Mackin.

Par contre, les cours d'eau où il y a aggradation (fig.6-a) sont caractérisés par des accumulations disproportionnées par rapport à la taille de la coupe transversale. Ces accumulations sont dues à une diminution drastique de la capacité de transport du cours d'eau (chute de débit), parfois jumelée à la disponibilité d'une nouvelle source de sédiments. Il en résulte une augmentation de la pente du lit afin de provoquer une accélération de l'écoulement permet tant de prendre en charge un plus grand volume de sédiments.

Les cours d'eau se dégradant (fig.6-b), quant à eux, subissent une érosion excessive du lit et des berges. Ceci est dû à une déficience de la charge à transporter. Cette déficience peut s'expliquer par l'épuisement des sédiments disponibles ou par l'augmentation de débit. L'accroissement de la capacité de prise en charge de sédiments qui résulte d'un apport accru en eau est une cause importante d'érosion. Mais, ces processus d'érosion impliquent une diminution de la pente qui produira un ralentissement de l'écoulement et par le fait même une diminution de la capacité de prise en charge.

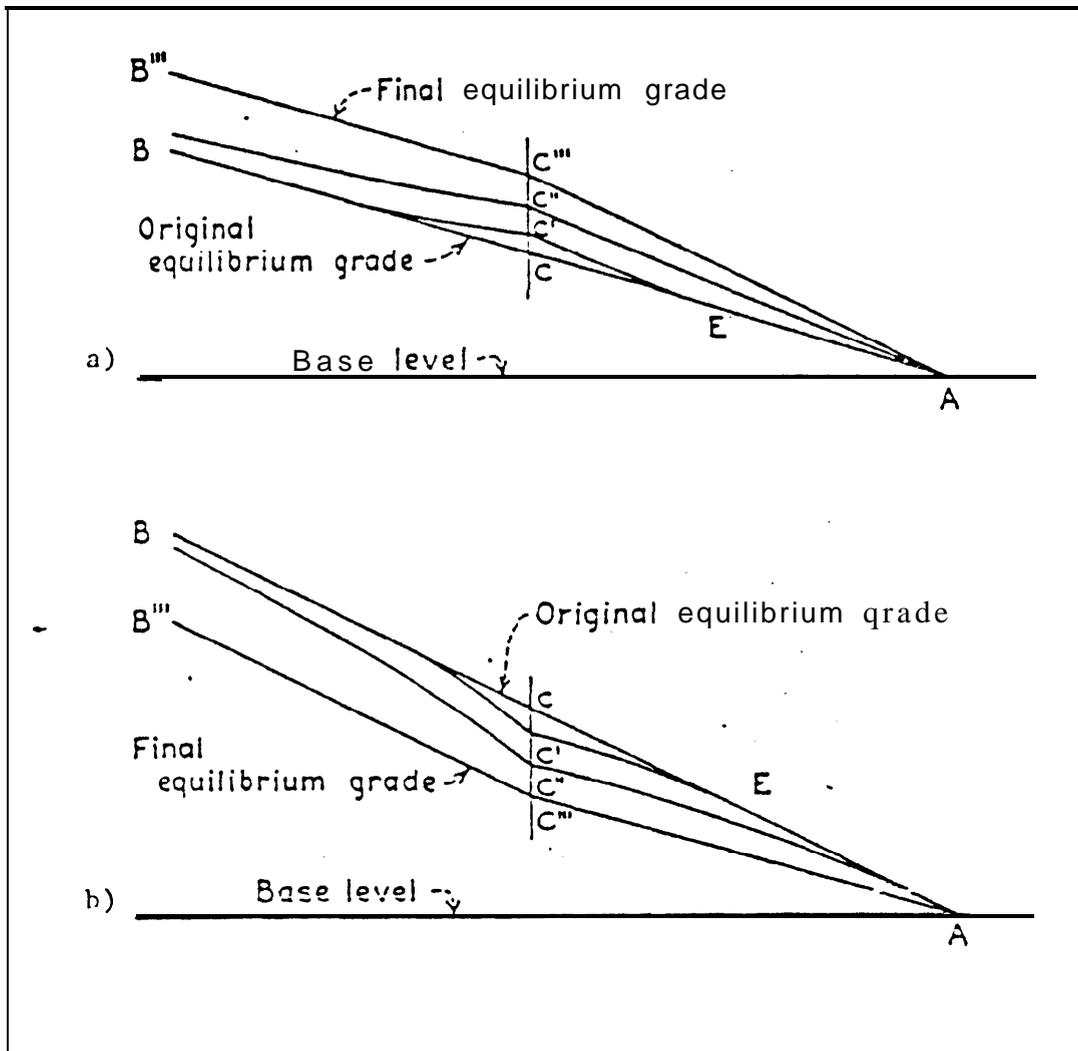


Figure 6: Evolution de profils longitudinaux; (a) d'aggradation et (b) de dégradation, Tiré de Lane (1955-a)

Cependant il faut être très prudent lorsque l'on cherche à identifier, à l'aide des variations de pente, un état de déséquilibre. Localement on peut faire face à des stades temporaires d'évolution, où le gradient de pente est plus élevé ou même contraire à celui du stade final d'équilibre,

Par exemple, au front d'une accumulation (fig.6a-C') le gradient de pente sera plus élevé que celui du profil final (fig.6a-B'' à A). Lorsque de l'érosion excessive prend la forme de rupture de pente, une inversion de gradient est observée. La pente est localement très forte (fig.6b-C') alors que le profil d'équilibre résultant sera de pente très faible (fig.6b-B'' à A).

Nous avons identifié dans la section précédente les effets du drainage sur le régime hydrique, nous avons vu qu'il s'agit généralement d'une augmentation marquée du débit de pointe. De plus, il est possible qu'en certain cas la charge sédimentaire soit moindre. Nous avons donc de bonnes raisons d'anticiper de la dégradation sur les cours d'eau suite aux travaux de drainage. De plus, même si on ne parvient pas à vérifier ces changements hydrologiques, il n'en demeure pas moins que les confluences créées par l'arrivée de drains dans le cours d'eau sont une source d'érosion ponctuelle qui entraîne un certain déséquilibre du profil. Ainsi, on devra à l'avenir retrouver sur ces cours d'eau une érosion excessive de la coupe transversale et une diminution de la pente du lit, au fil des ans.

Afin d'évaluer l'effet qui se reflète sur la coupe transversale, nous utiliserons l'approche proposée par Leopold & Maddock (1953). Ils définissent la forme de la coupe transversale d'une rivière, comme étant une fonction du débit qu'elle peut évacuer. C'est ce qu'ils ont appelé "le concept de Géométrie Hydraulique". Ce concept est essentiellement issu de la Théorie de Régime utilisée par les ingénieurs (Blanch-1969). La géométrie hydraulique est basée sur plusieurs équations empiriques qui décrivent les cours d'eau s'écoulant en milieu naturel. Il s'agit d'une approche qui s'apparente, par l'importance qu'y prend la pente et la vitesse, aux modèles permettant aux ingénieurs d'évaluer la taille optimale des canaux d'irrigation, afin d'éviter la sédimentation ou l'érosion. Cependant, contrairement à la Théorie de Régime, le type de sédiments qui composent le lit est indépendant du modèle. De plus, la pente des berges n'est pas prépondérante comme c'est le cas dans la "Théorie de Force de Traction" (Lane-1955b), bien qu'elle affecte de façon indirecte la valeur des exposants de géométrie hydraulique,

Ainsi, la largeur (W), la profondeur (D) et la vitesse (U) des cours d'eau y sont représentées comme des fonctions de puissance du débit (Q):

$$W = a Q^b$$

$$D = c Q^f$$

$$U = k Q^m$$

où a, c, k, b, f, m sont constants,

$$a \times c \times k = 1 \text{ et } b + f + m = 1$$

CG concept est fort utile lorsque l'on veut faire une étude comparative, sur différents paramètres de forme en fonction du débit, selon plusieurs types de bassins, On peut à l'inverse exprimer le débit en fonction des paramètres de forme et d'écoulement:

$$Q = C U$$

$$\text{où } C = W \times D$$

DG cette façon il est plus facile de visualiser que les variations de débit entraîneront des modifications de la coupe transversale (C), et/ou des changements de vitesse. Ces derniers se traduiront alors par des ajustements de la pente du lit,

Il est difficile de prédire de quel façon les cours d'eau réagiront aux variations de débit. Généralement, si les sédiments sont difficilement érodables, on observera pour contrebalancer l'augmentation de débit, une augmentation de la vitesse (qui implique une pente plus forte) au lieu d'une augmentation de capacité,

Ici la variable indépendante qui détermine la forme et la taille: du cours d'eau est le débit. Plusieurs méthodes ont tenté de définir à quel débit la coupe transversale d'un cours d'eau peut être ajustée, Wolmann & Miller (1960) ont montré l'importance autant de l'amplitude que de la fréquence des événements pour

déterminer le débit dominant (fig.7). D'après eux, la coupe transversale est généralement adaptée à des événements d'amplitude moyenne mais fréquents, Précédemment la tendance était d'imputer à des événements catastrophiques, très gros mais rares, la morphologie des cours d'eau.

