

**CORPORATION BASSIN VERSANT
BAIE MISSISQUOI**



BBM-BAIE-4

**CARACTÉRISATION DES RIVES DE LA BAIE MISSISQUOI,
DE LA RIVIÈRE AUX BROCHETS ET DE LA RIVIÈRE MISSISQUOI**

Gilbert Prichonnet et Chantal d'Auteuil

Mars 2002



UQÀM

**CORPORATION BASSIN VERSANT
BAIE MISSISQUOI**

Rapport d'activité

**CARACTÉRISATION DES RIVES DE LA BAIE MISSISQUOI,
DE LA RIVIÈRE AUX BROCHETS ET DE LA RIVIÈRE MISSISQUOI**

Gilbert Prichonnet (1) et Chantal d'Auteuil (2)

Mars 2002

- (1) Professeur. Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère et GEOTERAP (Groupe de recherche en géologie de terrain appliquée). Université du Québec à Montréal.
- (2) Coordonnatrice de la Corporation Bassin Versant Baie Missisquoi

Avec la collaboration des assistants et assistantes de l'UQÀM

Yannick Lafleur (Étudiant à la maîtrise de géographie)

Été 2001

Marie-Claude Aquin (Étudiante au baccalauréat en géologie. Option environnement)

Été 2001

Catherine Dumont (Étudiante au baccalauréat en géologie. Option environnement)

2001-2002

Jeffrey Vaillancourt (Étudiant à la maîtrise en sciences de la Terre)

Hiver 2002

Consultant

Claude Anctil. Directeur ARBREAU TECH INC.

AVANT-PROPOS

L'étude de caractérisation des rives de la baie Missisquoi, de la rivière aux Brochets et de la rivière Missisquoi s'inscrit dans la réalisation du plan d'action concertée du bassin versant de la baie Missisquoi. Ce plan d'action a été élaboré par la Corporation Bassin Versant Baie Missisquoi qui regroupe des intervenants du milieu issu des secteurs municipal, agricole, environnemental, touristique et économique.

Suite à l'élaboration d'un portrait préliminaire du bassin versant et d'une série de consultations publiques tenues au cours de l'année 2000, le manque de connaissance du milieu est apparu comme un frein important à l'élaboration d'actions ciblées dans le bassin versant visant l'amélioration globale de la qualité des eaux. La manque de connaissance sur l'état des rives des principaux cours d'eau du bassin versant ne permettait pas d'établir les zones prioritaires pour la protection des rives et la stabilisation des berges. Cette première étude sur les rives vient donc combler cette lacune pour l'ensemble des rives de la baie Missisquoi et de deux cours d'eau majeurs du bassin versant soit les tronçons principaux des rivières aux Brochets et Missisquoi.

Cette étude de caractérisation des rives avait donc pour but d'identifier les secteurs problématiques et de proposer des solutions réalistes pour réduire l'érosion et par le fait même réduire à la source une partie des apports de sédiments et de phosphore dans les eaux de surface. On sait en effet que la surcharge en phosphore est le problème prioritaire du bassin versant puisque le phosphore en excès cause l'eutrophisation accélérée des cours d'eau et de la baie, ce qui nuit fortement aux différents usages de l'eau, affectant ainsi l'équilibre écologique et le développement économique.

Le rapport se subdivise en trois sections : méthodologies des recherches, résultats des travaux et analyse détaillée des berges et littoraux. La méthodologie utilisée est simple et facilement reproductible pour l'étude d'autres lacs et cours d'eau semblables en Montérégie. Les résultats des travaux sont très visuels et serviront à sensibiliser la population et les décideurs sur l'importance de protéger les rives. L'analyse détaillée des berges et littoraux permet de mieux comprendre les liens entre les phénomènes d'érosion et la géologie du bassin versant. Enfin, en

conclusion, des recommandations simples et facilement applicables serviront de lignes directrices pour les interventions dans le milieu. En annexe, on retrouve les résultats d'une visite de terrain effectuée par un spécialiste en stabilisation des rives avec l'équipe de travail.

Cette étude a été rendue possible grâce à une subvention du gouvernement du Québec dans le cadre du programme Action Environnement et du programme Carrière-Été du gouvernement fédéral pour l'embauche de deux étudiants, Yannick Lafleur et Marie-Claude Aquin. Quatre municipalités ont contribué financièrement au projet : Venise-en-Québec, Bedford, Notre-Dame-de-Stanbridge et Canton Sutton.

La supervision de l'étude et la rédaction du rapport final ont été réalisées par Gilbert Prichonnet de l'Université du Québec à Montréal, professeur au Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère, fournissant différents services d'analyse (GEOTERAP). Catherine Dumont, assistante de recherche, a participé aux relevés de terrain. Avec Jeffrey Vaillancourt, elle a aussi contribué à la réalisation technique du rapport. La cartographie a été réalisée par Yannick Lafleur et la planche sur l'histoire géologique et des paysages, par Michelle Laithier, géocartographe au département des sciences de la Terre et de l'Atmosphère. Claude Anctil, de Arbreau Tech inc., a effectué un rapport d'analyse d'érosion pour six sites spécifiques identifiés par les municipalités participantes. En complément à la visite de terrain, les planches photographiques de ce rapport ont été réalisées par la coordonnatrice du projet.

Au nom de la Corporation Bassin Versant Baie Missisquoi, nous remercions toutes les personnes ayant contribué à ce projet par leurs conseils, leur appui, la formation des étudiants et la gestion financière du projet.

Nous tenons à souligner l'excellent travail de terrain et de cartographie des étudiants Yannick Lafleur et Marie-Claude Aquin ainsi que la participation bénévole du professeur Gilbert Prichonnet et la grande qualité du rapport final et des outils pédagogiques qu'il a réalisés.

Chantal d'Auteuil, Coordonnatrice
Corporation Bassin Versant Baie Missisquoi

RÉSUMÉ

L'étude des rives de la Baie Missisquoi et des berges de ses deux principales rivières affluentes s'inscrit dans l'analyse globale de l'état environnemental du bassin versant : étude de l'érosion des terres, contrôle des apports de phosphore, évolution des marais, ...

L'objectif général de cette étude était d'établir une typologie à la fois simple et exhaustive des berges en suivant au fil de l'eau (thalwegs) les rivières Missisquoi et aux Brochets et en longeant le littoral de la Baie.

Trois approches, parfois concomitantes, ont été menées à bien pour arriver à réaliser un bilan qui embrasse une région relativement vaste: la photo-interprétation, l'observation des rives au fil de l'eau et des descriptions depuis la rive de sites sélectionnés. En outre des analyses d'échantillons ont été réalisées sur les principales unités de dépôts meubles.

Après une brève présentation du cadre physiographique et des types de cultures du territoire, six unités de dépôts meubles du Quaternaire sont définies: ce sont ces matériaux qui sont soumis à l'érosion du réseau hydrographique et dont il faut assurer la stabilité.

On a retenu quatre types principaux de berges: (a) naturelles et végétalisées; (b) enrochées; (c) en érosion; et (d) construites. Sept planches de photos illustrent les méthodes d'observation et les principaux types de berges et rives. Six cartes résument les grandes zones de l'état des berges: quatre pour les deux rivières et deux pour la baie.

Nous appuyant sur une cinquantaine de cas décrits à partir des berges et rives, et tenant compte des matériaux ou sédiments constituant les bandes riveraines et de l'état des lieux, nous discutons les situations observées.

Des pistes de réflexion sont proposées pour préparer la campagne de sensibilisation qui conduira à un plan d'intervention intégré. La méthodologie utilisée est simple et facilement reproductible pour l'étude d'autres lacs et cours d'eau semblables en Montérégie. Du matériel pédagogique (monolithes et modèle de littoraux) a été préparé pour les rencontres avec les représentants des municipalités et le public.

Les résultats des travaux sont très visuels et serviront à sensibiliser la population et les décideurs sur l'importance de protéger les berges et les rives. L'analyse détaillée des berges et littoraux permet de mieux comprendre les liens entre les phénomènes d'érosion, les agents naturels et la géologie du bassin versant. Enfin, en conclusion, des recommandations simples et facilement applicables serviront de lignes directrices pour les interventions dans le milieu.

En annexes, on a placé quelques exemples de fiches de terrain et d'analyses en laboratoire. Le rapport complet d'une visite de terrain effectuée par un spécialiste en stabilisation des rives avec l'équipe de travail se trouve à l'annexe 3: il a été illustré de six planches de photos de terrain.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS i

RÉSUMÉ iii

LISTE DES FIGURES, PLANCHES et CARTES vi

INTRODUCTION 1

 Pourquoi l'étude des rives de la baie Missisquoi et des berges des rivières du bassin versant? 1

 Objectifs général et spécifiques de l'étude 2

METHODOLOGIES DES RECHERCHES 3

 Des méthodes complémentaires 3

 La photo-interprétation..... 3

 Les visites préparatoires aux observations des berges, notamment avec des spécialistes 5

 La fiche de contrôle des berges et des bandes riveraines 5

LES OBSERVATIONS DES BERGES ET BANDES RIVERAINES..... 6

LES ANALYSES EN LABORATOIRE 10

RÉSULTATS DES TRAVAUX 11

Cadre physique régional..... 11

 Physiographie – Cultures 11

 Géologie générale – Quelques aspects économiques 12

 Géologie des dépôts meubles de surface du Quaternaire 13

 Conclusion sur la série de dépôts du Quaternaire 17

Les résultats des observations le long des berges 18

Exemples d'érosion des berges..... 20

 1. Rivière Missisquoi (carte 1, page 51)..... 32

 2. Rivière aux Brochets : tronçon 1 ou amont (carte 2, page 55)..... 33

 3. Rivière aux Brochets : tronçon 2 aval (carte 3, page 57; carte 4, page 59)..... 34

 4. La baie Missisquoi – secteur Nord (carte 5, page 61) et secteur Sud (carte 6, page 63) . 35

 La Grande Baie- Littoral ouest (Carte 5, page 61) 36

 La baie de Venise et le littoral ouest jusqu'à la pointe McFee (Carte 5, page 61)..... 37

 La pointe de la Province et la baie de Chapman (Carte 6, page 63) 37

ANALYSE DÉTAILLÉE DES BERGES ET DES RIVES 38

État général des berges et rives..... 38

 1- Les conditions hydrologiques dans le bassin versant et le phénomène d'érosion 38

 2- Les effets du vent sur les grands arbres: les chablis..... 40

 3- Les constructions de murs de béton et de gabions. 40

 4- Les enrochements..... 41

 5- Les rives naturelles de la baie. 42

CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTAT DES BERGES ET DES RIVES.

RECOMMANDATIONS..... 44

EPILOGUE..... 47

REFERENCE..... 49

LISTE DES ANNEXES..... 63

 Annexe 1 Exemples de fiche de terrain

 Annexe 2 Exemples de résultats de laboratoire

 Annexe 3 Rapport de consultation de Claude Anctil et photos des sites spécifiques

LISTE DES FIGURES, PLANCHES et CARTES

Figure 1	Carte de localisation	4
Planche 2	Photos 1,2 et 3	8
Figure 2	Hors texte	
	Baie Missisquoi - Rivières aux Brochets et Missisquoi. Histoire géologique et des paysages. Aspects environnementaux – Économie.	
Planche 2	Exemple d'érosion de berges de rivières	20
Planche 3	Les effets protecteurs de la végétation	22
Planche 4	Quelques types d'aménagement des berges et rives	24
Planche 5	Quelques aspects des plages de la baie Missisquoi	26
Planche 6	Quelques exemples d'aménagement des berges et rives	28
Planche 7	Quelques types d'aménagement plus efficaces	30
Carte 1	Caractérisation des rives de la rivière Missisquoi	51
Carte 2	Caractérisation des rives de la rivière aux Brochets. Tronçon 1	53
Carte 3	Caractérisation des rives de la rivière aux Brochets. Tronçon 2	55
Carte 4	Rivière aux Brochets, de Pike River à la baie	57
Carte 5	Baie Missisquoi – Secteur nord	59
Carte 6	Baie Missisquoi – Secteur sud	61

INTRODUCTION

Pourquoi l'étude des rives de la baie Missisquoi et des berges des rivières du bassin versant?

L'étude des rives de la baie Missisquoi et des berges des ses deux principales rivières affluentes s'inscrit dans l'analyse globale de l'état environnemental du bassin versant : étude de l'érosion des terres, contrôle des apports de phosphore, évolution des marais, ...

Plusieurs raisons en font une région-témoin intéressante. D'une part, la région considérée offre un large éventail de conditions physiographiques (relief et géologie) et biogéographiques (végétations naturelles et cultures) qui permettent de saisir la dynamique naturelle de l'évolution des paysages. D'autre part, les modes d'occupations du territoire y sont assez variés pour reconnaître les effets majeurs des actions anthropiques sur le milieu.

Ainsi, en établissant un premier bilan de l'état des lieux des bandes riveraines du plus grand plan d'eau régional et des rivières traversant la région, il sera possible de sensibiliser la population à plusieurs aspects de la problématique générale désignée par l'expression « développement durable ».

On peut même poser comme hypothèse que l'état de santé des bandes riveraines peut être considéré comme un témoin reflétant assez bien la situation générale environnementale. Comme on le verra à la suite de l'étude systématique réalisée durant l'été 2001, les conditions d'occupation du territoire sont extrêmement variables : il y a peu de points en commun entre les berges subissant la dynamique naturelle d'une rivière en secteur accidenté et même montagneux et les rives bétonnées de plusieurs littoraux à la baie Missisquoi. Mais, dans tous les cas, il est possible de proposer quelques solutions propices à une conservation plus écologique du milieu, et ainsi favoriser une occupation ou une exploitation de la nature plus conforme à un environnement équilibré.

Objectifs général et spécifiques de l'étude

L'objectif général de cette étude était d'établir une typologie à la fois simple et exhaustive des berges en suivant au fil de l'eau (thalwegs) les rivières Missisquoi et aux Brochets et en longeant le littoral de la baie. L'état des lieux prendra donc en considération les données évidentes sur l'état de stabilité naturelle ou artificiellement maintenue de ces berges. On a, en particulier, tenu compte de l'importance des actions anthropiques pour les stabiliser. Cette approche a permis de préparer des exemples d'intervention qui pourront être réexaminés à la lumière de nouvelles connaissances sur les équilibres naturels du milieu.

Ainsi, en identifiant les facteurs naturels conduisant à différents stades d'évolution dans la stabilité des berges, il sera possible de conseiller des aménagements réalistes qui ne conduisent pas à des interventions intempestives ou vouées à l'échec.

Pour l'étape de conceptualisation des problèmes rencontrés, il a été nécessaire de tenir compte des grandes catégories d'occupation ou de vocation du territoire : forêt, agriculture et urbanisation. Dans cette dernière catégorie, on pourra distinguer entre l'urbanisation historique (villes ou villages riverains des rivières ou des plans d'eau) et le développement résidentiel secondaire beaucoup plus concentré le long du littoral de la baie Missisquoi. Dans le premier cas, il faudra tenir compte d'aménagements majeurs tels que barrages et voies de communication ; dans le second, ce sont des initiatives individuelles qui deviennent le facteur dominant lors des interventions ponctuelles.

Un dernier objectif de l'étude peut se résumer à un apport d'hypothèses quant aux effets généraux des actions anthropiques, passées ou à venir, sur les conditions d'équilibre du milieu.

METHODOLOGIES DES RECHERCHES

Des méthodes complémentaires

Trois approches, parfois concomitantes, ont été menées à bien pour arriver à réaliser un bilan qui embrasse une région relativement vaste. Les moyens étant quelque peu limités (une seule équipe de terrain permanente de deux personnes), il est apparu évident que l'exploitation des données générales, à partir des photographies aériennes, contribuerait à faciliter l'étude de terrain. Par ailleurs, quelques visites de sites spécifiques, tant en zone urbanisée qu'en milieu agricole, avec des spécialistes de l'aménagement des berges, ont permis de dresser une première série de critères de reconnaissance. Ainsi deux grands types de berges ont été retenus : les berges naturelles, avec différents états de conservation ; les berges aménagées de diverses manières. Enfin, une fois l'opération de contrôle systématique de ces berges lancée, à partir des plans d'eau, des descriptions détaillées de cas types ont été effectuées à partir de la berge ou de la rive elle-même.

Les travaux de terrain ont été réalisés en juin et juillet 2001.

La photo-interprétation

La photo-interprétation a été réalisée à partir de la ligne HMQ97, au 1 :15 000. Ces photos, en noir et blanc, assurent une bonne reconnaissance des grands ensembles tels que les zones boisées, en pâturage, etc. Mais elles ne permettent pas de reconnaître un muret de béton ou un enrochement sous une ligne d'arbres : même l'utilisation de lunettes 3X laisse un certain degré d'imprécision. Par contre, la reconnaissance de nombreux points repères est indispensable, dans le cas des rivières, pour deux raisons majeures : la localisation des voies d'accès facilite la planification du travail de terrain ; la reconnaissance de certains obstacles tels que digues et rapides renforce les besoins de précautions à prendre durant les observations de terrain.