Hey (1975) a défini le débit dominant comme étant le débit de plein bord. Il a démontré qu'en milieu tempéré cet événement a un intervalle de récurrence de 1 à 1.5 an. Nous avons utilisé cette définition, ce qui nous permet d'évaluer la superficie de la coupe transversale lors du débit dominant plus facilement. Puisque, sur le terrain nous avons choisi d'identifier le plein-bord à la hauteur correspondant à la rupture sur les berges à partir de laquelle le rapport largeur/profondeur augmente de façon importante (Harvey-1969). Cependant l'application de cette substitution est fonction de la possibilité d'identifier sur le terrain sans équivoque le niveau de plein bord. Règle générale, afin de faciliter les relevés de terrain, nous avons préféré substituer à la valeur du débit, la superficie du bassin sur carte (A) à l'aide de l'équation:

$$Q = y A^x$$

Nous sommes conscient que x et y varient en fonction du climat qui prévaut dans le bassin, de la taille de ce dernier et du relief qui le caractérise,

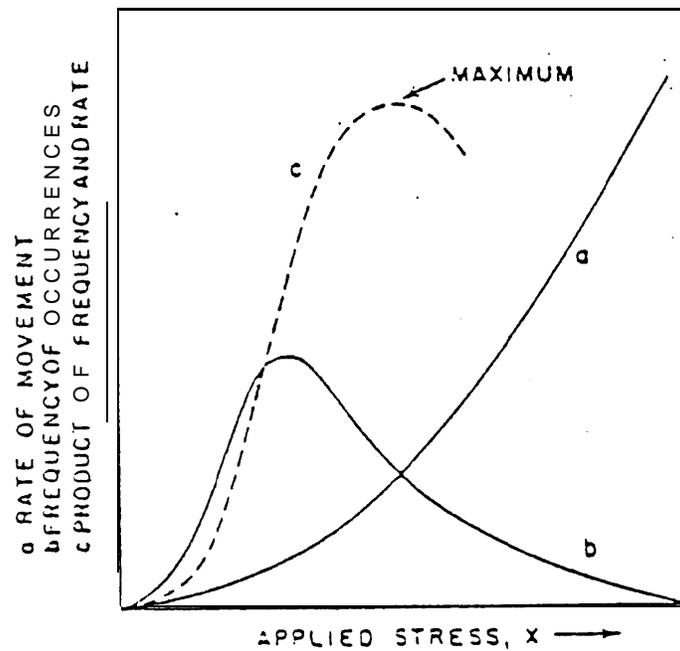


Figure 7 : Courbe représentant le produit de l'ampleur et de la fréquence des évènements (c).

(Le débit dominant correspond au point maximum,

a=courbe de taux de transport

b=courbe de fréquence des évènements)

Tiré de Holman & Miller (1960)

Leopold. et al.(1964) ont obtenu des valeurs de "x" variant entre 0,65 et 1.0 en fonction de l'intervalle de récurrence du débit dominant. Cependant on peut assumer "x" constant lorsque l'on travaille avec des bassins qui sont tous compris dans la même classe de taille comme définit par Klein(1981).

En résumé, notre hypothèse de recherche est la suivante;
Le drainage souterrain provoque des changements morphologiques à l'intérieur de bassins-versants.
Cette hypothèse s'appuie sur le fait que l'installation de drains souterrains provoque des changements hydrologiques dans les bassins, De plus, nous savons que la morphologie des cours d'eau est ajustée au régime hydrique,

Ainsi, afin de montrer l'effet du drainage sur les bassins-versants, nous appliquerons différentes méthodes d'analyse qui permettront de comparer le comportement des bassins naturels à celui des bassins drainés,

Chapitre 2:Techniques d'évaluation et résultats

Dans le cadre de ce projet de recherche, nous voulons **évaluer** des **méthodes** nous permettant de montrer l'impact du drainage **souterrain sur la morphologie des petits cours** d'eau,

Plusieurs **design** expérimentaux seront **décrits** dans les pages suivantes. Il s'agit de méthodes que l'on croyait, à prime abord, applicables dans différentes régions, Nous exposerons aussi les difficultés d'application que nous avons rencontrées. Ces difficultés sont en partie associées aux caractéristiques régionales tel la nature du **dépôt** de surface, et/ou l'intensité des activités agricoles, Nous discuterons également des **résultats** obtenus lorsque les **méthodes** ont pu être testées. En conclusion, nous déterminerons lesquelles de ces **méthodes** semblent optimales,

Il est difficile de mettre en **évidence** l'effet provoqué par l'implantation des drains souterrains, Généralement plus d'un **phénomène** affectent les **bassin-versants**. Il survient un problème lorsque l'on **veut** discerner quel le part des **caractéristiques** de la morphologie et de l'hydrologie est attribuable à une **cause** particulière. De plus, il est fréquent que l'effet **s'atténue** avec le temps, Enfin, nous ignorons à quel le **échelle** l'effet sera le plus facilement perçu, En effet, si l'extension spatiale d'un

phénomène est importante, une **méthode d'évaluation à l'échelle régionale sera plus appropriée**. Par contre, **si** il s'agit de répercussions ponctuelles, il sera plus facile de les détecter en utilisant **des** méthodes d'évaluation **applicables à l'échelle** d'un bassin-versant ou d'un segment **de** cours d'eau. Pour contrer ce **problème**, les **méthodes d'évaluation** proposées se situent à trois **niveau**:

- régional (comparaison de petits bassins)
- longitudinal (à l'échelle d'un bassin-versant)
- ponctuel

selon lequel elles seront présentées,

1. Régionale	2. Longitudinale	3. Ponctuelle
A- Photo-Interprétation	A- Profil Topométrique	A- Profil de vélocité
B- Survol	B- Etude Descriptive	B- Relevés de charge en suspension
C- Etude hydrologique (à long terme)	C- Etude morphologique et hydrologique (à court terme)	

Tableau 1 : Méthodes d'évaluation proposées

21-Etude régionale

Tout d'abord, nous voulons vérifier si les modifications de régime provoquées par le drainage souterrain ont un effet sur la morphologie et la taille des cours d'eau,

Il est important ici de discuter de la taille des bassins étudiés. Nous ne croyons pas opportun d'effectuer ces études sur des cours d'eau de grande taille, malgré les inconvénients que cela crée dans l'application de certaines méthodes. En effet, il est important pour nous que les relevés de terrain s'opèrent de façon optimale. C'est pourquoi les cours d'eau ne doivent pas être trop large ($\neq 0.2m$) ni trop profond ($\neq 0.5m$), sans quoi nous serions obligés de construire des infrastructures coûteuses et surtout encombrantes. D'autant plus que, pour maximiser les possibilités de détecter l'effet du drainage sur le cours d'eau, le rapport de débit entre le drain et le cours d'eau qui la reçoit doit être le plus grand possible. Si le drain est très petit en comparaison de la taille du cours d'eau, son débit sera absorbé sans aucun problème. Il ne s'agit pas ici de biaiser l'information, mais plutôt de maximiser les chances de détecter l'effet. Il sera toujours temps par la suite de pondérer nos conclusions en fonction des conditions le plus fréquemment rencontrées.

Nous avons donc sélectionné des cours d'eau localisés à l'intérieur de bassins dont la superficie varie entre 0.1 et 10 Km². Nous avons ainsi pris garde de restreindre l'échantillonnage à une seule classe de taille, il est important que cette condition soit respectée, car les relations de la géométrie hydraulique ne sont pas constantes d'une classe de taille à l'autre (Klein-1981, Thornes-1974, Carlston-1969).

A-Photo-interprétation

Nous avons tenté de montrer l'évolution de la dégradation dans la vallée de la Yamachiche, et d'établir une corrélation spatiale entre ce processus et le drainage,

Pour ce faire nous avons noté l'incision et l'élargissement de la vallée à travers le temps, à l'aide de photographies aériennes, Travail de cartographie auquel nous avons superposé l'emplacement des drains existant pour chacune des années étudiées. Il était très difficile d'avoir accès aux plans de drainage, à cause de la loi sur la confidentialité des dossiers, Quand il a été possible de consulter cette information, on a pu s'apercevoir que les renseignements étaient souvent imprécis et incomplets; les plans n'ayant pas été mis à jour; les données étant souvent reportées sur des fonds de carte inadéquats et la distinction entre les travaux projetés et effectués n'étant pas

toujours évidente, On a pu également se rendre compte que d'un centre d'information à l'autre les renseignements sont souvent contradictoires, Ainsi nous avons été dans l'impossibilité de localiser de façon précise l'emplacement de certains drains, D'autant plus qu'il était difficile de vérifier leur localisation sur le terrain, car les drains sont souvent ensevelis sous des tas de pierres,

Les relevés étaient faits à des têtes de bassin, puisque les drains s'y déversent, afin d'accroître les possibilités d'observer des changements. Nous voulions ainsi éliminer les risques de ne pas détecter l'effet dans l'éventualité qu'il décroisse en fonction de la distance aval le long du profil.