Les visites préparatoires aux observations des berges, notamment avec des spécialistes

Deux sorties principales ont été réalisées avec plusieurs spécialistes et des membres de la corporation, avant le début des travaux, le long des voies d'eau (**Figure 1**).

Bien que les objectifs généraux de ces rencontres aient été de mettre en commun des opinions sur l'état de sites spécifiques, à partir de considérations sur l'hydrodynamique, les sols et les techniques de réhabilitation, il est apparu que les descriptions devraient tenir compte de faits à la fois simples et majeurs, tels que :

- les types de végétalisation des rives (naturelles ou non) ;
- l'état de santé ou de maturité des arbres ou des arbustes des rives (chablis, ...) ;
- les principaux types d'infrastructures pour lutter contre l'érosion ou donner accès aux voies d'eau ;
- l'état de conservation ou dégradation des aménagements.

Ainsi quelques conclusions pouvaient découler de la grille d'analyse : soit l'établissement d'un premier bilan sur l'état de détérioration du littoral ou son équilibre face aux éléments physiques; soit la reconnaissance du degré d'érosion des rives lacustres ou des talus de rivières, **classés globalement comme « rives » sur les cartes présentées ici**.

La fiche de contrôle des berges et des bandes riveraines

La fiche de contrôle des berges et bandes riveraines est inspirée d'un guide du ministère de l'Environnement et de la Faune : Goupil (1998) « *Protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Guide des bonnes pratiques* ».

Deux exemples de fiches techniques sont fournis en **annexe 1**. Chaque fiche peut contenir jusqu'à trois à six types de berges. C'est donc à partir d'une grille d'analyse simple mais assez exhaustive que la légende des cartes de caractérisation est établie.

LES OBSERVATIONS DES BERGES ET BANDES RIVERAINES

Rivières aux Brochets et Missisquoi.

Les observations le long des deux rivières ont été réalisées en canot pour la rivière aux Brochets (**planche 1, photo 1**) et en kayak pour la rivière Missisquoi. Des portages ont été nécessaires. Les observations ont été reportées sur des cartes agrandies au varioplan, à partir de cartes au 1 :20 000. Ainsi, l'échelle au 1 :5 000 a été jugée assez précise.

Littoral de la baie Missisquoi

Les observations sur la Baie Missisquoi a été menées à bien avec une barque à moteur (**planche 1, photo 2**). Cette approche a permis également de remonter le cours inférieur de la rivière aux Brochets jusqu'aux rapides en aval du pont de la route 133, à Saint-Pierre-de-Véronne- à-Pike-River. Dans ces deux secteurs, on a pu utiliser les cartes de plaines inondables, au 1/10 000 (Environnement Canada et ministère de l'Environnement du Québec, 1979)

Photographies

Dans le cas des rivières, de nombreuses photos des bandes riveraines ont été prises (**Planche 1, photo 3**), puisque l'accès depuis les rives n'est pas facile. Pour la baie et le cours inférieur de la rivière aux Brochets, la Corporation disposait aussi d'une très bonne banque de photos, souvent prises de la rive.

Les principaux exemples illustrant la légende des cartes et servant d'appui à la typologie seront présentés sur six planches spécifiques, traitant chacune d'une problématique particulière (voir les légendes de chaque planche plus loin).

L'échantillonnage de matériaux naturels sur les berges et littoraux : l'illustration de la stratigraphie des dépôts sédimentaires.

Deux coupes géologiques de berges de la rivière aux Brochets ont été dressées, avec échantillonnage sur des profils de sols en voie d'érosion (figure 1). Des monolithes ont été recueillis. L'une avait pour but de caractériser les argiles de la plaine agricole en surface, à proximité immédiate d'un champ en culture ; l'autre, réalisée un peu plus en profondeur, a porté sur des dépôts stratifiés argileux, à caractère rythmé, et beaucoup moins altérés que ceux de surface.

Afin de caractériser les principaux types de matériaux représentés sur les littoraux, on a recueilli des sables et des graviers de plage à trois sites caractéristiques de la baie Missisquoi.

Un monolithe de sable, riche en matière organique, a été réalisé dans la barre sableuse qui sépare la Grande Baie du delta marécageux latéral à la rivière aux Brochets.

Ces monolithes de matériaux meubles ont été imprégnés de résines qui polymérisent: on peut ainsi illustrer des aspects stratigraphiques des sédiments anciens soumis à l'action érosive des cours d'eau et des sédiments de littoraux modernes déplacés par les vagues ou tempêtes dans la baie. Ces monolithes seront utilisés comme éléments démonstratifs lors des conférences itinérantes au cours de l'année 2002.

Planche 1

Photo 1 Rivière aux Brochets – Secteur de Riceburg

Carte 2 , photo à partir du chemin Riceburg - Été 2001

Observation en canot.

Berges végétalisées : arbres, arbustes et plantes naturelles. Certains arbres sont relativement instables. La rivière coule parfois sur des rapides de galets et blocs hérités du till laissé par les glaciers.

Photo 2 Ruisseau Bellefroid, affluent droit de la rivière aux Brochets, près de son embouchure

Carte 5 – Été 2001

Observation en barque à moteur

Observation de la biodiversité. Les eaux calmes sont envahies par la végétation. Ce ruisseau draine un large secteur de la zone deltaïque marécageuse située à l'embouchure de la rivière. Pas de berge.

Photo 3 Rivière Missisquoi – Vallée agricole.

Carte 1, photo dans le secteur amont de Glen Sutton - Été 2001.

Observation à partir de la rive gauche.

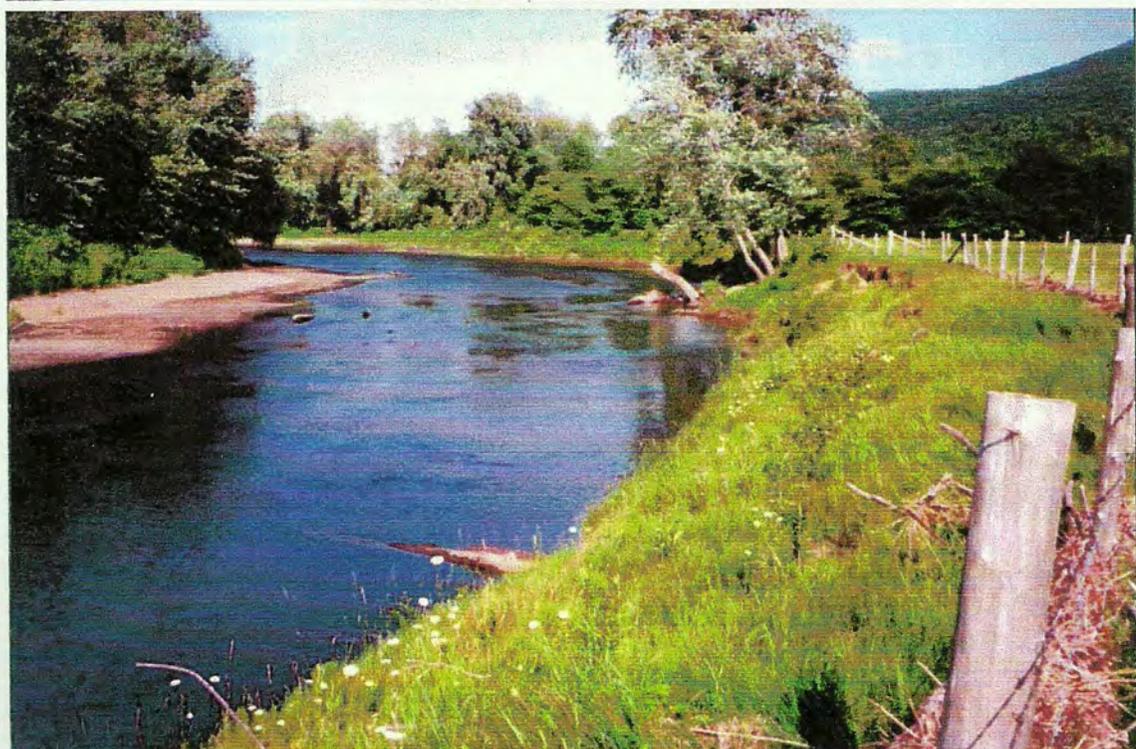
Les débris végétaux accrochés aux fils de fer de la clôture sont un indice du niveau des eaux lors des crues.

Malgré la barrière qui maintient les animaux à distance respectable de la berge, celle-ci montre des blocs gazonnés qui s'effondrent.

Le sapement par les eaux provoque d'une part l'inclinaison progressive des arbres et, d'autre part, l'apparition de petites failles (dites panaméennes).

Sur la rive opposée, la berge est protégée par un banc de sable.

Planche 1 : Photos 1, 2 et 3



LES ANALYSES EN LABORATOIRE

Certaines analyses ont eu pour objectif de caractériser l'origine des matériaux meubles granulaires, toujours présents sur des littoraux non transformés par l'Homme ou au pied des aménagements et sur l'avant-plage. Ainsi, des sables et graviers de mini-cordons littoraux pourront être comparés aux matériaux qui leur ont donné naissance, à savoir le substrat rocheux et les tills laissés par les glaciers, suite au transport fluvial ou au remaniement sur le littoral. Ces matériaux meubles granulaires ont été prélevés sur des plages non aménagées. Ils sont intéressants pour les distinguer des matériaux des plages renforcées artificiellement, et pourront servir de référence advenant que l'on veuille reconstituer des plages à l'aide de matériaux importés d'exploitations locales ou régionales.

Ces mêmes matériaux seront également utilisés pour réaliser un modèle réduit des plages naturelles reconnues : celles-ci constituent, en effet des zones de passage, voire de nidification, de certaines espèces de tortues. Le modèle prévoit la présentation d'une plage sableuse et d'une plage graveleuse. Il servira dans les présentations au public, comme les monolithes.

Les échantillons de sédiments fins argileux ont été recueillis pour vérifier les teneurs en carbonate de calcium résiduel, en provenance de la farine glaciaire (ou poudre de roche) qui s'est déposée dans le bassin aquatique postglaciaire : d'abord en milieu glacio-lacustre, puis glacio-marin, et enfin à nouveau lacustre (c'est à dire dans le plan d'eau précurseur de la baie Missisquoi moderne). D'autres échantillons de la région étaient disponibles grâce à des travaux en cours ou antérieurs sur la stratigraphie régionale des dépôts meubles du Quaternaire (Prichonnet, 1982, *et pas*). Il s'agit de sédiments d'origine glaciaire tels que du till (mélange de cailloux et de poudre de roche) et des graviers fluvio-glaciaires. Certains ont servi pour caractériser la source des graviers et sables actuels des plages, dans le cadre d'une activité de synthèse supportée par une bourse du programme FAQDD (Aquin, 2002).

L'annexe 2 présente quelques fiches techniques des analyses réalisées: les résultats en sont discutés dans les différentes sections de ce rapport.

RESULTATS DES TRAVAUX

Les résultats présentés ici reposent sur des données bibliographiques, quelques analyses en laboratoire et les observations pour la caractérisation des berges. Ils seront divisés en deux parties: l'ensemble des données qui définissent le cadre physique régional, incluant les aspects géologiques des terrains du bassin versant, et la descriptions des six cartes de caractérisation des berges

Cadre physique régional

Physiographie – Cultures

Le réseau hydrographique du bassin-versant de la baie Missisquoi est hérité d'une longue évolution du plateau appalachien. La province physiographique des Appalaches (Bostock, 1964 et 1972) correspond ici à une succession de crêtes et de zones plus basses, orientées sud-sud-est – nord-nord-est. Cette province s'étend de la rivière Missisquoi Nord, à l'est des Monts Sutton, jusqu'à la crête rocheuse et partiellement boisée de Philipsburg. Elle est responsable d'un réseau fluvial de type angulaire (figure 1, page 4). Toutefois, la rivière aux Brochets, qui prend naissance au Vermont, bifurque vers l'ouest à partir de Frélighsburg, formant de nombreux petits méandres jusqu'à Bedford. Son tracé est néanmoins toujours influencé par les structures géologiques rocheuses jusqu'à Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River. Son cours inférieur suit lui aussi l'orientation des formations géologiques, car celles-ci influencent globalement la couverture des dépôts meubles de surface : ainsi, la rivière coule dans une zone en légère dépression, limitée vers l'ouest par un relief du substrat rocheux.

La baie Missisquoi elle-même est fortement influencée par les structures géologiques du piedmont appalachien. Les pointes Jameson et de la Province correspondent à des affleurements rocheux de shales ardoisiers ; et la bordure du plan d'eau, à l'est, est en grande partie dominée par un escarpement rocheux, lui-même causé par la Ligne Logan (ou Faille Champlain), vieille structure de la Terre de plus de 400 millions d'années.

Les rivières principales et certains ruisseaux secondaires coulent parfois sur le substrat rocheux, ayant érodé la mince couche de dépôts meubles. Mais les grandes vallées découpées dans les roches appalachiennes ont permis, lors de la déglaciation, l'ennoyage par les eaux du lac proglaciaire Vermont, puis de la Mer de Champlain : des dépôts argileux ou sableux et sablo-graveleux au pied des chaînons montagneux et des collines ont pu ainsi former un substrat de dépôts meubles assez épais. C'est à eux que l'on doit les meilleures terres agricoles, le long des vallées et dans la plaine à l'ouest.

Les altitudes sont de l'ordre de 30 à 45 m dans la plaine, à l'ouest, et s'élèvent jusqu'à près de 1000 m aux Monts Sutton (Point culminant à 960 m), à l'est. Mais si l'on compare les fonds de vallées, les différences sont bien plus modestes : la rivière Sutton, affluent de la Missisquoi, n'est qu'à une altitude de l'ordre de 150 m à Abercorn, près de la frontière du Vermont. La vallée de la Missisquoi Nord coule dans une autre vallée, parallèle aux Monts Sutton, à l'est de ceux-ci (Figure 1, p.4).

Signalons enfin que les collines entourant le réseau hydrographique, formant les interfluves (sorte de plateaux séparant les vallées), sont souvent recouverts de matériaux glaciaires, essentiellement du till très caillouteux : ce sont des sols à pâturages ou laissés à la forêt par les agriculteurs ; on y observe aussi de belles érablières. Mais deux types de culture ont connu un développement important depuis un demi-siècle : la pomiculture en premier, et la viticulture plus récemment.

Au contraire, les zones de grandes cultures (maïs, soya, céréales) sont concentrées dans la plaine, à la périphérie de la baie Missisquoi et dans les secteurs plus plats de la bordure appalachienne, au nord de Bedford. L'industrie porcine a également pris un essor remarquable au cours des 30 dernières années.

Géologie générale – Quelques aspects économiques

Deux ouvrages font la synthèse des connaissances acquises sur la géologie du substratum rocheux (Charbonneau, 1980 ; Globensky, 1981). Les roches sont intensément déformées par des plis et des failles. Une bonne partie de la région est occupée par la ceinture des ardoises, roches assez tendres formant des reliefs doux. Toutefois, des couches de roches résistantes (grès, phyllades,

mais aussi des calcaires relativement massifs) constituent fréquemment des rapides dans de nombreux ruisseaux secondaires et même dans la rivière aux Brochets. Ces zones rocheuses permettent de traverser les cours d'eau facilement durant l'étiage certaines années sèches. La rivière de la Roche présente même des petites cascades. La géologie du roc des fonds de vallée a pu être établie, en grande partie, grâce aux affleurements dégagés par le réseau fluvial, qui a découpé, en quelque sorte, les sédiments meubles.

C'est donc dire que la couverture de dépôts meubles est assez mince, en général, et tout particulièrement sur les reliefs. Ainsi, à l'est de la baie Missisquoi, les roches de la première crête du piedmont des Appalaches, ou écaïlle de Philipsburg, ont pu facilement être exploitées : autrefois utilisées pour le marbre et l'ardoise, les roches sont maintenant recherchées pour la pierre concassée et les fondants dans l'industrie. Des blocs de pierre provenant de ce secteur sont même utilisés pour créer des enrochements de berges ou de rives.

Géologie des dépôts meubles de surface du Quaternaire

La **figure 2 hors-texte** (*Baie Missisquoi - Rivières aux Brochets et Missisquoi. Histoire géologique et des paysages. Aspects environnementaux - Économie*) résume quelques aspects de la stratigraphie des dépôts meubles de surface, grâce auxquels se sont développées les activités agricoles principales : fermes laitières; cultures céréalières, du maïs et du soya; acériculture; pomiculture; foresterie.