Les premiers travaux de drainage dans cette région remontent à 1964. Nous avons donc utilisé quatre mosaïques de photo-aériennes datant respectivement de 1964, 1970, 1975 et 1977. Ces différentes séries de photos n'étaient pas à la même échelle, L'agrandissement de certaines d'entre-elles et la réduction des autres, ont fait en sorte que beaucoup de distorsion a été introduite lors de la cartographie, Ainsi, on ne peut se fier aux résultats obtenus quant à l'ampleur de l'incision et à l'élargissement de la vallée.

Nous croyons que l'utilisation d'instruments plus sophistiqués que le stéréoscope et les barres parallèles dont nous disposons, ne permettrait pas d'avantage de discerner les modifications apportées au réseau. La résolution des photos n'est pas assez bonne pour représenter de façon précise ces cours d'eau de très petite taille,

La corrélation spatiale entre la dégradation des vallées et les travaux de drainage n'a donc pu être établie,

Nous n'avons pas répliqué la démarche pour la région choisie de l'Estrie, les photos n'étant pas disponibles. Étant donné les résultats peu fructueux que nous procure cette démarche, nous n'en favorisons pas l'utilisation ultérieure, surtout qu'il est très difficile d'obtenir plusieurs mosaïques de photos représentant la même région à travers le temps, autant que possible à une même échelle. Ceci éliminerait évidemment une partie des erreurs,

B-Survol

Par un survol régional, il est possible d'établir si la relation entre la superficie des bassins et la forme des cours d'eau qui s'y trouvent est modifiée suite à l'implantation de drains. Pour que la comparaison soit valable, les deux types de cours d'eau; drainés et naturels, doivent être ajustés aux conditions qui prévalent dans le bassin,

Nous entendons par nature l', que les bassins ne sont pas affectés par des manipulations anthropiques comme le drainage, la coupe de bois ou l'urbanisation, Toutefois il peut s'agir autant de sites en milieu ouvert (zone agricole) que sous forêt, On identifiait les bassins comme étant naturels après les avoir parcourus sur le terrain. Pour étiquetter un bassin comme étant drainé, il nous suffisait que des opérations de drainage souterrain y aient été effectuées. L'ampleur et la méthode de drainage ne nous importait pas, Pour les cataloguer, nous avons consulté les cartes de drainage disponibles dans les bureaux régionaux du MAPAQ (Ministère de l'Agriculture, des Pêches et de l'Alimentation du Québec). De plus, nous avons vérifié, au même endroit, à partir des plans de drainage de chaque lots, si les travaux avaient effectivement été exécutés.

Nous n'avons pu appliquer cette démarche dans les Basses-Terres, la difficulté y étant de trouver des cours d'eau à l'état naturel, En effet, toutes les têtes de vallées que nous avons visitées et qui étaient caractérisées par l'absence de drainage artificiel, l'étaient également par l'absence de cours d'eau permanents, De plus, les dépôts meubles de surface étant composés d'argile marine, l'érosion des versants y est due principalement aux mouvements de masse et il devient difficile d'isoler l'effet du drainage. Ainsi, suite aux problèmes

d'échantillonnage rencontrés dans cette région, nous avons préféré travailler dans un milieu plus stable. L'échantillonnage pour le survol s'est donc fait uniquement dans l'Estrie (voir fig.8).

Nous avons échantillonné vingt-quatre bassins compris à l'intérieur d'une même classe de taille, entre 0.1 et 10 Km² (Klein-1981), répartis en deux groupes dont la taille est équivalente (n=12). Cette répartition est faite selon que les bassins sont naturels ou qu'un réseau de drainage y ait été implanté. Chaque mesure de coupe transversale du lit était faite sur un seuil, pour éviter que les données soient biaisées par la séquence seuil-mouille (Richards-1976). La séquence seuil-mouille consiste en un cycle de variation de la profondeur du cours d'eau que l'on associe à la dynamique des fluides. De plus, on évitait les segments perturbés par: des troncs d'arbres, des chemins de ferme, etc.

Nous avons mis en relation les variables de forme (W,D,W/D,C,S) et la taille du bassin à l'aide d'une analyse fonctionnelle (Church & Mark-1980). Cette méthode permet d'établir si deux paramètres co-varient, autrement dit, si l'augmentation des paramètres de forme concorde avec l'augmentation de taille des

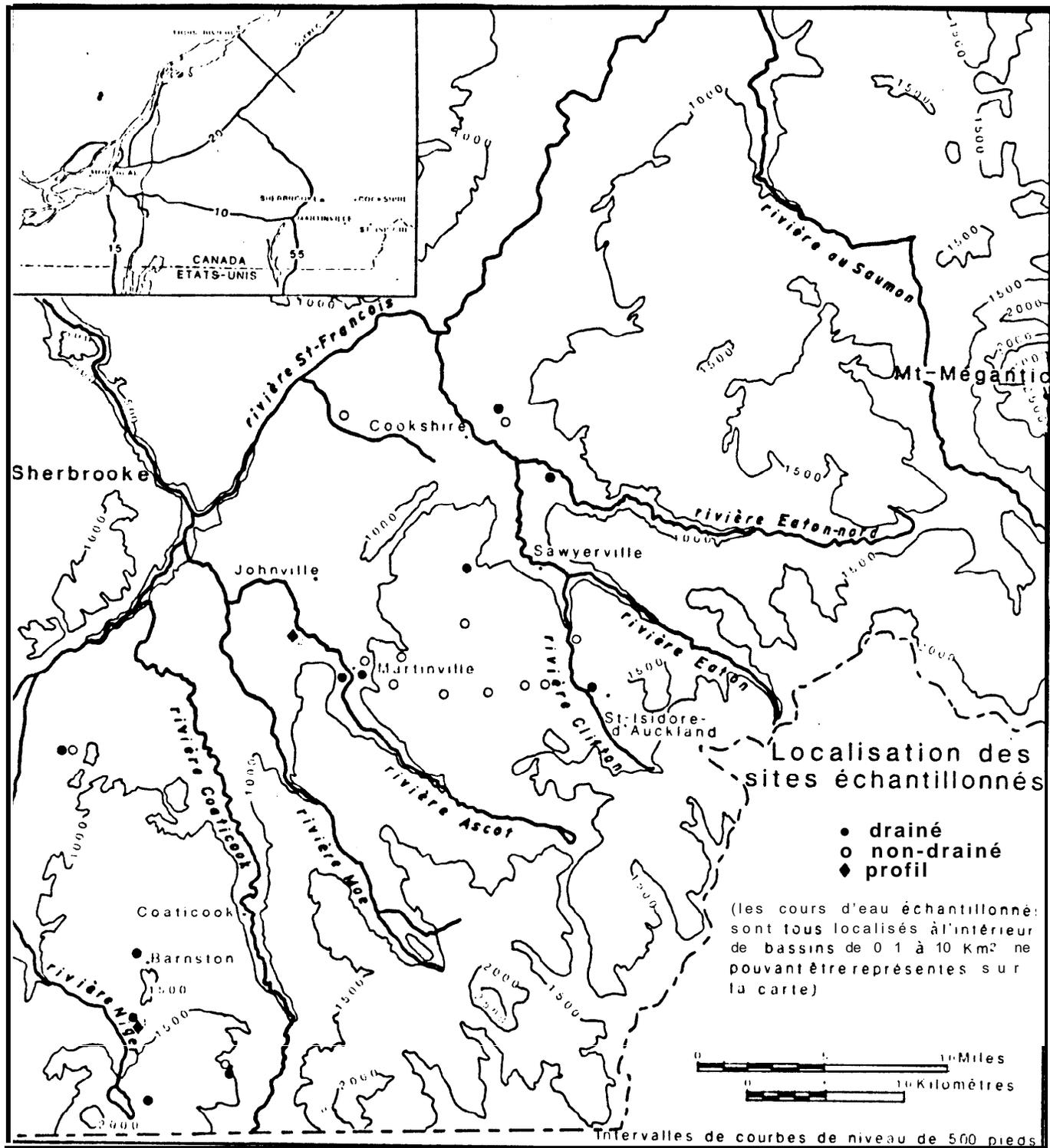


Figure 8 : Carte de localisation des sites échantillonnés pour l'analyse fonctionnelle et les profils longitudinaux.

bassins. De cette façon nous avons pu confirmer l'existence de relations entre la largeur, de même que la capacité, et la superficie du bassin (tableau 2). On anticipait ces résultats qui sont devenus classiques avec le concept de géométrie hydraulique. Cependant, le fait que cette analyse soit faite sous une forme comparative, nous permettait de vérifier si les deux types de sites (drainés, non-drainés) ont un comportement significativement différent.