- *Le matériau glaciaire : le till*

À la base de la colonne, le till, mélange de particules de toutes les tailles, représente le long épisode glaciaire qui a recouvert la région durant plusieurs milliers d'années. Cette unité stratigraphique (ensemble de sédiments stratifiés ou non, représentés par une couleur sur une coupe ou un symbole) forme un manteau discontinu dans toute la région (Prichonnet, 1982 et 1984 a). C'est l'érosion de ce type de matériau qui laisse les innombrables cailloux et blocs rocheux dans les lits des rivières et sur le plateau appalachien: les agriculteurs les ont souvent concentrés en murets le long des champs. Il est intéressant de rappeler que ce sont les agriculteurs

d'Écosse qui ont désigné ce mélange de matériaux difficiles à cultiver, car très caillouteux, par le mot till: le terme a pris son usage scientifique en 1902, suite à la suggestion d'un chercheur européen.

Les particules les plus fines du till sont emportées vers la baie Missisquoi par le ruissellement, pouvant même être évacuées dans le lac Champlain lors des crues du printemps. Les accumulations de bancs sableux le long des rivières, au pied des berges, et en périphérie de la baie représentent des concentrations de particules sableuses formant une composante significative du till: elles sont charriées par le réseau hydrographique à partir de l'ensemble du bassin. Le till ainsi délavé de ses particules les plus fines donne donc des sols pierreux. En profondeur, protégé du lessivage par les eaux météoriques, sa matrice la plus fine contient jusqu'à 7% de calcite (**Annexe 2**). Dans les zones accidentées, les sols sur till sont propices à l'installation de la forêt. Dans la partie ouest du plateau appalachien, la pomiculture, la vigne et la culture des petits fruits (fraises et baies) ont pris également un certain essor sur ces types de sol.

- *Les sédiments triés par les eaux de fonte, à la déglaciation*

La deuxième unité stratigraphique est formée par des graviers et des sables déposés par des eaux sous-glaciaires ou au front du glacier en retrait. Les principales accumulations de ces types de matériaux sont localisées dans la haute vallée de la rivière Sutton (Prichonnet *et al.*, 1982). Quelques dépôts correspondant à cette unité stratigraphique ont été longtemps exploités au nord de Bedford, en association à des sables superficiels datant du retrait de la Mer de Champlain (voir ci-dessous).

Un esker (sorte de cordon de gravier et sable, d'origine sous-glaciaire, émergeant à peine de la plaine) est reconnu dans la plaine agricole au nord de la baie Missisquoi. De tels dépôts représentent des réservoirs d'eau intéressants, au moins pour une alimentation locale, et à condition de les préserver et d'éviter leur utilisation comme site d'enfouissement sanitaire ou même de matériaux secs...

- *Les argiles de la Mer de Champlain*

Les argiles de la Mer de Champlain constituent les sédiments les plus importants, sinon en surface et en volume, du moins pour l'économie agricole. Ce sont les terres les plus riches et les plus intensivement cultivées. Mais les particules fines de cette unité stratigraphique sont facilement emportées par l'eau de ruissellement ou même le vent. Comme la farine de roche du till dont elles dérivent, elles participent à la charge en suspension des cours d'eau tout au long de l'année, dès que le ruissellement s'intensifie, à la fonte des neiges et lors de fortes pluies. Elles contiennent de 2 à 4% de calcite, en dessous de l' horizon B du sol.

Les argiles et les argiles silteuses, ou légèrement sableuses en surface, constituent des sols à protéger de l'érosion en priorité. Gorgées d'eau en profondeur, elles maintiennent l'humidité pour les racines ; mais leur assèchement, ou dessiccation, en surface, les rend vulnérable au vent et à l'érosion par l'eau. Le réseau dendritique des ravins (ressemblant aux nervures - ou dendrites-d'une feuille d'arbre), se développe à proximité des entailles fluviales principales: il est le fruit de la dégradation de cette couverture de dépôt fragile, survenue depuis que les terres ont émergé des eaux, soit depuis quelques milliers d'années. Il y a en effet au moins 5 000 ans que les premiers amérindiens ont occupé la plaine, le long du cours inférieur de la rivière aux Brochets (Chapdelaine, 1996).

- *Les sédiments granulaires liés aux actions des vagues*

Des sables, qui se sont mis en place en condition littorale, se présentent en petits cordons et petites terrasses le long des bordures occupées de la Mer de Champlain: ces dépôts sont identifiés sur les pentes des reliefs que les eaux découvraient progressivement. Ils sont parfois exploités pour fournir localement du sable. On peut identifier plusieurs de ces cordons littoraux sur les pentes douces de certaines collines (Mitchell Corner ; Pigeon Hill ; Prichonnet, 1982).

En fait, ces preuves de l'action littorale marine, confirmée par la présence de quelques fossiles de mollusques (désignés populairement, et à tort, comme des «*écales d'huîtres*») font suite à d'autres littoraux sablonneux d'origine glacio-lacustre, donc antérieur à la Mer de Champlain. Plusieurs

de ces accumulations ont été cartographiées sur les pentes dans la partie Est de la région, notamment au lac Selby et dans le bassin versant de la rivière Sutton (Prichonnet, 1982 – figure 3).

Les sables de cette unité stratigraphique forment des sols légers et bien drainés. Ils peuvent être cultivés, laissés en pâturage ou plantés de conifères.

- *La matière organique : tourbe et terres noires*

Des unités de tourbe se sont accumulées dans quelques fonds de vallées qui formèrent des cuvettes lacustres après le retrait de la mer (figure 2 hors texte; exemple à l'Est de Pigeon Hill). Mais les accumulations majeures de matière organique sont celles qui occupent l'ancien déversoir de la baie Missisquoi vers la rivière Richelieu et le delta marécageux de la rivière aux Brochets, au nord de la Grande Baie. Contrairement aux tourbes et terres noires fossiles qui terminent la colonne stratigraphique dans quelques zones humides le long du réseau hydrographique et dans des cuvettes limitées par des crêtes rocheuses, les terres marécageuses encore actives constituent des secteurs exceptionnels, uniques pour le bassin versant. Elles constituent des vestiges importants pour la biodiversité et la reconnaissance de l'histoire paléogéographique de l'Holocène (Période géologique qui commence à moins 10 000 ans BP - ou avant aujourd'hui - Voir la figure 2 hors texte).

- *Les alluvions des terrasses de rivières*

Une dernière unité de matériaux alluvionnaires est représentée sur la figure 2 hors texte. Sa disposition partiellement envahissante sur les matériaux organiques traduit le fait qu'il s'agit d'une unité encore en formation. En effet, après l'émergence des terres du bassin aquatique, les sédiments les plus fins de la colonne géologique Quaternaire ont commencé à être érodés par le réseau fluvial. Et, lors des crues printanières, on assiste à un départ des sédiments les plus fins, un peu partout dans le bassin versant. C'est ce phénomène qui est responsable d'un alluvionnement concomitant sur les plaines inondables et les terrasses longeant les lits mineurs des cours d'eau (zone où se retire le cours d'eau à la belle saison).

Les terrasses, développées en bordure de ces cours d'eau, constituent donc des zones tampons pour ralentir les crues : l'étalement des eaux y favorise la sédimentation puisqu'il y a perte d'énergie du courant d'eau. Le bénéfice est alors double : récupération des riches alluvions provenant de l'amont du bassin ; ralentissement de l'énergie du courant qui érodera moins en aval. Leur maintien en pâturage est certainement un gage de conservation et même d'utilisation optimale pour les raisons évoquées: un exemple de cette situation peut être observé depuis le pont de la route 133 et en amont, à Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River.

Conclusion sur la série de dépôts du Quaternaire

L'ensemble des sédiments meubles de surface repose en discordance angulaire sur les roches anciennes déformées: c'est à dire que les sédiments meubles reposent à l'horizontal sur les roches beaucoup plus anciennes du substrat rocheux... Tous les dépôts granulaires, grossiers ou fins, qui les constituent tirent leur origine de l'action des glaciers. Ces glaciers ont usé le substrat rocheux, mélangeant des minéraux de toutes sortes pour créer une farine de roche d'une grande richesse: son contenu en carbonates en fait un bon matériau-tampon contre les pluies acides. Cette farine forme la matrice des cailloux et blocs du till, la principale fraction des argiles glacio-lacustres et marines et aussi une part importante des alluvions plus récentes.

Dès la déglaciation, les eaux de fonte ont commencé à trier ce matériau polygénique et de granulométrie complexe pour former des sédiments mieux triés : les graviers, le sable et les boues fines. La couverture argileuse, propice à l'agriculture, représente donc une concentration exceptionnelle de matériaux très fins qui ont décanté dans des plans d'eau profonds. Les eaux à forte énergie, de nos jours, continuent le travail de tri de l'ensemble des dépôts accumulés. Même si après des milliers d'années on pourrait avoir le sentiment que la nature agit très lentement, en fait chaque période de ruissellement intense est responsable du départ de grandes quantités de sols, surtout en terrain non protégé par une couverture végétale. L'érosion des berges et des rives constitue donc aussi un phénomène majeur dans la transformation du milieu et l'évolution des paysages. Cette évolution est perceptible à l'échelle d'une vie humaine.

Les résultats des observations le long des berges

• *Les secteurs d'étude*

Les relevés de l'état des berges couvrent trois secteurs distincts : (1) la rivière Missisquoi, sur environ 20 km ; (2) la rivière aux Brochets, sur environ 45 km ; et (3) le pourtour de la baie Missisquoi, en territoire québécois, soit 25 km (figure 1).

Pour la rivière aux Brochets, de Frélighsburg à l'embouchure, on compte quelque 300 résidences, tandis que pour la baie Missisquoi, il y a 400 résidences ou chalets.

• *Les principaux types de berges*

Les résultats des observations sont représentés sur six cartes. On y a distingué quatre grands types de berges selon leur état global de conservation. De l'état le plus naturel et le mieux préservé, dans les conditions du moment, à l'état le plus dégradé, selon les critères ministériels, on a retenu les catégories suivantes :

- a) Berges naturelles et végétalisées : celles-ci peuvent être boisées (arbustes ou arbre) ou couvertes de plantes diverses (naturelles le plus souvent) (**Planches 2 et 3**) ;
- b) Berges enrochées : les enrochements sont très variés, allant de simples déversement de pierres des champs à des renforcements faits de gros blocs (**Planches 4, 6 et 7**) ;
- c) Berges en érosion : cette catégorie concerne essentiellement les bordures des rivières (**Planches 2 et 3**) ;
- d) Berges « construites » : il s'agit de véritables murs de béton, de pierres, de gabions ou de bois, principalement le long des littoraux de la baie Missisquoi, mais aussi sur plusieurs berges des rivières (**Planches 4 et 7**). Des critères sur l'état des lieux sont ajoutés, tels que : (E) Érodé ; (D) Détérioré ;

De plus, on a noté les cas d'arbres déracinés, abattus ou en voie de l'être par le symbole « ch » (chablis) (**Planches 2 et 3**).

Enfin, pour la baie Missisquoi, il est apparu utile d'illustrer quelques exemples de plages et grèves de dimensions significatives (**Planche 5**).

Planches photographiques des berges

Planche 2	Exemples d'érosion des berges	20
Planche 3	Les effets protecteurs de la végétation	22
Planche 4	Quelques types d'aménagement des berges et rives	24
Planche 5	Quelques aspects des plages de la baie Missisquoi	26
Planche 6	Quelques exemples d'aménagement des berges et rives	28
Planche 7	Quelques types d'aménagement plus efficaces	30

Planche 2

Exemples d'érosion des berges

Photo 1 Rivière Missisquoi

Carte 1, photo 16. Rive gauche – Été 2001

Cette zone est classée en érosion.

La rive concave du méandre est en forte érosion.

La barrière, placée à distance de la berge, est parfois "rattrapée" par les effondrements (Voir aussi Planche1, photo 3).

La rivière Missisquoi est un lieu de canotage apprécié.

Photo 2 Rivière Missisquoi

Carte 1, photo 5. Rive droite – Été 2001

Une pente herbacée s'installe au pied des effondrements.

Lors des crues, l'érosion est encore active.

La taille, des arbres déracinés, illustre l'importance du phénomène de destruction.

Noter la présence d'un cerf sur le talus végétalisé.

Photo 3 Rivière Missisquoi

Carte 1, photo 10. Rive droite - Été 2001

Malgré une couverture de plantes abondantes, l'érosion est très active. Les blocs, abandonnés sur la berge érodée, sont laissés probablement par les glaciers de printemps, lors de la débâcle : on peut juger de la puissance des agents naturels qui font évoluer les paysages.

Photo 4 Rivière aux Brochets

Carte 3. Rive gauche - Été 2001

Dans la plaine argileuse et agricole.

Au pied de la berge en érosion, petite banquette où la végétation tend à s'installer.

Laissée sans protection, cette berge empiétera régulièrement sur les terres agricoles.

Planche 2 : Photos 1, 2, 3 et 4

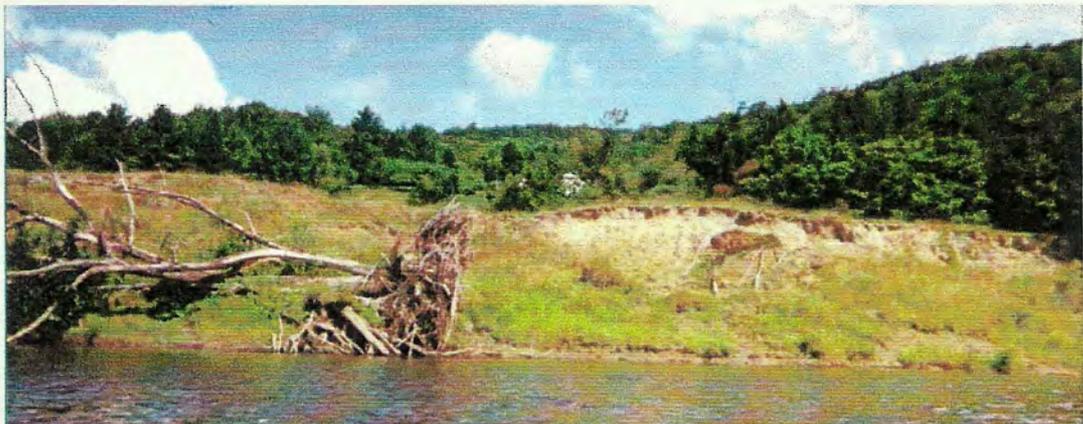


Planche 3

Les effets protecteurs de la végétation

Photo 1 Rivière aux Brochets

Carte 2, photo 3. Rive gauche - Été 2001

Parc de résidence, avec berge très bien entretenue. Toutefois, la force des agents naturels d'érosion affecte significativement la pente douce de la plage. D'autres moyens de protection sont à rechercher.

Photo 2 Rivière aux Brochets

Carte 2, photo 6. Rive droite - Été 2001

Une petite banquette caillouteuse (érosion dans le till) se crée au pied d'une berge en forêt. L'enchevêtrement de chablis peut ralentir efficacement l'érosion, à condition d'aider la nature : couper l'arbre effondré et planter des pieux dans les branchages rassemblés dans l'encoche du sapement. La méthode est peu onéreuse. La stabilité assurée pour un certain temps.

Photo 3 Rivière aux brochets

Carte 2, photo 24. Rive droite - Été 2001

Le chablis en progrès (phénomène récent) démontre bien l'impact du phénomène sur les berges et rives.

Photo 4 Rivière aux brochets

Carte 2, photo 5. Rive gauche - Été 2001

Même phénomène que pour la photo 2. Ici, la hauteur du talus est plus importante. L'érosion est donc plus importante. Les rangées d'arbres isolés ne sont pas suffisantes. Il faut entretenir une couverture d'arbustes très fournis. On peut noter qu'un arbre très incliné a été, fort heureusement, coupé avant sa mort et il a refait un nouveau tronc.

Planche 3 : Photos 1, 2, 3 et 4

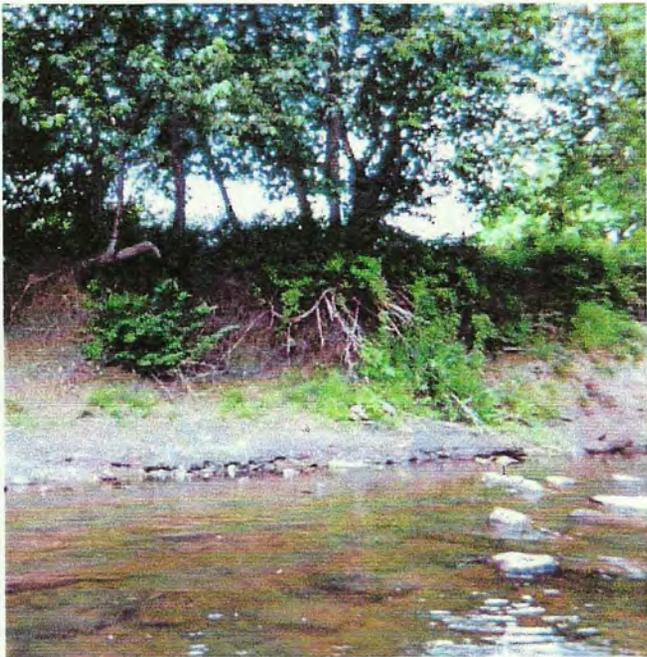
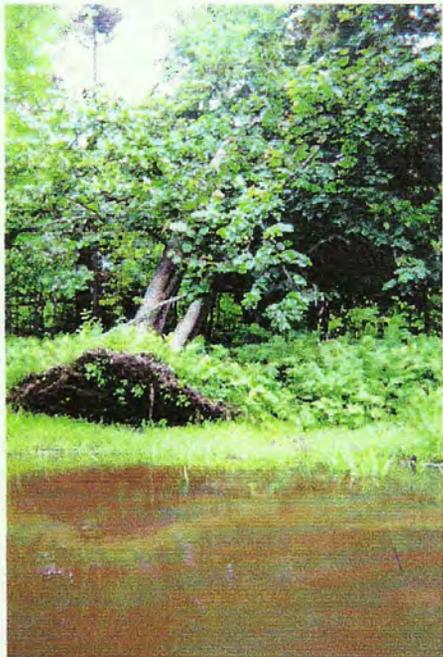


Planche 4

Quelques types d'aménagements des rives et berges

Photo 1 Rive nord de la Baie de Venise.

La stabilisation et l'aménagement, avec pelouse et arbres, bien que valable, méritera quelque attention.

L'ensablement progressif et l'eutrophisation favorisent le développement d'un marécage.

Photo 2 Rive nord de la Baie de Venise.

Secteur du parc écologique en aménagement (ancien camping du bord du lac).

Un trottoir de béton, avec pente très douce vers le lac.

En arrière plan, mur de soutènement et plantation coordonnée d'arbres.

Après des dizaines d'années d'intervention humaine, des travaux de correction sont nécessaires. Le secteur est inondé chaque printemps : sur les arbres au premier plan, on observe des cicatrices laissées par les plages.

Photo 3 Rive nord-nord-est de la Baie de Venise.

Secteur du parc (réf. Photo 2), vers les propriétés de la Pointe Jameson.

Différentes mesures de protection des rives : murets de pierres et déversements de gravats de construction.

Notez un bloc de ciment installé devant un muret pour diriger probablement les forces des glaces d'embâcles (ou pour créer un débarcadère ? : les deux fonctions ne sont pas incompatibles).

Photos 4 et 5

Photo 4 Rivière aux Brochets: carte 2, photo 13. Rive gauche - Été 2001

Photo 5 Berge à Philipsburg, au nord du quai.

Ces deux photos illustrent l'effet protecteur des arbres.

Photo 4 : la protection par cet arbre mature est évidente. Mais, seul, il risque d'être renversé à court terme. Peut-on encore le protéger et ainsi stabiliser la berge ? Faut-il le couper tant qu'il en est temps et planter immédiatement une haie d'arbustes adaptés à la rive humide ? Plusieurs facteurs objectifs et arguments d'ordre esthétique sont à considérer.

Photo 5 : un saule puissant s'est agrippé aux blocs de marbres, apportés des anciennes exploitations. Il forme un éperon en avant du terrain gazonné.

Planche 4 : Photos 1, 2, 3, 4 et 5

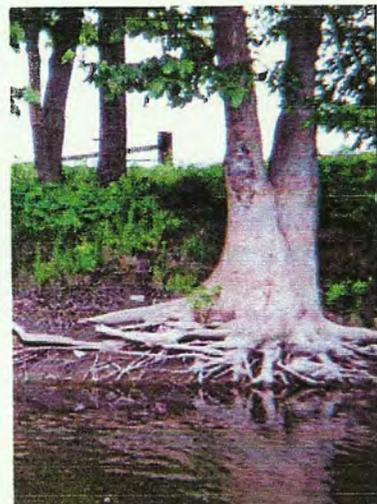
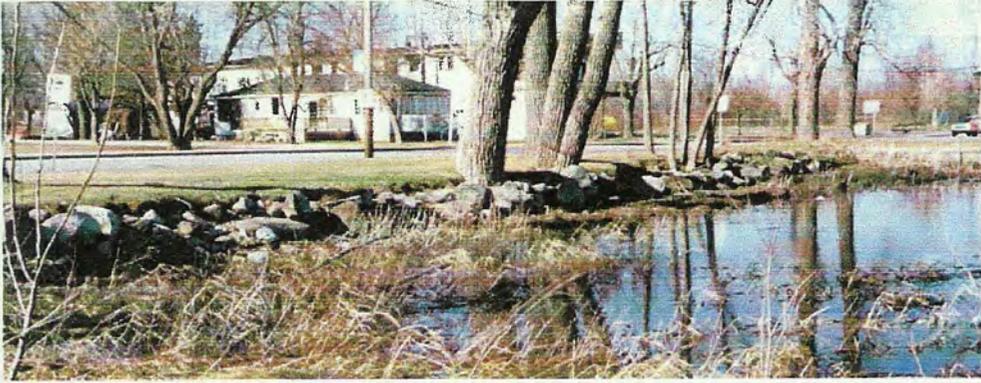


Planche 5**Quelques aspects des plages de la baie Missisquoi****Photos 1 et 2****Photo 1 La Grande Baie – Été 2001**

À proximité de l'embouchure de la rivière aux Brochets (en arrière plan).

Étude des cordons sableux qui longent la barre sableuse du Camping Domaine Florent.

Cette zone montre des signes de déplacement de la barre : érosion de la plage et avancée du sable en direction du marécage (non visible ; situé à gauche des personnages).

Noter la barre d'embouchure de la rivière, qui s'avance dans le lac. Elle est colonisée par la végétation ; les saules, derrière les personnages forment une protection efficace contre les vagues.

Photo 2 Détail de la précédente.

Les gros arbres, dont un témoin est visible à gauche, ont subi des dommages sérieux récemment : sept chablis d'arbres majestueux ont été observés au même endroit, un peu à l'ouest de ce site.

On note l'abondance des débris de matière organique échoués sur les cordons sableux.

Photo 3 Baie de Venise – Près du centre touristique.

Voir aussi planche 4, photo 1.

Des amas d'algues et de débris de plantes aquatiques viennent s'échouer sur le littoral ; les déchets rejetés par les pêcheurs s'accumulent là également ...

Un marécage s'installe. Sa présence non contrôlée, ou le non-aménagement, entraîne une situation peu incitative pour les activités touristiques : accès au lac limité et odeurs fétides découragent les riverains et les touristes.

Planche 5 : Photos 1, 2 et 3



Planche 6**Quelques exemples d'aménagements des berges et rives.****Photo 1 Baie Missisquoi**

Murs de béton et enrochements forment souvent une ligne continue. Les berges sont relativement bien stabilisées ; la plage ne se développe et n'est accessible qu'en été et seulement par de rares entrées publiques. L'esthétique de ces aménagements pourrait être améliorée.

Photo 2 Rivière aux Brochets

Carte 2, photo 15. Rive droite.

La disposition de blocs métriques a permis, à des arbustes, un début de revégétalisation. La niche écologique est encore accessible et favorable à un certain nombre d'animaux.

L'efficacité contre l'érosion n'est pas excellente, car le courant vient saper les sédiments entre les blocs. Toutefois, la barrière antiglace de débâcle a une certaine efficacité.

Photo 3 Baie de Saint-Georges-de-Clarenceville

Le déversement ou la concentration de pierres des champs, parfois héritées de l'époque où l'agriculture dominait l'économie locale, aide à la protection des berges. Toutefois, seul, cet aménagement est insuffisant: une revégétalisation avec des arbustes s'impose. Son esthétique mérite quelque attention.

Planche 6 : Photos 1, 2 et 3



Planche 7

Quelques types d'aménagement plus efficaces

Photo 1 Rivière aux Brochets

Carte 3. Rive droite

L'empierrement, ou l'enrochement en pente, avec revégétalisation semble apporter des corrections durables et esthétiques. Toutefois, l'installation de murs de soutènement, sans doute inévitable dans ce cas, doit être calculée en tenant compte de l'évolution de la nappe phréatique dans le terrain bordier.

Ces murets doivent être aménagés de façon à faciliter la circulation de l'eau.

Photo 2 Baie de Saint-Georges-de-Clarenceville

Le contraste entre l'enrochement et la grève naturelle (à droite) est évident. L'enrochement est bien revégétalisé, mais la rugosité du terrain n'est pas favorable à la conservation de la biodiversité.

À droite, la rive naturelle, avec pente douce et matériau sableux, conserve des qualités pour l'équilibre du milieu naturel. Il y a sans doute un compromis à faire pour protéger contre des vagues les longues côtes rectilignes et assurer un accès aux tortues, par exemple.

Photo 3 Rivière aux Brochets.

Carte 3. Rive droite

L'enrochement en pente (un peu abrupte ?) semble favorable à l'égouttement des eaux de la nappe phréatique. Une revégétalisation rendrait le site plus attrayant.

Avec ce type d'aménagement, très supérieur aux enrochements par blocs énormes, se pose la question de l'intégrité du milieu et des risques pour la biodiversité.

Photo 4 Rivière aux Brochets.

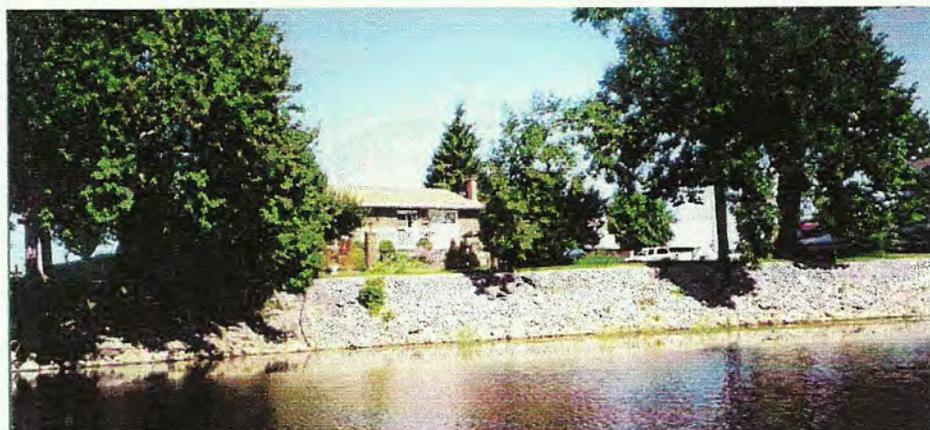
Carte 3. Rive droite.

Consolidation de la berge avec un mur en bois pièce sur pièce. L'écoulement des eaux est assuré.

Acceptable du point de vue esthétique.

Il est nécessaire de s'assurer que le bois utilisé pour ces ouvrages n'est pas traité avec des produits prohibés et dangereux pour l'environnement.

Planche 7 : Photos 1, 2, 3 et 4



** Les regroupements en zones*

Chaque carte montre le détail de l'état des berges avec grande précision : les limites de caractérisation peuvent correspondre aux limites de propriétés dans les zones urbanisées ou à celles occupées par des chalets et résidences secondaires.

Pour des raisons de simplification, les types de berges sont regroupés en zones selon le ou les types dominants.

Lorsque des photos ont été prises le long des rivières, depuis le canot ou le kayak, celles-ci sont indiquées par des numéros le long des segments de rivières (cartes 1 à 3). Pour la baie Missisquoi et le tronçon inférieur de la rivière aux Brochets, les photos sont parfois nombreuses ; ayant été prises à plusieurs occasions et aussi bien de la rive que d'une embarcation, on a renoncé à les indiquer avec précision: elles représentent des exemples parmi de nombreux cas semblables. En pratique, toutes les photos présentées sur les planches sont localisées en faisant référence à la carte et à la zone témoin.

- *Description des cartes et de leurs zones*

1. Rivière Missisquoi (carte 1, page 51)

Cette rivière coule en zone agricole. Elle ne comporte pas beaucoup de berges aménagées : seulement deux petites constructions murales et un enrochement. Par contre, une trentaine de points d'érosion, atteignant parfois plus de 200 mètres de longueur, sont répartis tout au long du tronçon étudié (Planche 2, photos 2 à 3). Ils ont été regroupés en cinq zones séparant six zones de berges bien végétalisées.

Parmi les zones en érosion, trois concernent des zones à méandres prononcés. La zone la plus affectée s'étend de Glen Sutton sur plus de trois kilomètres vers l'amont. La dernière zone, en aval et au nord de la frontière avec le Vermont, offre quelques cas isolés de dégradation, bien que son tracé soit assez rectiligne.

Trois exemples d'érosion observée le long de cette rivière sont présentés à la planche 2 (Photos 1 à 3).

2. Rivière aux Brochets : tronçon 1 ou amont (carte 2, page 53)

Notons qu'une petite portion amont de la rivière n'a pas été parcourue, faute de temps : elle est entièrement boisée et ne devrait pas être très différente des zones décrites plus en aval.

Cette portion de la rivière s'étend de Bedford jusqu'à Philipsburg et au-delà. La région est beaucoup plus peuplée que le secteur de la rivière Missisquoi. En conséquence, le nombre de modifications et d'aménagement des berges par l'Homme augmente significativement. La raison principale est le cours sinueux de la rivière : elle coule dans les sédiments argileux marins ou des matériaux alluviaux sablo-argileux. D'anciens méandres abandonnés sont même bien identifiés sur photographies aériennes.

Ce tronçon amont a été divisé en trois zones fortement affectées par l'érosion et quatre zones naturelles végétalisées. Toutefois, même dans ces zones peu affectées, on note des cas isolés de berges érodées.

La zone de Bedford est presque entièrement aménagée pour deux raisons : en amont du barrage au pont routier, les eaux profondes et stagnantes nécessitent une protection des berges ; au niveau du barrage, construit sur un seuil rocheux, les hautes eaux provoquent des tourbillons et l'érosion pourrait être catastrophique pour les riverains s'il n'y avait des aménagements résistants. Récemment, la concentration des eaux pluviales a même affecté les gabions de pierres concassées qui assurent la stabilité de la berge gauche. Un projet d'aménagement, avec chemin piétonnier est en cours de réalisation. De grands saules participent à renforcer la berge qui atteint 4 à 5 mètres de hauteur : plusieurs arbres ont subi des inclinaisons ou même des effondrements successifs.

3. Rivière aux Brochets : tronçon 2, aval (carte 3, page 55 ; carte 4, page 57)

À partir de Bedford, la rivière forme une grande boucle vers le nord, au milieu des terres agricoles. Les méandres ont des sinuosités très marquées et une vingtaine de sites d'érosion sont regroupés dans la première zone. Cette zone est certainement l'une des plus affectées par l'effondrement des berges qui atteignent souvent 4 à 5 mètres de hauteur.

Les méandres sont présents de Bedford jusqu'à Notre-Dame-de-Stanbridge, mais sans trop d'érosion, sauf pour quelques sites regroupés dans la zone 3 en partant de l'amont. La mairie de Notre-Dame et quelques riverains ont protégé des sites en érosion. Le grand terrain de la municipalité est en prairie, avec quelques arbres en lisière : un enrochement combiné à la végétation naturelle a permis de stabiliser la berge. Un projet d'aménagement y est en cours.

En aval de Notre-Dame, la rivière coule entre des berges tantôt abruptes, tantôt bordée de petites terrasses. Les sites d'érosion et protégés (enrochement et murs occasionnels) se partagent la zone en amont de Saint-Pierre-de-Véronne-à-Pike-River.

Avec le segment aval de la rivière, on peut distinguer une première zone sans grande érosion, sur un kilomètre, et une zone de plus de deux kilomètres considérée à fort potentiel d'érosion. Il faut noter que les glaces d'embâcles laissent des cicatrices importantes sur les arbres de ce secteur de la rivière, puisqu'il est à sa pleine capacité au printemps. Mais cette zone est fortement aménagée par les riverains qui occupent plus de la moitié des deux rives : les aménagements sont surtout des enrochements de différents styles et de différentes ampleurs. Cette zone appartient déjà aux eaux plus profondes de l'embouchure, à l'exception d'un haut fond près de la marina Langlois. Le batillage a des effets sur les rives, mêmes si celles-ci sont souvent végétalisées ou herbacées.

Le dernier segment de la rivière est occupé par un cours d'eau beaucoup plus calme coulant dans des rives basses : il n'y a plus de berges importantes dominant le plan d'eau

(moins de 1 m). La forêt est omniprésente et les racines d'arbres forment généralement une bonne protection à l'érosion, même si le batillage affecte quelque peu cette dernière zone fluviale. On y note plusieurs chablis (voir la carte 4).