Comme on peut le voir à la figure 9, l'augmentation de la capacité, tout comme celle de la largeur, selon l'accroissement de la superficie des bassins est la même pour les sites drainés et non-drainés. La pente des droites de régression, dans les deux cas, ne sont pas significativement différentes. Elles ont été testées à l'aide de l'équation d'intervalle de confiance de Davies & Goldsmith (1972). Toutefois la capacité, de même que la largeur d'un cours d'eau drainé, est toujours supérieure à celle d'un cours d'eau naturel, pour une même superficie de bassin. C'est donc dire que le drainage provoque un élargissement de la coupe transversale. Nous expliquerons ce comportement par l'effet de crue provoqué par les drains, ce qui nécessite une plus grande superficie de coupe transversale pour évacuer sans débordement l'eau en surplus. Il est normal que cette augmentation de capacité se fasse par un élargissement plutôt que par l'incision du lit.

	Largeur		Profondeur		RapportH/D		Capacité		Pente	
	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND	D	ND
R	.74*	.71*	.29	.66*	.33	.07	.8*	.85*	-.03	-.20
r ²	.54	.51	.08	.44	.11	.01	.64	.72	.00	.04
b	.42	.43	.38	.42	.60	.73	.57	.61	-.73	-.46
a	2.05	1.53					.55	.25		

*significatif à 0.01

†significatif à 0.05

Tableau 2 : Résultats de l'analyse fonctionnelle entre les variables de forme des cours d'eau et la taille des bassins.

(D=drainé, ND=non-drainé, R=coefficient de corrélation,

r²=coefficient de détermination, b-pente de l'axe majeur réduit,

a=ordonnée à l'origine de l'axe majeur réduit.)

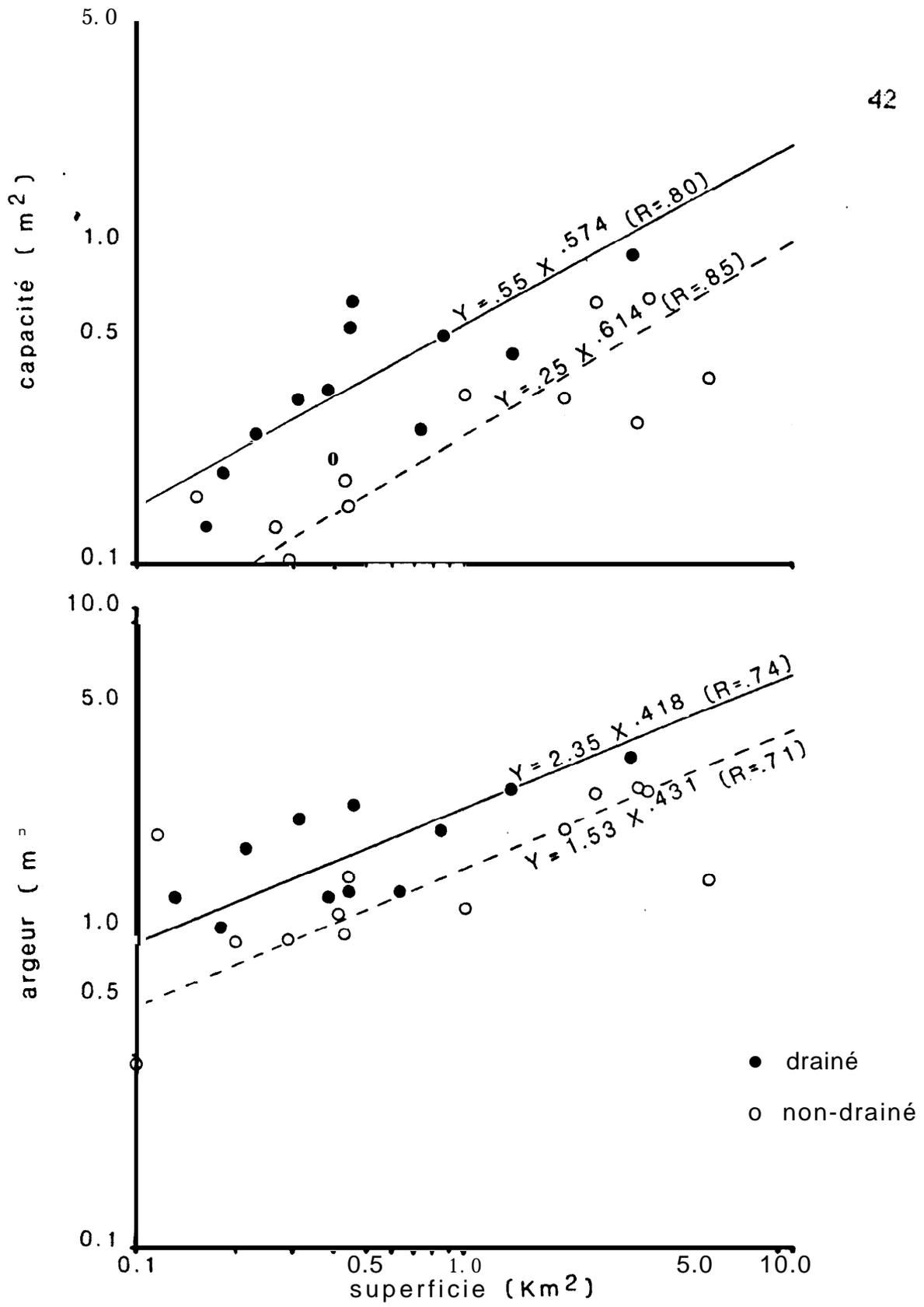


Figure 3 : Relations entre la forme des cours d'eau et la superficie des bassins.

Habituellement les sédiments du lit sont plus grossiers (de l'ordre du cailloux jusqu'au bloc), donc plus difficiles à prendre en charge que ceux des berges (composés de sable et de particules plus fines),

Par ailleurs, on note que l'effet est plus marqué sur la capacité que sur la largeur. C'est qu'il peut arriver qu'en milieu où les sédiments sont fins, par exemple dans les champs cultivés, les berges soient assez cohésives pour que l'augmentation de capacité se traduise aussi par l'incision du cours d'eau, Ce phénomène n'est pas assez fréquent pour que l'effet du drainage soit apparent sur la profondeur au même titre que sur la largeur, Cependant cela fait en sorte que l'effet du drainage sur la largeur est moins franc que sur la capacité,

Nous avons, par la suite, testé si la différence obtenue entre les sites drainés et à l'état naturel n'était pas plutôt due à la teneur moyenne des sédiments ou au type de végétation environnante.

Pour y arriver nous avons employé la même méthode graphique, appliquée sur le graphe d'analyse fonctionnelle, que celle utilisée pour montrer la distinction entre les sites drainés et non-drainés, Après avoir classifié les sites en fonction de la

taille moyenne des sédiments, on n'a pu établir de distinction entre le comportement des sites où les sédiments sont fins et celui des sites de sédiments grossiers, Tous ces sites constituent un nuage de points homogène, Par la suite nous avons refait la même démarche pour tenter de différencier les sites selon le type de végétation qu'on y retrouve. Il s'agissait ici d'une comparaison entre des sites sous forêt et des sites en milieu ouvert. Pour une seconde fois, il nous a été impossible de discriminer le comportement des deux types de sites,

Ainsi, les résultats nous permettent d'affirmer que la différence observée entre les sites drainés et naturels ne peut être due à des différences dans l'utilisation du sol.

Il est dommage qu'il ne fût pas possible d'échantillonner de la sorte plusieurs types de bassins, Comme nous l'avons vu précédemment des complications quant à la disponibilité de l'information relative au drainage, et de la difficulté à isoler l'effet du drainage des autres sources de dégradation ont été rencontrées, Les relations obtenues alors auraient permis d'élaborer un modèle de prédiction des changements de forme des cours d'eau en fonction de l'intensité du drainage,

Ce dernier permettrait de prévoir l'intensité des activités agricoles acceptable, pour des milieux spécifiques, afin d'éviter la dégradation des terres,

C-Etude hydrologique comparative (à long terme)

La dernière mission que nous entrevoyons pour une étude régionale se situe au niveau des paramètres hydrologiques. Il serait intéressant de comparer la relation entre le volume de précipitation et le débit évacué par un bassin de grande taille ($\approx 500 \text{ km}^2$), avant et après l'implantation de réseaux de drainage dans la région. Nous pourrions ainsi vérifier s'il existe des modifications dans le régime hydrique d'un bassin de cette taille et attribuer de façon plus directe ces changements hydrologiques au drainage souterrain,

Si comme nous l'anticipons, le drainage affecte l'hydrologie des bassins, on devrait observer une augmentation importante des débits maximum suite à ces travaux.