4. La baie Missisquoi – secteur Nord (carte 5, page 59) et secteur Sud (carte 6, page 61)

L'étude des berges et rives de la baie Missisquoi a conduit à définir trois grands types de zones : en effet, la densité de la population a pour conséquence que les zones d'érosion ont été aménagées depuis longtemps.

On y observe deux grandes zones de rives naturelles, représentées sur les cartes 5 et 6:

- l'une, de part et d'autre de l'embouchure de la rivière aux Brochets (Planche 5, photos 1 et 2). En continuité avec le segment aval de la rivière, elle est marquée par des plages ou rives basses (pas de berges abruptes). La forêt ou des arbustes y sont présents, et quelques chablis sont reconnus ; l'un d'eux est majeur, à l'extrémité du Camping Domaine Florent. En effet, la barre sableuse n'est pas toujours protégée par des arbustes (saules abondants parfois) et, en conséquence, on assiste à un déplacement de cette barre en direction du marécage qui la limite sur son côté nord (voir plus loin : pistes de solution). Ce phénomène est naturel dans les marécages tourbeux de la rivière aux Brochets.
- l'autre, au sud du village de Philipsburg. Cette rive est particulière, car presque entièrement longée par une côte rocheuse. L'abrupt qui marque le tracé de la Faille Champlain (ou Ligne Logan) peut même dominer de plusieurs dizaines de mètres le littoral. Deux types de grèves et de plages sont à signaler : (a) celles où les éboulis de roches calcaires dominant, avec peu ou pas de vraies plages ; (b) celles où dominant des amoncellements de cailloux et blocs, d'origine glaciaire. Il s'agit alors de matériaux grossiers, délavés de leurs particules fines (la matrice du till laissée par les glaciers) par le battement des vagues.

Toute cette partie du littoral de la baie est affectée à la fois par les vagues des hautes eaux printanières et par les blocs de glace lors de la débâcle. Des blocs rocheux de plus d'un

mètre de diamètre y sont déplacés chaque printemps. Quelques sous-secteurs sont aménagés : on y relève un mur de béton de 25 m de long et une rade de pierres. Quelques tentatives de redistribuer les cailloux et blocs, au bulldozer, ont résulté en la présence de petites criques graveleuses. À l'étiage, particulièrement marqué certaines années, les grèves à galets s'étendent localement sur 10 à 20 mètres de largeur.

Le littoral de Philipsburg (carte 5, page 59)

Le littoral de Philipsburg est classé en zone de murs. Béton et enrochements se partagent la zone. On y relève six petits secteurs plus naturels, dont un avec revégétalisation. Mais la plupart des murs (à part la jetée du village) et des enrochements sont classés en voie d'érosion ou de détérioration.

La Grande Baie- Littoral ouest (carte 5, page 59)

Le littoral de la Grande Baie-ouest est classé en zone enrochée. Il s'agit, en fait, d'un grand segment appartenant au Camping Domaine Florent et à quelques propriétés résidentielles.

Le fond nord-ouest de cette baie offre quelques segments naturels ou en voie de revégétalisation naturelle.

La pointe Jameson (carte 5, page 59)

Les berges de la pointe Jameson sont presque entièrement aménagées : murs et enrochements. L'état de ces constructions est soumis à rude épreuve, surtout à l'ouest : glaces printanières et vagues. Un site naturel, à grève de gravier, a toutefois été retenu comme exemple de site favorable aux tortues : c'est l'un des sites d'échantillonnage (figure 1, page 4).

La baie de Venise et le littoral ouest jusqu'à la pointe McFee (carte 5, page 59)

La zone du fond de la baie est un cas complexe. On la considère à prédominance d'énrochements parfois avec de très gros blocs (Planche 4, photo 1). Mais on y reconnaît plusieurs plages ou grèves sableuses ou graveleuses avec des essais de revégétalisation.

Les vents du sud tendent à y pousser les débris d'algues et de matières ligneuses : il en résulte un secteur marécageux en voie de développement dans l'angle nord-ouest (Planche 5, photo 3).

La longue côte rectiligne ouest peut être partagée en zones murées et en zones d'énrochements. La première zone à murs, à Venise, est fortement détériorée. Les zones suivantes offrent quelques îlots de revégétalisation, associés à des énrochements. Vers la pointe Martin, le littoral étant moins exposé aux vents, qui viennent majoritairement de l'ouest-sud-ouest. Quelques sites naturels ont été conservés. À partir de la Pointe McFee, les secteurs de revégétalisation sur énrochements sont plus nombreux. On y compte aussi plusieurs grèves.

La pointe de la Province et la baie de Chapman (carte 6, page 61)

La pointe de la Province est conservée en berges naturelles : elle est partiellement rocheuse (à l'est et à la pointe elle-même) et partiellement revégétalisée (à l'ouest). C'est un site favorable aux tortues jusqu'aux marécages du ruisseau Waddell-Messier .

Le fond nord-ouest de la baie de Chapman est occupé par une zone d'énrochement et une zone naturelle avec afforestation. Cette dernière zone se partage en un affleurement rocheux avec grève caillouteuse et une plage sableuse bordée d'arbres. Dans l'ensemble, cette zone est riche en cordons de matériaux graveleux et sableux. Elle constitue donc un site propice pour la biodiversité.

ANALYSE DÉTAILLÉE DES BERGES ET DES RIVES

Ce résumé sur l'analyse des berges et des rives tient compte de l'observation d'une cinquantaine de sites: une quarantaine le long des rives de la baie Missisquoi et une dizaine le long des berges des rivières.

Mais grâce à une reconnaissance en barque à moteur, plusieurs dizaines d'autres sites ont été vus sur le cours inférieur de la rivière aux Brochets et sur les littoraux de la baie. Par ailleurs, toute la rive est de la baie, de la frontière des États-Unis jusqu'au village de Philipsburg, nous est familière. Enfin des travaux de cartographie des dépôts du Quaternaire nous ont permis de décrire plusieurs coupes de terrain le long de la vallée de la rivière aux Brochets, facilitant l'interprétation du contexte géologique de ce cours d'eau.

Soulignons que nous avons bénéficié de discussions avec plusieurs personnes, au cours de visites collectives. En particulier, nous tiendrons compte des commentaires de Monsieur Claude Anctil, consultant, dont le rapport est présenté intégralement en annexe 3.

État général des berges et rives.

1- Les conditions hydrologiques dans le bassin versant et le phénomène d'érosion .

Si le relief appalachien peut être considéré comme relativement mature, le réseau hydrographique est encore en évolution et le sera pour longtemps puisqu'il coule essentiellement sur des dépôts récents, meubles et facilement érodés. Les méandres sont encore jeunes et pas toujours encaissés dans des terrasses assez larges, d'où l'attaque prononcée des terres bordières, dans les rives concaves. Même les bordures externes des talus des terrasses principales peuvent être atteintes par les hautes eaux du printemps dans certains secteurs le long des cours d'eau: on peut s'attendre à des rectifications de ces talus si les conditions dynamiques extrêmes s'installent suffisamment longtemps lors des crues.

Par ailleurs, ces crues printanières sont associées, généralement, à des embâcles importants qui facilitent la montée des eaux. La force conjuguée des embâcles et des crues, lors de la fonte, a pu même provoquer des dégâts majeurs au pont de la route 133, à Saint-Pierre-de-Véronne, il y a quelques années.

Sur les rives est de la baie, les embâcles de glace atteignent exceptionnellement 4 à 5 mètres de hauteur (observations personnelles, à quelques reprises durant les 30 dernières années, au nord de la frontière des États-Unis). Au cours de l'été 2001, il a été possible de relever des cicatrices de plusieurs générations, laissées par la glace sur les arbres à une dizaine de sites: ces cicatrices affectent les arbres jusqu'à 3 mètres de hauteur au-dessus du niveau des eaux d'étiage. Par exemple, à Notre-dame-de-Stanbridge, les blessures sur l'écorce des érables atteignent 1,3 mètres au-dessus de la berge. Il faut dire que le cours du ruisseau aux Morpions a été sérieusement modifié: au lieu de couler dans un cours sinueux, il se jette maintenant en ligne droite et perpendiculairement dans la rivière aux Brochets, à ce site. Mais il est courant d'observer des cicatrices jusqu'à 2 mètres de hauteur sur les arbres et arbustes du cours inférieur de la rivière aux Brochets.

La rectification des cours d'eau a causé la disparition des zones tampons, sinueuses, qui absorbaient les trop pleins des eaux: elles s'engouffrent plus vite maintenant vers les collecteurs principaux. Le phénomène est général dans les zones agricoles.

La force du courant est manifestement responsable des érosions observées en haut des talus le long des méandres, tandis que le sapement des eaux en décrue cause des failles d'effondrement et l'inclinaison des arbres ou leur déracinement progressif (Planche 2 et 3).

Sur les rives de la baie Missisquoi, à cause des vents ouest-sud-ouest, les vagues de printemps ont un effet majeur également sur les rives (Planche 4, photos 3 et 5; Planche 6, photo 3). La rive est de la baie offre de nombreux exemples de l'attaque des vagues sur le talus de la terrasse de Stanley Drive: la paléofalaise de plus de 5 mètres de hauteur, héritée d'un niveau ancien des eaux, subit des encoches d'érosion lorsqu'elle n'est plus protégée par la végétation. Deux chemins d'accès au lac, construits lors de la création des développements (Rémillard et Stanley Drive) se

terminent abruptement: les riverains n'ont plus accès au lac qu'en escaladant les rochers qui furent déversés là, sous la terre poussée au bulldozer, ou le talus d'érosion!

En fait aucune rive ou berge de la baie n'est vraiment à l'abri des vagues causées par les vents, puisque ceux-ci sont assez variables selon les saisons, même si ceux du secteur ouest sont dominants.

2- Les effets du vent sur les grands arbres: les chablis.

Il n'est pas nécessaire d'insister sur le rôle du vent dans la déstabilisation des arbres, qu'ils soient dessouchés par les vagues ou les cours d'eau (Planche 3, photos 2 et 4), ou qu'ils poussent sur des terrains humides moins stables (Planche 3, photo 3).

Le phénomène du chablis est quasi-permanent: les dégâts causés aux rives ou aux berges, bien qu'occasionnels, sont toujours importants. En fait lorsqu'un chablis se produit, il serait possible de mettre à profit les branches pour consolider une berge en érosion et ne pas laisser l'arbre encombrer le lit de la rivière: ceci provoque habituellement un blocage du cours d'eau et cause plus de dégâts en provoquant des obstacles à l'écoulement (Planche 2, photo 2; voir aussi commentaire de la photo 2, planche 3). Idéalement, les arbres à risque devraient être abattus avant leur déracinement, ou protégés par des plantations d'arbustes à leur périphérie quand il en est temps.

3- Les constructions de murs de béton et de gabions.

Plusieurs cas ont été examinés. Outre les aspects négatifs sur l'environnement hydrologique du sol et la végétalisation des berges et rives, il faut insister sur le fait que les conditions hydrologiques générales du bassin et le climat contrasté (gel-dégel) ne rendent pas ces aménagements très permanents. On constate partout que le sapement, l'infiltration des eaux entre les terrains meubles et la construction et la fracturation par la répétition des cycles de gel-dégel viennent rapidement déstabiliser ces protections onéreuses. Voici un exemple au nord-est de la baie de Venise : le mur d'un terrain proche du parc écologique doit avoir environ 40 ans d'âge,

selon la circonférence des érables argentés du terrain; il est parfois incliné de 25 degrés en direction du lac. Même son renforcement par des blocs métriques sur la grève - devenue ainsi impraticable- n'empêche pas la destruction progressive de cette construction. Les arbres eux-mêmes sont inclinés lorsque plantés trop près du mur; ils sont entraînés par l'effet de la gravité sur le sol (fauchage de pente).

Nous n'aborderons pas le problème des murs ou gabions dans les zones urbanisées le long des cours d'eau: leur installation, historique le plus souvent, répondait à une nécessité incontournable. Les nouvelles structures en gabions sont maintenant plus respectueuses de l'environnement.

Rappelons qu'il arrive souvent que les gabions du dessous bougent avec la force des courants et des glaces et s'ouvrent, laissant s'échapper la pierre qu'ils contiennent, ce qui provoque une déstabilisation de l'ensemble de l'ouvrage, difficilement réparable parce que très coûteux. Les gabions se végétalisent difficilement, mais c'est possible en ajoutant de la terre. La végétalisation des gabions retient davantage les cailloux en place et permet surtout de redonner un aspect plus naturel en faisant disparaître avec le temps ce type de mur. On peut végétaliser le pied des gabions avec des fagots de saules de l'intérieur pour protéger le littoral et redonner un aspect plus naturel. Il faut également végétaliser le dessus des gabions et la rive derrière afin d'éviter que l'eau ne creuse des sillons profonds derrière en emportant le sol, ce qui nuit à l'ensemble de l'ouvrage qui risque alors de basculer.

4- Les enrochements.

Il existe probablement presque autant de types d'enrochements que de propriétaires les ayant réalisés (Planche 6, photos 1 et 2; Planche 7). Lorsqu'ils sont correctement installés, faits de cailloux de dimensions raisonnables et revégétalisés, ces correctifs à la nature sont un moindre mal pour contrer l'effet de l'érosion. Plusieurs exemples sont présentés sur les planches 4, 6 et 7.

- Au village de Philipsburg, par exemple, on a pu profiter de l'abondance de résidus de carrière de marbre pour déverser de grandes quantités de pierres taillées et même empiéter sur le littoral très instable de la baie. Le résultat n'est pas des plus heureux (Planche 4, photos 3 et 5). En outre, même associé à des sections en murs de béton, cet aménagement

n'a pas résolu les problèmes de ce littoral: il est exposé aux vagues à la première rafale de vent et sujet à l'accumulation des débris organiques de toutes les catégories. Évidemment, les riverains font remarquer à juste titre que les algues et plantes aquatiques échouées sont un phénomène qui s'est amplifié avec l'eutrophisation de la baie.

- En rivière (Planche 6, photo 2), la nature vient à bout de revégétaliser les amoncellements les plus grossiers. Mais il y a matière à amélioration pour faire face aux forces de la nature et protéger à tout prix les terres agricoles les plus fertiles de la province.
- Plusieurs types d'aménagement par enrochements sont présentés comme plus efficaces et plus respectueux de l'environnement (Planche 7, photos 1 à 3). Deux grands problèmes doivent être résolus pour ces aménagements: l'écoulement des eaux des sols et la reconstitution d'une berge et d'une rive végétalisées. Au delà des règlements, des campagnes de sensibilisation auprès de la population riveraine pourront conduire à une restauration progressive des berges des rivières et des rives de la baie.

5- Les rives naturelles de la baie.

Plusieurs exemples ont été étudiés: au nord-ouest de la baie Chapman; sur la côte est de la pointe Jameson; au nord de la Grande Baie; et sur le littoral est de la baie.

Là encore la diversité est la règle. On peut distinguer des grèves plates, ou en pente douce, avec du gravier ou du sable; celles avec des petites berges herbeuses ou arbustives; et celles encombrées de gravier plus grossier et de blocs, parfois d'ordre métrique.

(a) Lorsque les matériaux sont des gravillons, des graviers de petites dimensions ou de sable, il se développe des systèmes de cordons littoraux de quelques dizaines de centimètres de hauteur: un modèle a été préparé pour le public. Il s'agit d'accumulations laissées par les tempêtes, parallèlement au rivage, qui empiètent sur la végétation du haut du littoral. Tous ces matériaux dérivent du till local, d'origine glaciaire; celui-ci est lavé par les vagues et ses fractions les plus grossières poussées sur la grève, tandis que la partie fine (silt et argile) est emportée vers le large. Parfois le substrat rocheux ardoisier contribue à cette fraction caillouteuse (côte est de la baie, principalement et pointe de la Province;...). Ces rives naturelles peuvent être considérées comme

les plus favorables du point de vue écologique. Le lavage régulier des cailloux et du sable leur confère un assez bon classement (Annexe 2: granulométrie): les tortues peuvent y pondre leurs oeufs.

Les photos 1 et 2 de la planche 5 représentent un exemple typique de plage sableuse. Dans ce cas, l'exposition aux vents du large facilite le transfert du sable en direction du marécage du delta de la rivière aux Brochets, par dessus la barre sableuse qui prolonge le terrain de camping du Domaine Florent. Une revégétalisation de saules (naturelle ici) peut assurer sa stabilité relative. Mais c'est sur cette même grève, un peu à l'ouest du site montré, que plusieurs arbres matures ont été renversés, causant une encoche d'érosion majeure.

À la baie Chapman, plus abritée, les quelques plages graveleuses et sableuses constituent des refuges écologiques qu'il serait bon de conserver. Malheureusement, des personnes viennent y récolter du gravier ! Ailleurs, les grèves granulaires naturelles ne sont plus que de rares enclaves au milieu des aménagements quasi-continus. Des actions devraient être entreprises pour les préserver. Mais il serait souhaitable en plus de planifier des aménagements plus intégrés qui favoriseraient la reconstitution de littoraux naturels, en alternance avec les enrochements, lorsque de nouveaux aménagements sont demandés par les riverains. Des études précises des effets des vagues seront alors nécessaires.

(b) Les berges ou rives inférieures à un mètre de hauteur, bien protégées par de la végétation arbustive, adaptée aux sols humides, peuvent résister aux glaces printanières: la glace glisse sur les arbustes qui se redressent après la fonte. Les berges du cours inférieur de la rivière aux Brochets et les rives du secteur nord-est de la baie sont les plus propices à ce genre d'aménagement. Ce sont d'ailleurs les plus grands secteurs non occupés par des riverains.

(c) Quant aux rives encombrées de cailloux et de blocs d'origine glaciaire (till délavé), sur la côte est de la baie, elles pourraient facilement être plantées d'arbustes. Les littoraux redeviendraient rapidement plus écologiques. Quelques petites grèves graveleuses suffisent à donner accès aux riverains peu nombreux.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES SUR L'ÉTAT DES BERGES ET DES RIVES. RECOMMANDATIONS

1. Les berges des zones agricoles sont de deux types principaux : (a) en voie d'érosion, particulièrement dans les segments à méandres et sans développement de terrasses anciennes ; (b) aménagées et protégées lorsque la population s'est installée sur les rives. De nombreux sites d'érosion sont majeurs et menacent les terres agricoles. Sans prétendre qu'il sera possible d'arrêter complètement l'érosion, on peut penser que des actions concertées des autorités et des citoyens riverains permettraient d'en limiter les effets, tant dans les zones d'intense exploitation agricole que celles qui sont maintenues en boisés.
2. La rivière Missisquoi est un cas particulier, sans doute, dans le bassin versant. En effet, les contextes géologique et géomorphologique font que ses berges sont très vulnérables : beaucoup de méandres actifs sont recensés. Les coûts de protection pourraient devenir rapidement exorbitants. Il faut donc chercher des solutions de bon sens et faciles à réaliser, dont les effets positifs se feront sentir rapidement. En premier, le bon entretien des rives s'impose : élaguer des arbres en mauvais état ; supprimer ceux qui sont pratiquement perdus et qui en tombant provoqueront plus d'effondrement des berges ; ne pas jeter dans l'eau ou sur les rives des branches qui tôt ou tard se retrouveront à participer à des embâcles ! Mais il est possible de faire plus : par exemple en plantant régulièrement des saules ou autres arbustes adaptés aux sols humides aux endroits critiques ; le maintien des zones de débordement en bon état (et ne pas les supprimer) a pour effet de diminuer la pression exercée par les crues (d'Auteuil, 2000). Enfin, l'application du respect de la bande riveraine, dont le recul des barrières à animaux, aurait des effets immédiats dans bien des cas observés cet été. Des études permettraient de reconnaître les cas les plus critiques et d'apporter des correctifs urgents.
3. Pour la rivière aux Brochets, le respect de la bande riveraine est certainement la recommandation principale en général : en particulier, les travaux avec des engins lourds sont à proscrire aux abords des rives. Pour gagner un peu de production quelques années, on risque à coup sûr de perdre des pans de rives pour toujours ! Les autres propositions présentées ci-dessus, pour la rivière Missisquoi, sont certainement tout aussi valables.

4. Les rives basses de la rivière aux Brochets, près de son embouchure, sont essentiellement soumises aux effets des vagues du batillage l'été. La zone boisée montre bien de nombreuses cicatrices laissées par les glaces printanières, mais les arbres semblent bien résister. La plantation d'espèces adaptées, telles que le saule, améliorerait bien des situations qui présentent des dégradations, aux abords immédiats du cours d'eau. Le respect des bandes riveraines s'impose également. Quant aux chablis, peut-être un peu plus nombreux puisque les sols gorgés d'eau sont plus instables, il convient de les surveiller (abattage et remplacement par de jeunes arbres peuvent assurer une meilleure protection et diminuer les dégâts).
5. Il existe plusieurs types de littoraux naturels à la baie Missisquoi. Les berges basses, végétalisées, sont relativement bien conservées. Seuls, les chablis peuvent affecter significativement la résistance des berges à l'érosion : un arbre adulte qui tombe, c'est une brèche qui prépare un recul du littoral ou d'une berge. Les arbres en danger devraient être protégés ou abattus et remplacés. L'utilisation à bon escient des branches d'un chablis ne coûte que le temps pour renforcer la cicatrice laissée par la chute et l'érosion déjà en cours !
6. Les berges de la baie Missisquoi sont très majoritairement aménagées depuis la pointe Jameson jusqu'à la pointe de la Province: murs et enrochements se succèdent presque de façon continue. L'état des murs est souvent dégradé, particulièrement du côté ouest de la pointe Jameson, très exposée aux vagues de printemps. Toutefois, quelques sites sont revégétalisés avec succès. Et des sites isolés de plages graveleuses ou sableuses offrent des cordons de matériaux granulaires dont on peut penser qu'ils constituent des endroits privilégiés pour les tortues.
7. Pour les rives de la baie Missisquoi, il est souhaitable que tout nouvel aménagement se fasse dans le cadre d'un plan de récupération progressif de la rive afin de la rendre plus conforme à un milieu plus écologique. Mais de nombreux petits gestes peuvent être réalisés par tout le monde : ne pas créer des remblais de gros blocs et les construire selon les nouvelles normes de façon à assurer l'équilibre de la nappe phréatique ; ne déverser aucune matière organique

sur les rives immédiates et encore moins dans l'eau !; ne pas renforcer les rives avec des matériaux disparates, non-esthétiques ou toxiques (bois traités);... Enfin le déboisement excessif ou mal fait, pour s'assurer la plus vue du pays, et le fauchage à outrance ne devraient plus se pratiquer. Il va sans dire que l'utilisation des pesticides ou herbicides ne peuvent qu'être dangereux pour la faune et l'équilibre de la biodiversité.

EPILOGUE

Les conclusions de l'étude de caractérisation des rives de la baie Missisquoi, de la rivière aux Brochets et de la rivière Missisquoi apportent un éclairage nouveau sur les phénomènes d'érosion et les ouvrages de stabilisation effectués dans le bassin versant de la baie Missisquoi. Les recommandations concernent les différents secteurs types qui ont été localisés sur les cartes de caractérisation des rives : berges naturelles, berges avec enrochement, berges en érosion et berges avec murets.

Pour les secteurs naturels, la protection est de mise et devra être poursuivie dans le cadre du plan d'action concertée du bassin versant de la baie Missisquoi. Les secteurs déjà enrochés démontrent que les problèmes d'érosion ont été résolus par une méthode simple, non dommageable pour le milieu naturel lorsqu'il y a repousse de la végétation, ce qui permet de restaurer, au moins partiellement, la biodiversité du littoral et de la bande riveraine. Les secteurs en érosion demeurent problématiques et des actions devront y être planifiées en priorité. Pour ce qui est des murs de béton ou de gabions, les travaux nécessaires seront de plus grande envergure afin de restaurer les ouvrages ou de les compléter par une végétalisation. Il sera alors possible de mieux protéger le milieu aquatique et d'améliorer l'esthétique. Des actions de restauration et de végétalisation de ces ouvrages pourront être intégrées au plan d'action concertée.

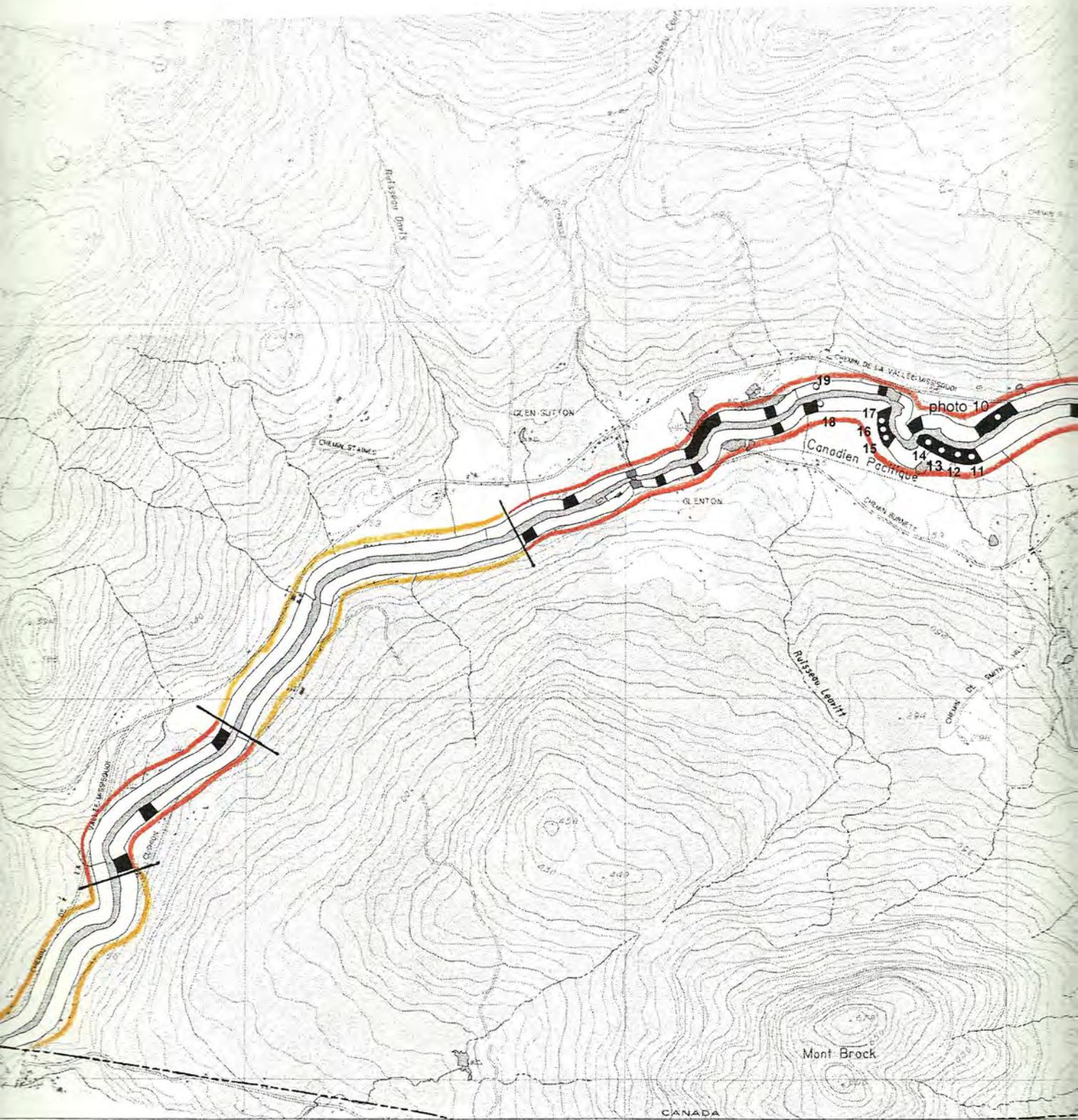
Cette étude de caractérisation s'avère fort utile pour la Corporation Bassin Versant Baie Missisquoi puisqu'elle s'appuie sur une description détaillée de l'état des rives. Il est maintenant possible d'établir les secteurs à prioriser pour le plan d'action concertée. La Corporation pourra également sensibiliser les différents intervenants du milieu et la population riveraine grâce aux illustrations des problématiques ainsi qu'aux outils éducatifs développés dans le cadre de ce projet : (1) une affiche (Figure 2, hors texte) sur l'histoire de la géologie et des paysages; (2) une maquette en trois dimensions sur la sédimentation des sables et graviers en milieu littoral; (3) des monolithes qui sont des prélèvements de sols coupés verticalement et imprégnés de résines, permettant de visualiser les différentes couches de terrain.

La Corporation effectuera des rencontres d'informations dans les municipalités riveraines à partir de l'été 2002 et au cours des prochaines années, ainsi que des présentations lors de différents colloques. Les études de caractérisation des rives qui seront effectuées avec les années serviront à mettre à jour la carte de l'état des rives pour l'ensemble du bassin versant. Cette carte fera partie intégrante d'un atlas cartographique sur différentes thématiques du bassin versant. L'analyse des problèmes d'érosion et de stabilisation sera traitée dans un rapport plus global, le « Portrait du bassin versant ». Cette connaissance du milieu sera appliquée dans le plan d'action concertée du bassin versant, plan d'action évolutif favorisant les actions locales par les différents organismes du milieu.

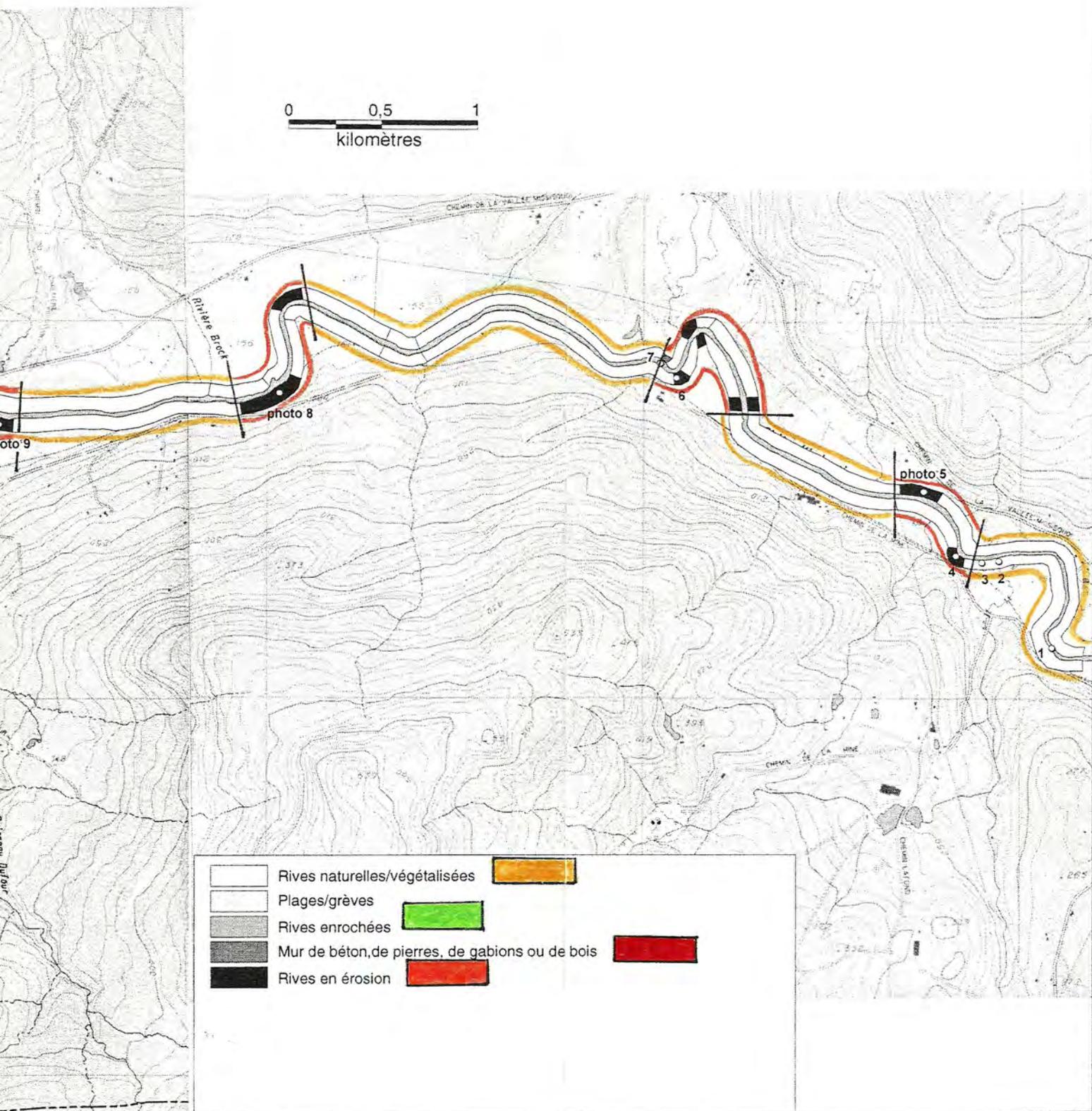
La Corporation Bassin Versant Baie Missisquoi est très heureuse des résultats de cette première étude de caractérisation des rives dans le bassin versant de la baie Missisquoi et poursuivra ses efforts de connaissance du milieu avec l'ensemble de ses membres des domaines agricole, municipal, environnemental, touristique et économique ainsi que de ses partenaires externes tels que les ministères et les établissements d'enseignement et de recherche.