Cependant, la difficulté d'une telle étude réside au niveau de la disponibilité de l'information. Dans les régions que l'on a étudiées, peu de stations de jaugeage sont en opération depuis un grand nombre d'années (≈ 50 ans), il est donc difficile d'obtenir un échantillon pré-drainage assez étendu pour être fiable. Il est

d'autant plus ardu de retracer pour le même site des données de précipitation **couvrant** cette période. Bien que nous **n'avons** pu l'appréhender, les résultats **obtenus** d'une telle démarche seraient **sûrement** très probants,

2.2-Etude longitudinale

Les différents types d'études régionale³ vus auparavant impliquent un échantillonnage de plusieurs bassins. L'avantage de travailler à l'échelle d'un bassin-versant est que l'on amoindrit ainsi la possibilité que nos résultats soient biaisés par l'interuention d'un autre phénomène,

Nous avons pour but avec cette nouvelle méthode de tester si l'équilibre des cours d'eau est affecté par le drainage, Les cours d'eau lorsqu'ils sont en équilibre ont la capacité de transporter les sédiments qui leur proviennent de l'amont du bassin, mais n'ont pas la vitesse nécessaire pour la prise en charge des sédiments qui composent leur lit. Ce qui fait qu'ils ne produisent ainsi ni érosion, ni accumulation, et que leur coupe transversale est stable à long terme, Généralement des changements de régime ou de volume de sédiments transportés (tel qu'en produit le drainage) détruisent cet équilibre. Ils provoquent de l'érosion accélérée, qui se traduit entre autre par des modifications de la pente du lit.

A-Profil topométrique

Ainsi) nous avons noté la forme de la coupe transversale et la pente du lit à un intervalle d'environ 20 mètres (longueur d'un cycle de la séquence seuil/mouille), de façon à reconstituer le profil longitudinal d'un cours d'eau le long duquel on retrouve plusieurs exutoires de drains,

En appliquant cette démarche, il est plus aisé de faire ressortir la relation de causalité entre les modifications subies par le cours d'eau et l'implantation du drainage souterrain,

Les résultats obtenus suite aux relevés de pente suggèrent l'existence d'une relation entre l'emplacement des drains et les segments de pente plus forte (voir planches 1 et 2). Cependant l'échantillonnage que nous avons effectué n'est pas assez resserré pour que la relation soit significative. Au lieu de mesurer la pente aux 20 mètres comme nous l'avons fait, il serait préférable que l'échantillonnage soit fait d'une façon systématique, à un intervalle d'environ deux mètres. Cependant, à ce moment on doit mesurer l'angle de pente à la surface de l'eau et non pas le gradient du lit pour éviter que les données soient biaisées par la séquence seuil/mouille (Richards-1976).

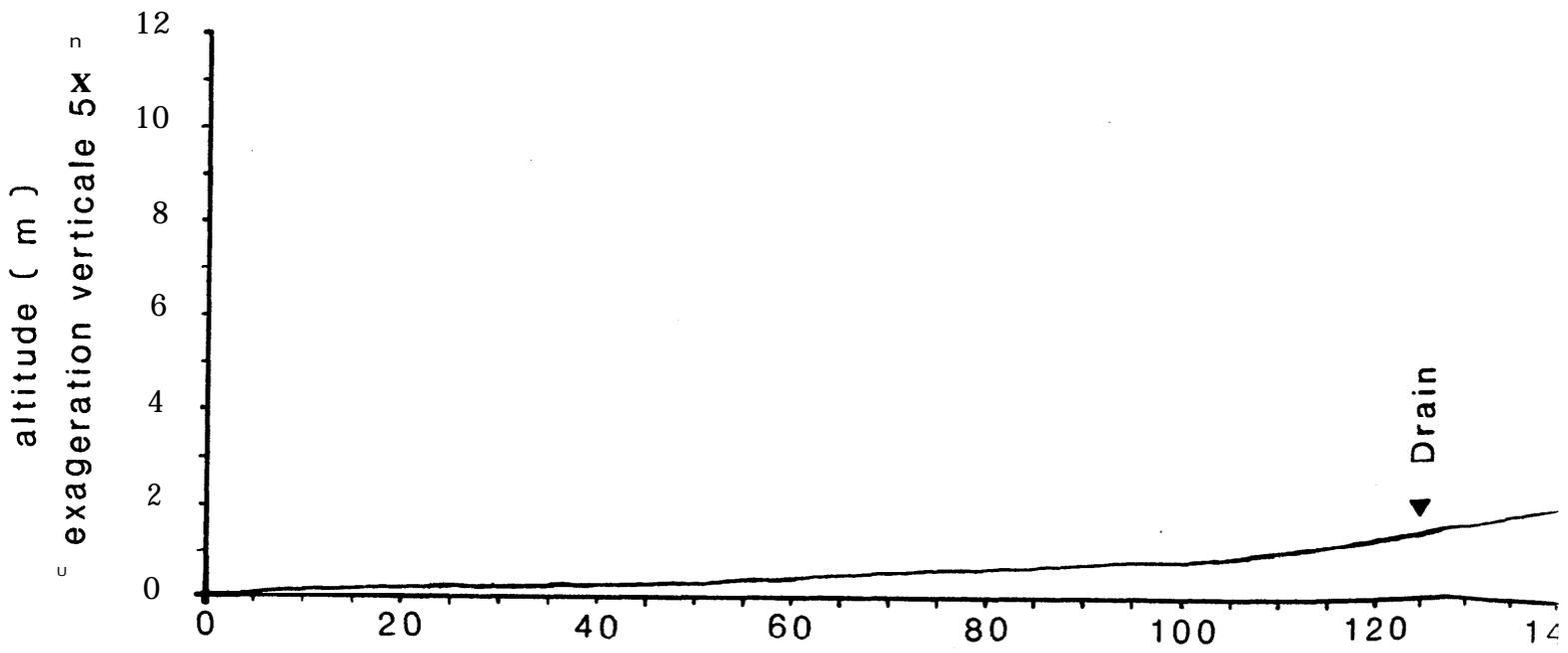


Planche 1 : Profil longitudinal 1

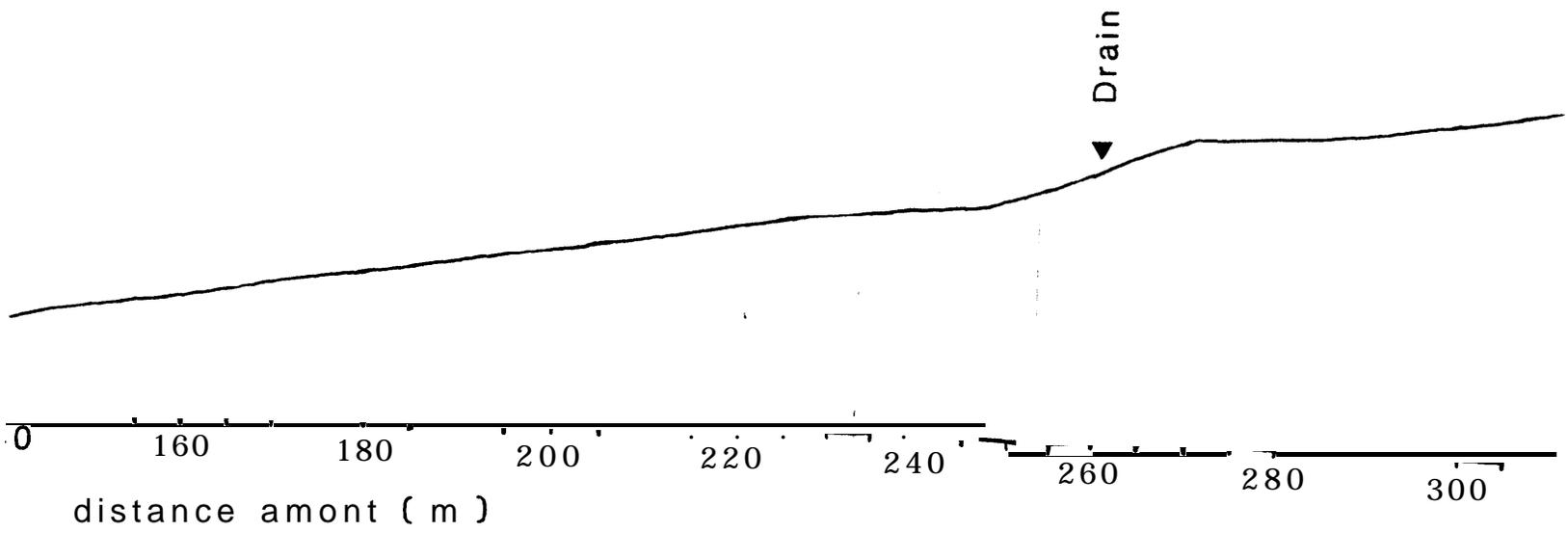




Photo 1 :

On voit ici le cours d'eau échantillonné à deux kilomètres de la limite amont du bassin. C'est l'image typique des cours d'eau de cette région. Le léger élargissement du cours d'eau, au bas de la photo, est simplement dû à l'érosion normale dans un méandre.



Photo 2 :
Le cours d'eau, au haut de la photo, a sensiblement la même taille que sur la photo précédente. Mais suite à ce premier drain sur le profil, les deux berges sont sapées à la base. De plus, il semble que l'écoulement est affecté par la présence du drain. Il faudrait cependant que le débit soit plus fort pour le vérifier.



Photo 3 :
D'après les plans de drainage de la région, un drain serait enseveli sous les pierres en haut à gauche. On peut remarquer l'élargissement majeur du cours d'eau à cet endroit, qui traduit la formation d'une barre où l'eau est en cause lors de crues. Ce dernier point explique que la modification de la coupe transversale soit très locale. D'ailleurs, on voit que le cours d'eau tend immédiatement à retrouver sa taille initiale.



Photo 4 :
Lorsque le cours d'eau quitte le champs pour entrer sous la forêt, on observe de la dégradation très intense. De nombreux arbres sont tombés et il y a plusieurs traces de débordement, malgré que la pente soit très forte. Il est possible que la coupe transversale n'étant plus contrainte, comme c'est le cas dans le champs, où les sédiments fins sont plus cohésifs, l'augmentation de débit se fait sentir de façon plus importante.



Photo 5 :
On peut voir une fois encore l'effet d'un drain, qui cette fois-ci forme une confluence à 90° avec le cours d'eau. La berge est très érodée à cet endroit. Cela semble être dû à un renversement d'écoulement, l'eau ne pouvant s'écouler aisément dans la direction du cours d'eau.

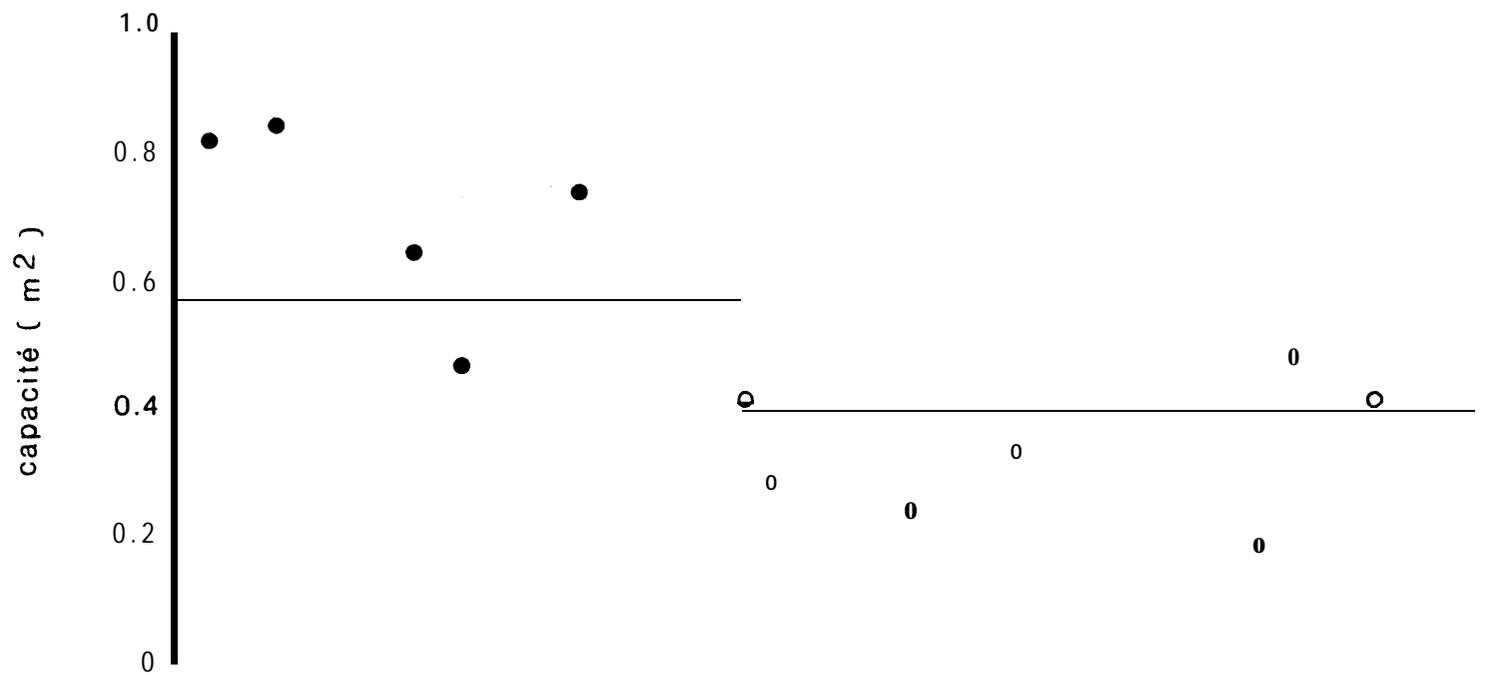
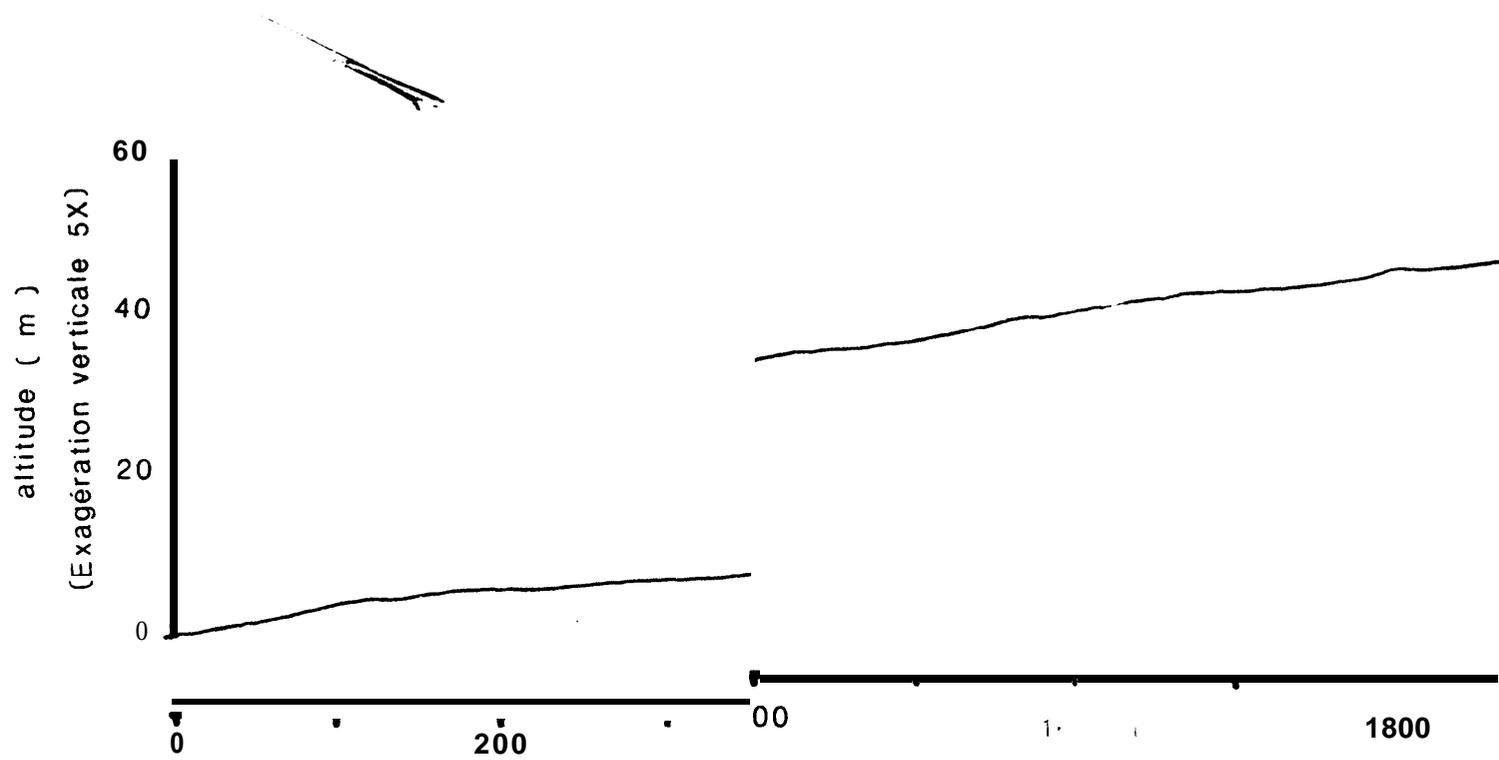


Planche 2 : Profil longitudinal 2

On peut voir à la planche 1 que les segments de cours d'eau où la pente est augmentée ne sont pas localisés systématiquement à l'amont ou à l'aval des drains, Il s'agit plutôt de la région avoisinante du drain, Nous pourrions expliquer ce comportement par le fait que l'augmentation de débit produite par le drain favorise à long terme la dégradation du cours d'eau, Cette dégradation se traduit par de l'érosion régressive du lit, souvent sous forme de rupture de pente. Dépendant du stade d'évolution vers un nouveau profil d'équilibre, les segments de cours d'eau de plus forte pente seront localisés à des endroits différents,

Lors de l'échantillonnage du profil #2, nous avons également relevé la forme de la coupe transversale à plusieurs endroits d'amont en aval. À la planche 2, on remarque qu'en moyenne la capacité du cours d'eau est inférieure dans la section à l'amont de la zone drainée. Il s'agit ici d'un changement brusque plutôt que graduel, comme ce serait le cas le long d'un cours d'eau normal, Ces résultats concordent avec ceux obtenus lors du survol régional, Toutefois à l'intérieur de chaque groupe la variation est très importante. Cela confirme l'hypothèse posée, que par endroit l'ajustement du cours d'eau se fait par une modification de pente, alors qu'ailleurs c'est la coupe transversale qui est remaniée,

Suite à cet échantillonnage le long du profil ce sont les modifications apportées à la coupe **transversale** qui sont les plus **évidentes**. En effet la différence entre les sites à l'amont des drains et ceux à l'aval est très nette, De plus, on remarque que les berges **sont généralement** sapées à leur base, à l'aval des drains, Ce comportement peut refléter des divergences de l'écoulement suite à l'arrivée d'eau par les drains (voir section 3a). Par contre les relevés de pente n'offrent pas des résultats très intéressants, Nous croyons que dans ce dernier cas probablement seule la résolution de l'échantillonnage est en cause, puisque l'intervalle entre les levés est trop long en fonction de l'effet à démontrer,

B-Etude descriptive

Etant donné la difficulté d'évaluer l'effet du drainage, nous croyons que l'étude descriptive des bassins peut être utile. En effet, dans une région comme les Basses-Terres, surtout au nord du lac St-Pierre, on voit aisément dans le paysage que les cours d'eau ne sont pas en équilibre, Les profils longitudinaux tendent vers une pente plus faible, le recul des têtes de cours d'eau est très rapide, les ruptures de pente sont fréquentes, l'incision des vallées est importante et par conséquent les versants sont déstabilisés (voir figures 10 et 11). Seulement rien ici ne nous permet d'affirmer que le drainage en est la cause.



Figure 10: On voit ici le fort gradient de pente à la tête d'un petit cours d'eau, Cette forte pente résulte de l'incision du cours d'eau, Ce dernier pour retrouver son équilibre doit tenter de diminuer sa pente, ce qu'il parvient à faire par un recul de sa tête,



Figure 11 : Paysage de dégradation; les versants sont très instables, On remarque des traces fraîches de **glissements** de terrain (les versants y sont à nu). La vallée est très large et profonde en rapport au volume d'eau qu'elle évacue.

La mécanique des sols pourrait expliquer cette déstabilisation des versants, sauf qu'à ce moment l'incision des cours d'eau resterait à élucider. De plus, il n'y a pas eu de changements notables dans l'utilisation du sol, autre que le drainage, depuis le développement de l'agriculture, qui puissent expliquer les variations morphologiques dans la région.

Dans un milieu plus stable comme celui étudié en Estrie, les cours d'eau ne semblent pas détériorés. Cependant un œil averti peut y déceler de nombreux indicateurs de dégradation, que l'on a réussi à relier au drainage par les autres méthodes d'analyse.

En étudiant le profil longitudinal #2, on voit que la confluence avec les drains affecte légèrement la pente, tout comme la coupe transversale (voir photos et description de la planche 2). En effet, d'amont en aval le profil est très variable et semble de plus en plus affecté. À la tête du bassin, alors qu'aucun drain ne se jette dans le cours d'eau, la coupe transversale semble en équilibre, on n'y observe aucun indicateur de dégradation. Par contre, dès le premier drain on remarque un élargissement de la coupe transversale. Par la suite en parcourant le profil vers l'aval, on peut voir en alternance des zones d'élargissement ou d'incision du lit de même que des

variations de pente, Ces dernières sont en particulier observées sous forêt lorsque les sédiments du lit sont grossiers, Ces sections du cours d'eau sont également caractérisées par de nombreuses traces de débordement, C'est ici que le déséquilibre du cours d'eau est le plus apparent,

Les différentes réponses du cours d'eau suite à l'augmentation de débit sont dictées par des conditions locales; taille des sédiments du lit et des berges (qui en déterminent la cohésion), dénivelé local, etc. Puisque ces conditions varient beaucoup d'un site à l'autre, il est normal que les réajustements du cours d'eau ne soient pas uniforme dans l'espace,

La somme des indicateurs de dégradation observés dans ce bassin nous a convaincu du déséquilibre qu'il subit, Nous ne pouvons toutefois pas statuer de façon définitive quant au phénomène qui en est la cause.

C-Etude morphologique et hydrologique (à court terme)

Cette démarche consiste à comparer les paramètres de forme le long d'un cours d'eau, avant et après l'implantation d'un réseau de drainage à l'intérieur du bassin. Il s'agit d'une approche comparable à l'étude d'un profil longitudinal comme décrit

auparavant, Cependant celle-ci permet d'attribuer au drainage, uniquement, les modifications observées. Le bassin étant contrôlé sous tous ses aspects, seul son état (drainé ou nature l) change au cours de la période d'étude, Il est donc l'élément exclusif permettant d'expliquer les modifications du bassin, Cette façon de procéder a également l'avantage qu'on peut y jumeler l'étude des paramètres d'écoulement, Ces derniers étant à la source des modifications anticipées, l'étude est plus complète,

Toutefois lors de son application on a rencontré un inconvénient majeur nous obligeant à l'abandonner, La démarche nécessite que l'on attende que les sites qui rencontrent nos critères soient drainés, L'information quant au lieu et au calendrier des travaux, tant au niveau du ministère de l'agriculture qu'à celui des entrepreneurs privés n'était pas disponible,

2.3-Etude ponctuelle

Par le biais des démarches précédentes nous parvenons à montrer que les cours d'eau sont déséquilibrés, mais il nous est impossible malgré toutes les précautions expérimentales d'affirmer qu'il s'agit hors de tout doute de conséquences du drainage, Afin d'y parvenir, nous projettons d'étudier l'effet direct des drains à leur sortie dans le cours d'eau, Pour ce faire nous comptons reconstituer les profils de vitesse et mesurer le volume de sédiments en suspension dans l'eau, L'échantillonnage sera fait un mètre amont et un mètre aval de l'exutoire d'un drain,

A-Profil de vitesse

Nous avons vu précédemment que des traces d'érosion sont observées sur les berges à l'aval des drains, Cette détérioration du cours d'eau peut être le fruit d'un écoulement plus rapide et turbulent venant du drain, qui lors de sa confluence provoque une divergence des écoulements du cours d'eau. On retrouve des affouillements locaux analogues lors de confluence de tributaires en milieu naturel, qui sont expliqués par la dynamique fluviale.

Ainsi en reconstituant les profils de vitesse, on pourra évaluer en quoi l'écoulement est modifié, et définir comment les jonctions entre les drains et les cours d'eau doivent être construites pour éviter l'érosion des berges,

B-Relevés de charge en suspension

Le but de l'étude des sédiments en suspension consiste à expliquer, du moins en partie, les modifications de pente que l'on observe.

En effet, d'après le concept d'aggradation / dégradation, si le volume de sédiments amené au cours d'eau est de beaucoup supérieur à celui qui y est transporté naturellement, des accumulations démesurées risquent de se former. Par contre, si l'eau provenant des drains est moins chargée en sédiments que l'eau de la rivière, il peut en résulter une augmentation de la capacité de prise en charge, qui se traduira par de l'érosion accélérée. Nous voulons vérifier, de ces deux éventualités, laquelle sera observée. Si, la charge est augmentée suite au drainage, comme Burt et al (1983) l'ont noté, il en résultera un profil d'aggradation, ce qui est contraire aux résultats que nous avons obtenus jusqu'à date. Par contre, si les filtres posés autour des drains (pour les empêcher de se bloquer) provoquent une diminution de la charge, le profil tendra, pour s'équilibrer, à éroder son lit, comme on l'anticipe.

Ces deux dernières méthodes exigent toutefois que les débits du cours d'eau et des drains soient élevés. Nous documenterons donc cet aspect du problème au cours de crues printanières en 1986,

Conclusion

Comme nous l'avons vu dans la section précédente les méthodes d'évaluation proposées ne se sont pas toutes avérées applicables. Les résultats que nous avons obtenus sont résumés au tableau 3. On peut voir que le survol régional et les relevés topométriques le long d'un profil longitudinal semblent être les méthodes les plus adéquates. En effet, elles nous ont permis de montrer qu'il existe une relation entre l'augmentation de capacité (taille du cours d'eau) et le drainage souterrain. De plus, on a pu remarquer que le profil étudié subit un déséquilibre à l'aval de l'exutoire des drains,

Comme il a déjà été dit, l'application de ces méthodes dans différents milieux permettrait l'élaboration d'un modèle de prédiction des changements de forme en fonction de l'intensité des activités de drainage. Cependant vu les difficultés que pose leur application nous n'avons pu parvenir à un tel résultat.

En dernier lieu, nous prévoyons que l'étude des profils de vitesse et les relevés de charge en suspension, que nous effectuerons ce printemps, seront d'un grand recours pour comprendre les processus en cause dans ce problème de dégradation des terres,

Tableau 3 : Résultats des différentes méthodes d'évaluation

Méthode		Basses-Terres du St-Laurent -activité agricole intense -dépôts de surface instables	Estrie -activité agricole modérée -dépôts de surface stables
Etude régionale	Photo-interprétation	La distortion et les erreurs de mesure ont plus d'ampleur que les différences anticipées.	Les photos aériennes ne sont pas disponibles
	Survol de petits bassins	Absence de cours d'eau de petite taille permanents à la tête des bassins	*Augmentation de la capacité des cours d'eau suite au drainage
	Etude hydrologique comparative (à long terme)	Inaccessibilité de l'information	Inaccessibilité de l'information
Etude longitudinale	Profil topométrique	Impossibilité de dissocier l'effet du drainage des autres causes de changements, la mécanique des sols y étant très active	*On remarque un effet des drains sur la pente mais surtout sur la largeur du cours d'eau
	Etude descriptive	Les indicateurs de dégradation sont nombreux mais il ne s'agit pas d'une démarche permettant d'en identifier la cause	Présence de quelques indicateurs de dégradation
	Etude morphologique et hydrologique (à court terme)		Inaccessibilité de l'information
Etude ponctuelle	Profil de vitesse		* à faire
	Relevé de charge en suspension		* à faire

* méthodes privilégiées

Le problème majeur rencontré au cours de ce projet de recherche réside en la difficulté d'accéder à l'information qui nous était nécessaire.

Lorsque l'on trouait les plans de drainage des bassins qui nous intéressaient, souvent la mise à jour n'y avait pas été faite, Il est fréquent que les plans ne concordent pas exactement avec la réalité, entre autre parce qu'ils ont été: reportés sur de vieilles cartes imprécises. De plus, sur le terrain les drains étant la plupart du temps ensevelis sous des amas de roches, il était très difficile de les localiser sans risque d'erreur,

Il nous semble que la compilation de l'information, pour qu'elle soit complète et fiable devrait être l'objet d'un programme gouvernemental. Ce qui éviterait du moins que les renseignements soient contradictoires d'un centre d'information à l'autre, En fait, avant d'entreprendre quelque étude d'envergure, un fichier central, où tous les niveaux d'interventions (déboisement, urbanisation, agriculture, etc.) sont répertoriés, devrait être créé,

De plus, ce pourrait devenir une pratique gouvernementale courante de documenter les bassins avant d'y permettre l'implantation de réseaux de drainage et d'effectuer par la suite un suivi quant à leur évolution, Cela ne serait pas impossible, ses employés visitant déjà les sites, Il n'y aurait qu'à leur transmettre certaines directives.

Pour terminer, nous espérons que les **éléments** contenus dans ce rapport ajouteront aux connaissances reliées à l'impact des **interventions** anthropiques dans notre milieu,

Je tiens ici à remercier André G. Roy, directeur de mes travaux de maîtrise, pour les connaissances qu'il m'a permis d'acquérir et ses encouragements soutenus,

Je suis également reconnaissante au C.C.R.E.E. pour l'octroi de ce contrat de recherche,

références

- Armstrong,A.C. (1981);The hydology and water quality of a drained clay catchment,Cockle Park. Northumberland. Catchment in fluvial geomorphology, p. 153- 168 , Burt & Walling eds. Geobooks.
- Boiley,A.D. & T.Bree (1981);Effect of improved land drainage on river flood flows. ICE,Flood studies report-Five years on, Thomas Telford Ltd.London
- Blench,T. (1969);Mobile-bed Fluviology, Edmonton, Univ. of Alberta Press
- Brookes,A. (1985);Downstream morphological consequences of river channelization in England and Wales. The Geographical Journal, v. 151, #1, p.57-62
- Bull,W.B.(1979);Threshold of critical power in streams, Bulletin of the Geological Survey of America , v.90, p.453-464
- Burt,T.P.,M.A.Donohoe & A.R.Vann(1983);The effect of forestry drainage operation on upland sediment yield:The result of a based-study. Earth Surface processes and landform ,v. 8, p.339-46
- Carlston,C.W.(1969);Downstream variations in the hydraulic geometry of stream:Special emphasis on mean velocity, Am. Journal of Science , v.267, p. 499-504.
- Church,M. & D.M.Mark (1980);On site and scale on geomorphology. Proaress in physical Geography , p.342-390.
- Dovies,O.L. & P.L.Goldsmith (1972);Statistical methods in research and production, N.Y., Hafner.
- Graf,W(1975);The impact of suburbanitation on fluvial geomorphology. Water Resources Research , v. 11, p.690-702.
- Harvey,A.M. (1969);Channel capacity and the adjustment of streams to hydrologic regime. Journal of hydrology, v.8, p.82-98

- Hey, R.D. (1975); Design discharges for natural channels, Science & Technology in environmental management, Hey & Davies eds, p.73-88
- Klein, M. (1981); Drainage area and the variation of channel geometry downstream, Earth surface processes and Landforms, v. #6, p.589-593.
- Lancery, J.M. (1985); La dégradation des terres au nord de Louiseville-Qc. Guide d'excursion-Colloque sur l'érosion en milieux agricoles, Ass. Can. Geog.
- Lane, E.W. (1955a); The importance of fluvial morphology in hydraulic engineering, Amer. Soc. of Civ. Engineers Proceedings, v. #81, paper #795, p. 1- 17.
- Lane E.W. (1955b); Design of stable channels, Amer. Soc. of Civ. Engineers-Transactions, #120, paper #2776 p.1234- 1279.
- Leopold, L.B. & T.Maddock (1953); The hydraulic geometry of stream channel and some physiographic implications. U.S.G.S. profession 81 paper #252, p. 1-57.
- Leopold, L.B., M.G.Wolman & J.P.Miller (1964); Fluvial Process in Geomorphology, San Francisco, W.H.Freeman.
- Mackin, J.H. (1948); Concept of the graded river. Bull. Geol Soc. Am. v. #59, p.463-512.
- Richards, K.S. (1976); The morphology of the pool - riffle sequences, Earth Surface Processes, v. 1, p.71-88.
- Rycroft, D.W. & W.Massey (1975); The effect of field drainage on river flow. F.D.E.U.-Technical Bulletin #75/9

- Schumm,S.A. (1969);River metamorphosis .Journal of the hudraulic division-Proceeding of Am. Soc. of Civil Engineers., v. #95, p.255-273.
- Schumm,S.A. (1975);Episodic erosion:A modification of the geomorphic cycle. Theories of landform development., Suny Binghamton, Publications in geomorphology, Melhom & Flenaleeds.,p.69-85
- Sparrow,H.O. (1985);Nos sols déaradés:Le Canada compromet son avenir , Commission.Sénatoriale sur la conservation des sols ou Canada, 143p.
- Thornes,J.B.(1974);Speculations on the behaviours of stream chsnnel width , Discussion paper #49,Graduate school of geography , London school of economics.
- Traf f ord,B.D. & D.W.Rycrof t (1973);Observations on the soil-water regimes in a drained clay soil. Journal of soil science , vol.24 , #3,p.380-91.
- Wolman,M.G. & J.P. Miller (1960);Magnitude and frequency of forces in geomorphic process ,Jour. of Geology , v. 68, p.54-74.