REFERENCES

- Auteuil (d'), C., 2000.** *La politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables : analyse de son application au niveau municipal.* Rapport d'activité- Maîtrise en analyse et gestion urbaines. Un. De Montréal, 98 p.
- Bostock, H.S., 1964.** *A provisional physiographic map of Canada.* Geological Survey of Canada. Paper 64-35, 24 p., Map 13-1964
- Bostock, H.S., 1972.** *Subdivisions physiographiques du Canada,* In: Géologie et ressources minérales du Canada, partie A, R.J.W. Douglas (édit.), Commission géologique du Canada, p. 11-38
- Chapdelaine, C., 1996.** *En remontant la rivière aux Brochets - Cinq mille ans d'histoire amérindienne dans Brome-Missisquoi.* MRC de Brome- Missisquoi, 22p. ("Up the Pike River...")
- Charbonneau, J.-M., 1980.** *Région de SUTTON (W).* Ministère de l'Énergie et des Ressources, Direction générale de la recherche géologique et minérale. DPV-681, 89 p. Carte 1: 50 000
- Environnement Canada et Ministère de l'Environnement du Québec, 1979.** Cartes du risque d'inondation. Baie Missisquoi, Québec. 4 cartes, échelle 1: 10 000
- Globensky, Y., 1981.** *Région de Lacolle et Saint-Jean (S).* Ministère des Ressources Naturelles du Québec. Cartes géologiques 1956 et 1957, échelle 1: 63 360.
- Goupil, J.-Y., 1998.** *Protection des rives, du littoral et des plaines inondables : guide des bonnes pratiques.* Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral. Ministère de l'Environnement et de la Faune, Publications du Québec, 156 p.
- Prichonnet, G., 1982.** *Résultats préliminaires sur la géologie Quaternaire de la région de Cowansville, Québec.* Scientific and Technical Notes in Current Research (Recherches en cours), Part B ; Commission géologique du Canada, Études 82-1B. p. 297-300.
- Prichonnet, G., 1984.** Dépôts quaternaires de la région de Granby, Québec. Commission géologique du Canada, Étude 83-30, 8 p., Carte 1: 50 000.
- Prichonnet, G., A. Doiron et M. Cloutier, 1982.** *Le mode de retrait glaciaire tardiwisconsinien de la bordure appalachienne, au sud du Québec.* Géographie physique et Quaternaire, vol.XXXVI, nos 1-2, pp.125-137.
- En préparation :
- Aquin, M.-C., 2002.** *Géologie du secteur de la baie Missisquoi. Aménagement, économie et environnement. Activité de synthèse de baccalauréat.* Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère

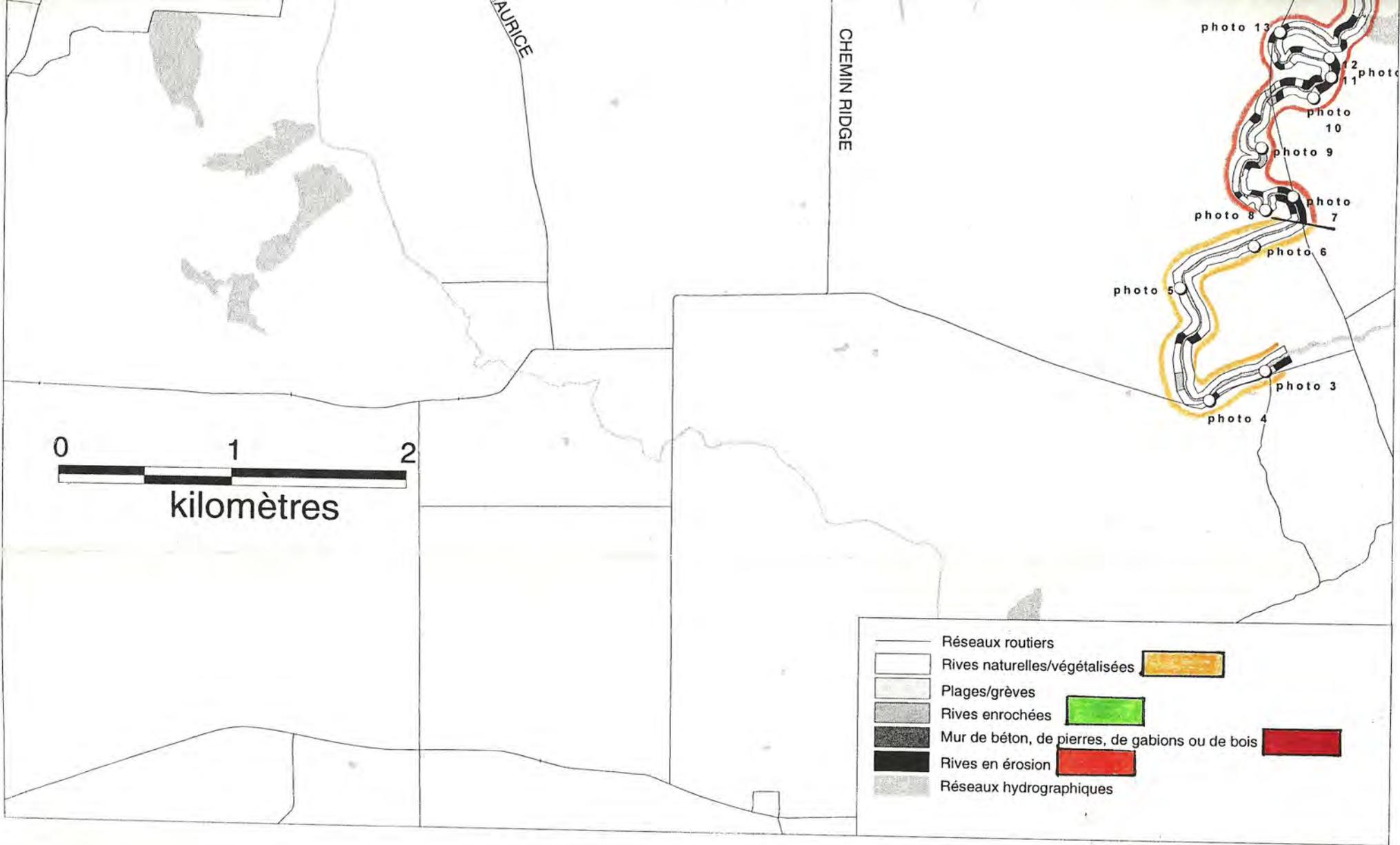


Carte 1 **Caractérisation des rive**



de la rivière Missisquoi





Carte 2 | **Caractérisation des rives de la rivière aux Brochets
Tronçon 1**

CHEMIN DE LA GRANDE LIGNE

CHEMIN DE LA GRANDE LIGNE

Notre-Dame
de - Stronbridge

CHEMIN SAINT-CHARLES

RANG SAINT-JOSEPH

CHEMIN DES RVIÈRES

RANG DES DUQUETTE

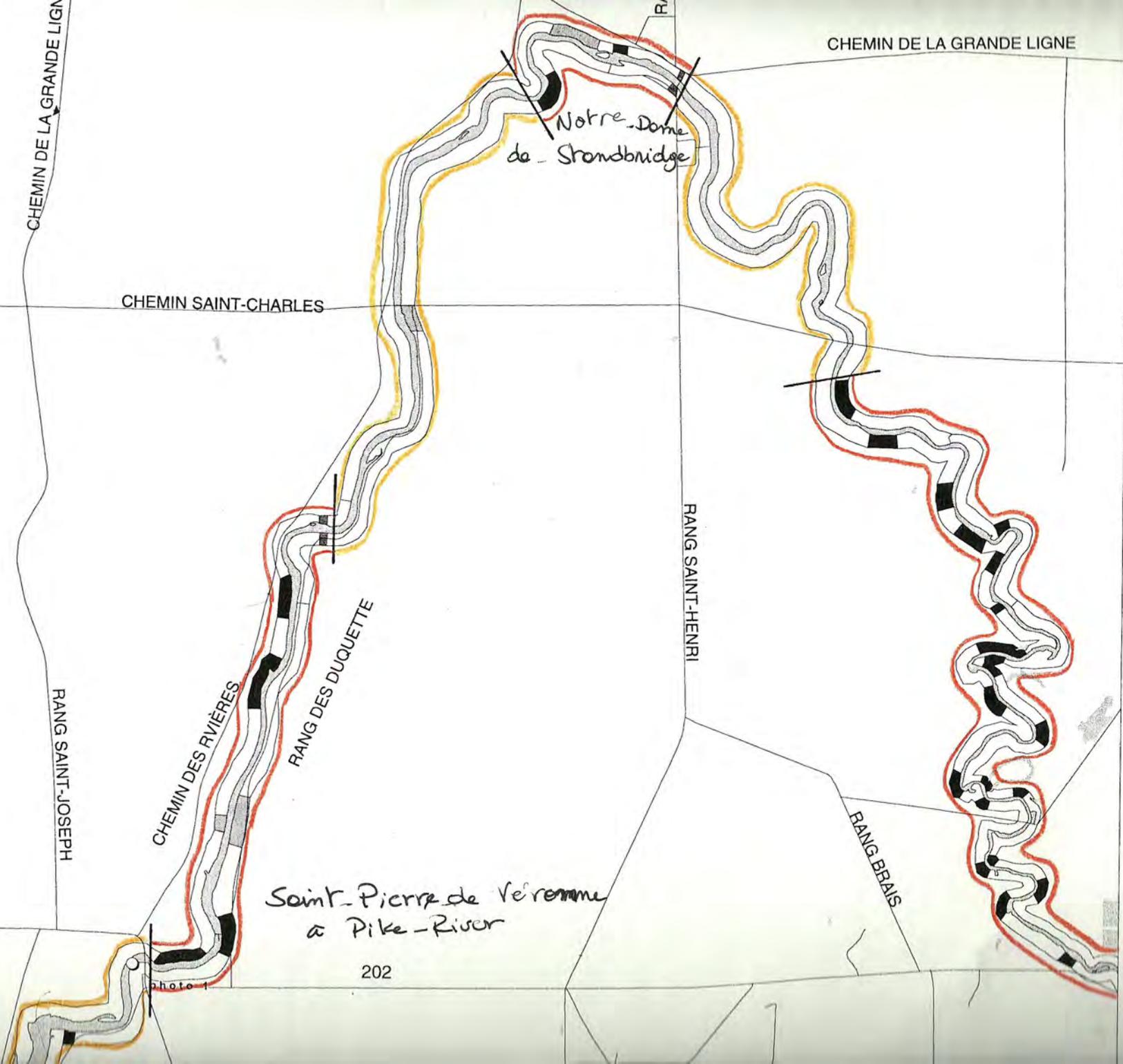
RANG SAINT-HENRI

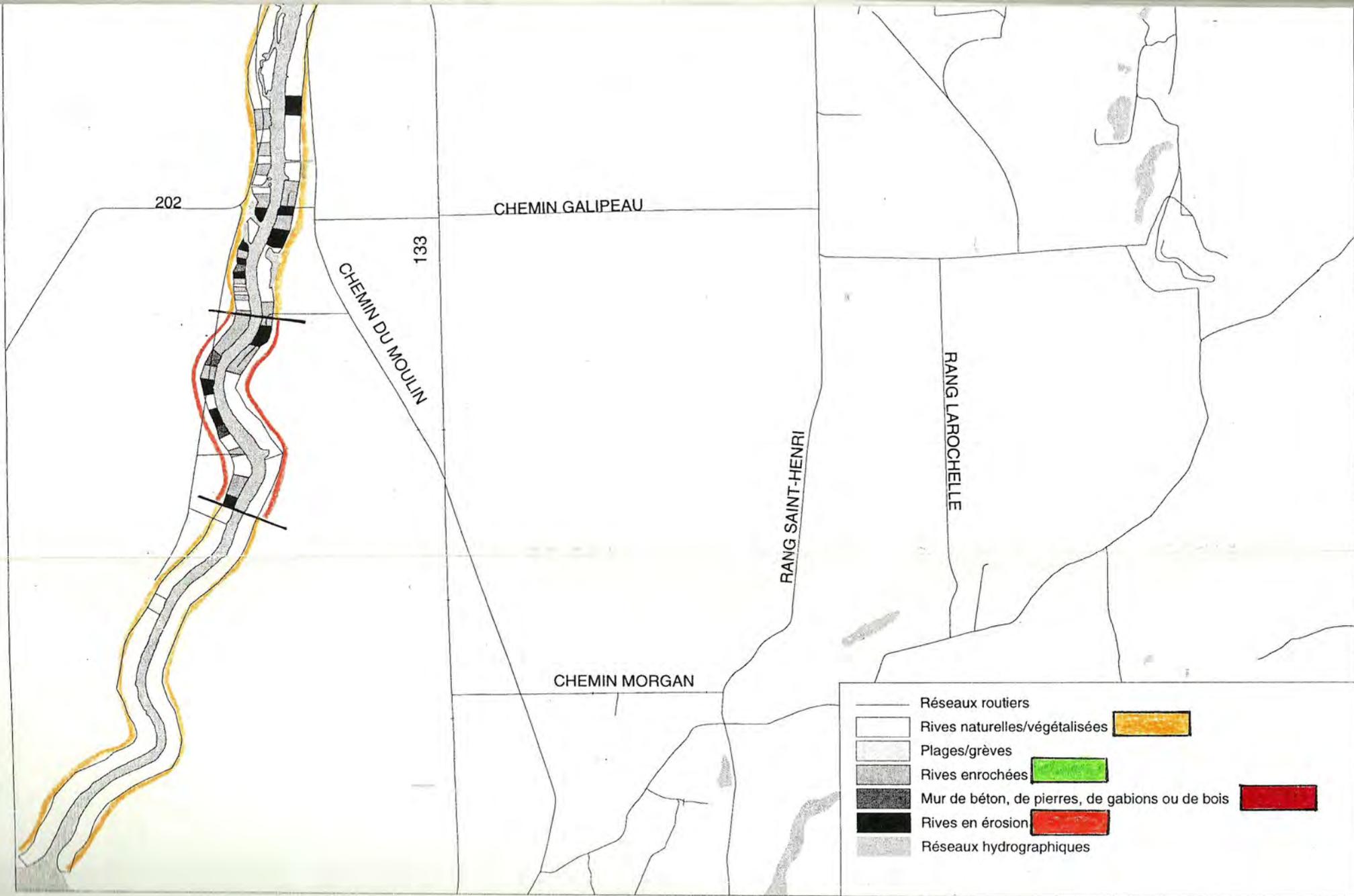
RANG BBAIS

Saint-Pierre de Veeremue
à Pike-River

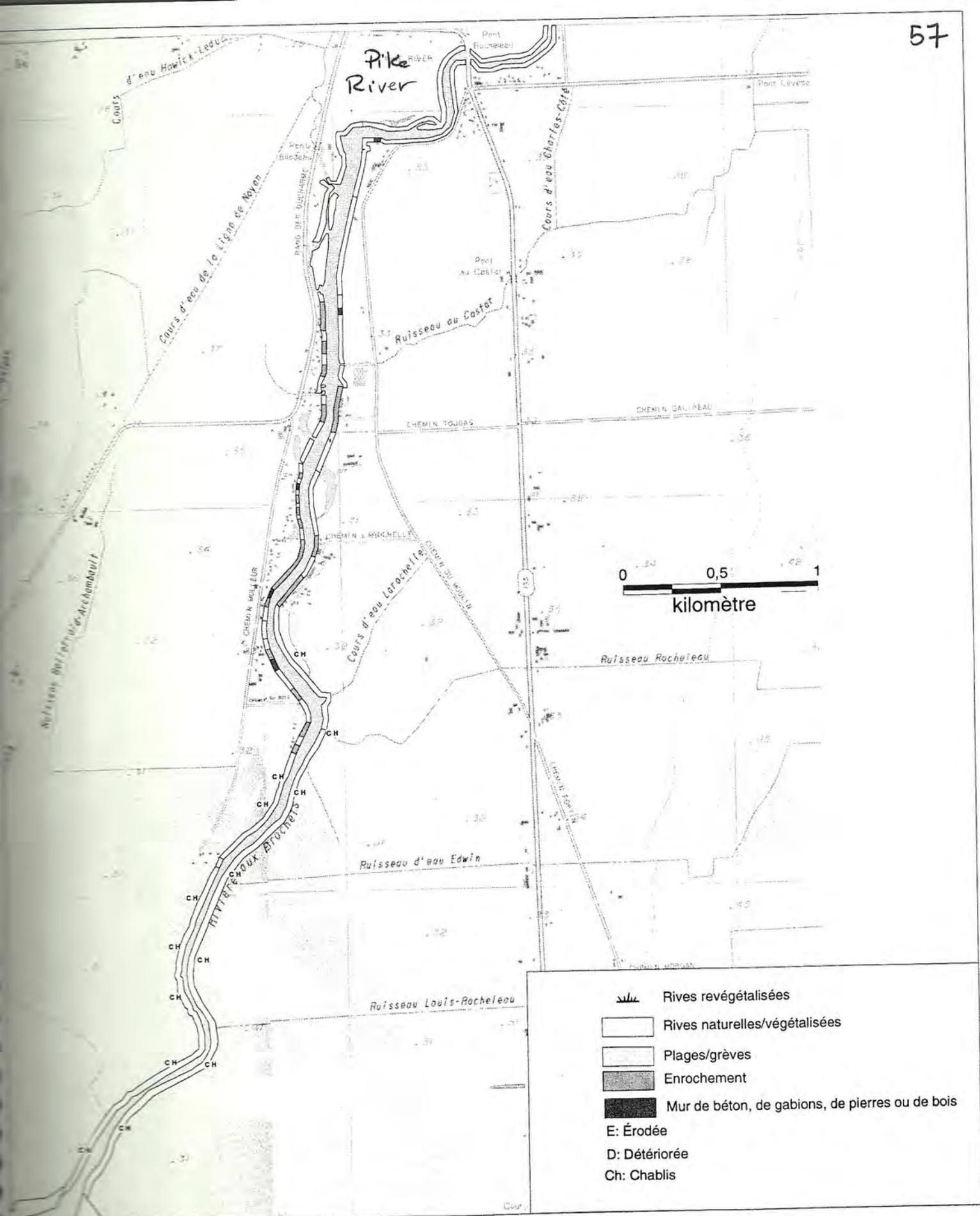
202

photo 1



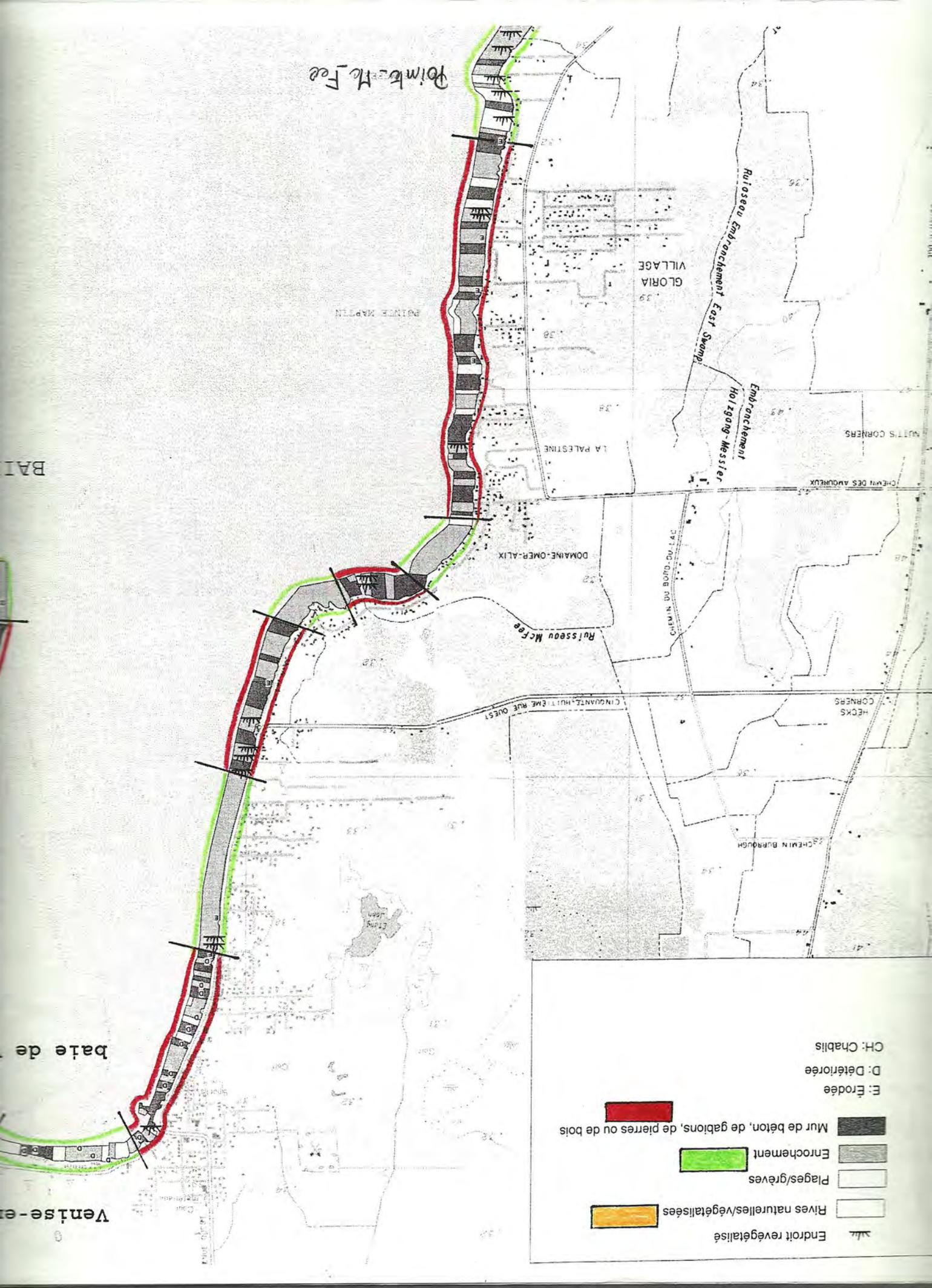


Carte 3 **Caractérisation des rives de la rivière aux Brochets**
Tronçon 2



RIVIÈRE AUX BROCHETS DE PIKE RIVER À LA BAIE

Carte 4



Pointe de la Fée

VILLAGE GLORIA

POINTE MAPIIN

LA PALESTINE

DOMAINE-OMER-ALIX

Ruisseaux McFee

Ruisseaux Embranchement Est
Embranchement
Hoizong-Messier

Nuits CORNERS

CHEMIN DES ANGOUREUX

HECKS CORNERS

CHEMIN BURROUGH

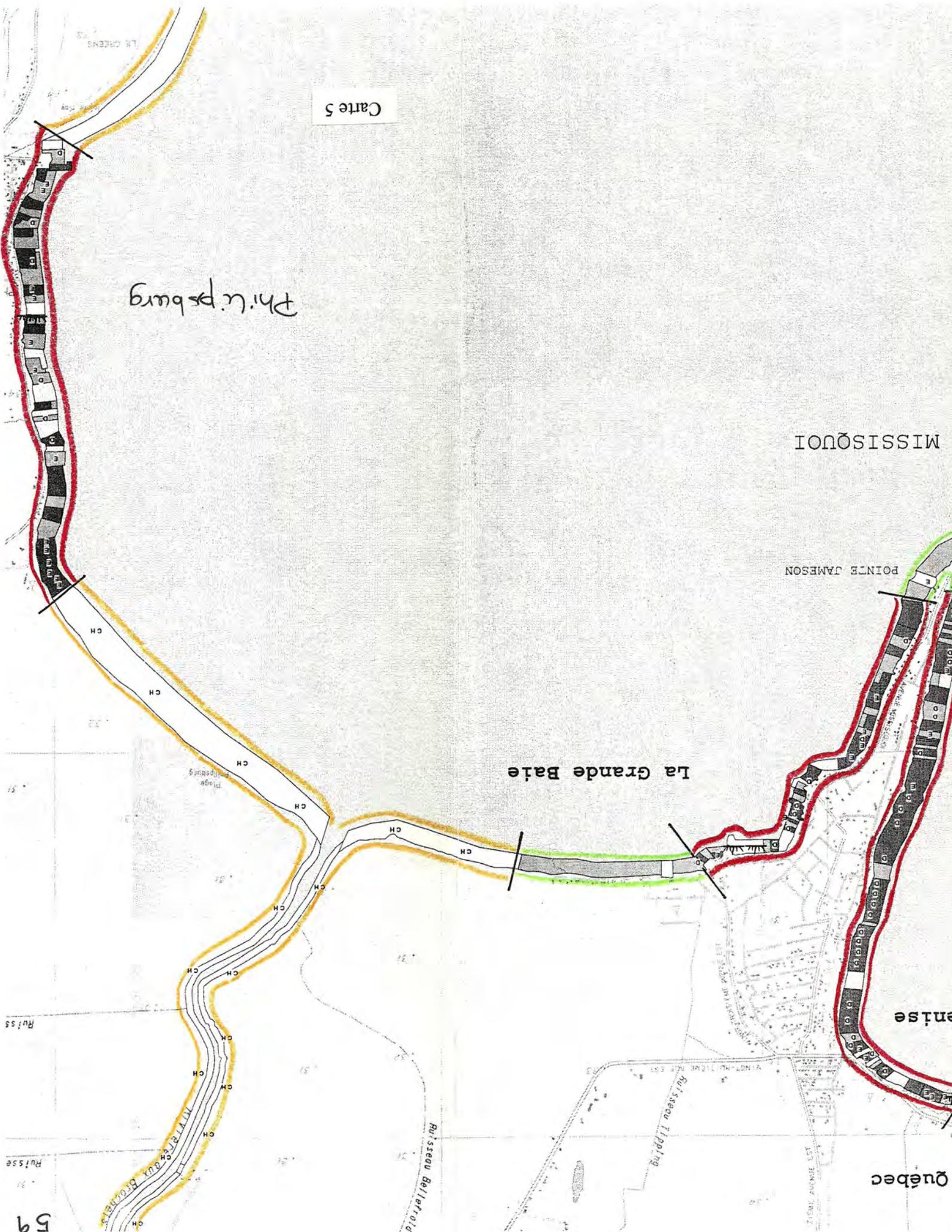
CINQUANTE-HUITIEME RUE OUEST

2371 RD. GLOBE RD N°1310

bate de

Ventise-en-

-  E: Erodee
-  D: Déteriorée
-  CH: Chablis
-  Muret de béton, de gabions, de pierres ou de bois
-  Endroit révégétalisé
-  Rives naturelles/végétalisées
-  Plages/grèves
-  Enrochement



Carte 5

Ph. U. Passburg

MISSISSOUI

POINTE JAMESON

La Grande Baie

enise

Québec

Ruisseau

Ruisseau

59

Ruisseau Bellefroid

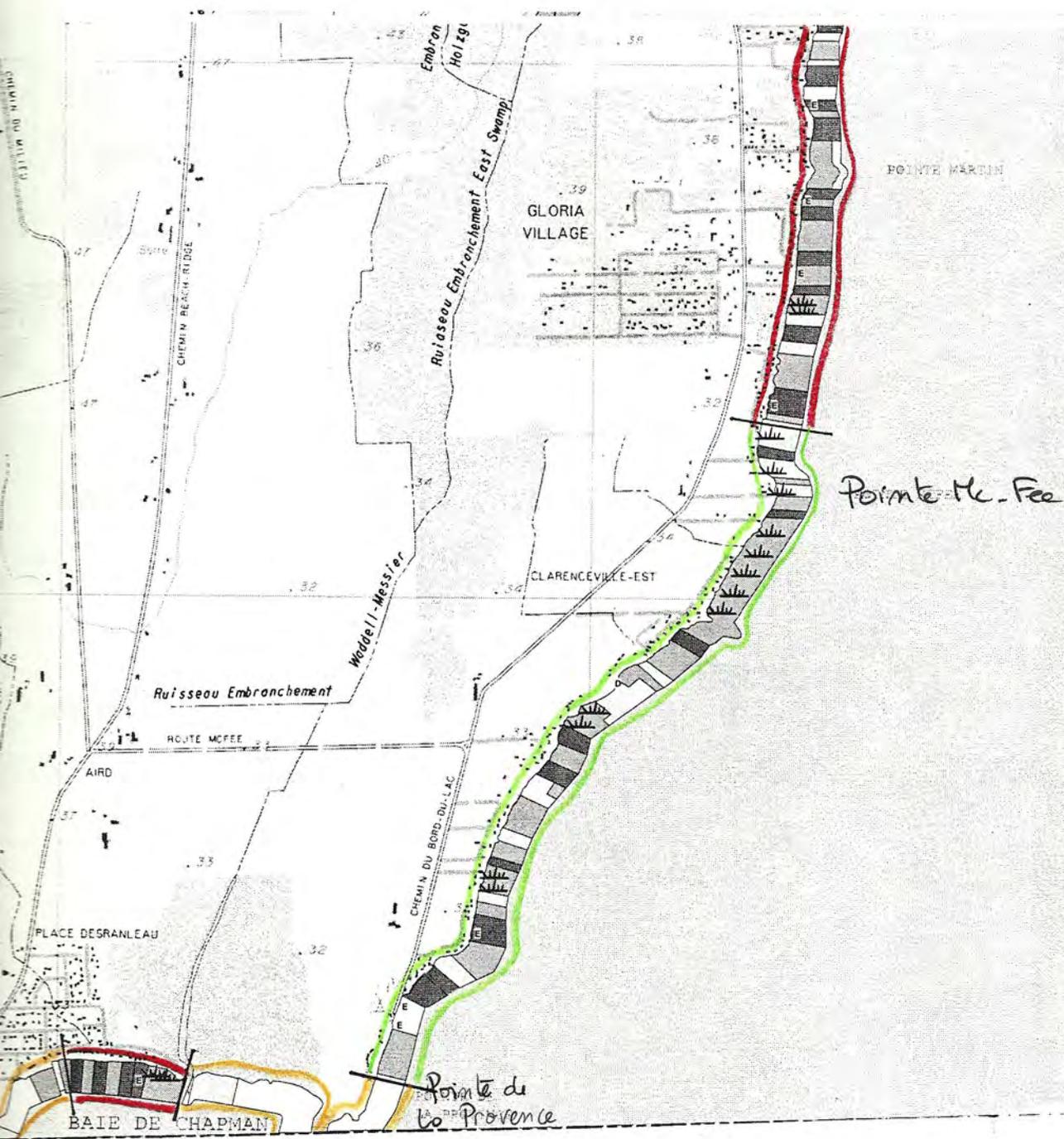
Ruisseau il poling

ZIEM, AVENUE EST

Plage Philpotts

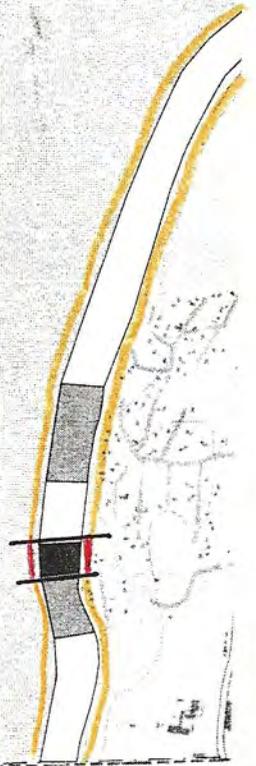
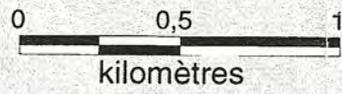
RUISSEAU BRUNEAU

LE GREENS



Carte 6

Caractérisation des rive



s de la baie Missisquoi

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 Exemples de fiche de terrain

- Deux fiches sur l'érosion des rives
- Deux fiches sur les monolithes

Annexe 2 Exemples de résultats de laboratoire:

- Calcimétries
- Granulométries: deux exemples

Annexe 3 Rapport de consultation de Claude Anctil et photos des sites spécifiques.

- Méandres de la rivière Missisquoi
- Bedford: amont et aval du barrage au pont routier
- Parc à Notre-Dame-de-Standbrige
- Parc écologique riverain de Venise-en-Québec
- Abord du quai de plaisance

L'érosion de la rive : baie Missisquoi et rivière aux Brochets

1: Faible

2: Importante

3: Majeure

1-Le talus anthropique (milieu artificialisé)

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|---|
| <input type="checkbox"/> mur de soutènement | <input type="checkbox"/> bois | <input type="checkbox"/> béton | <input type="checkbox"/> gabion |
| <input type="checkbox"/> remblai | | | |
| <input type="checkbox"/> descente de bateaux | <input type="checkbox"/> béton | <input type="checkbox"/> gravier | <input type="checkbox"/> pierres |
| <input type="checkbox"/> Plage | <input type="checkbox"/> herbacée | <input type="checkbox"/> sableuse | <input type="checkbox"/> grève |
| <input checked="" type="checkbox"/> enrochement | <input type="checkbox"/> placé | <input checked="" type="checkbox"/> déversé | <input type="checkbox"/> clé à la base |
| Classe de l'enrochement: | | <input type="checkbox"/> gravier ___ % | <input type="checkbox"/> cailloux ___ % |

- bon état
 pente faible

- en voie de détérioration
 pente moyenne

- très détérioré
 pente forte

2-Le couvert végétal

- moitié supérieure du talus arbres arbustes herbacées → Reprise végétalisée localisée
- moitié inférieure du talus arbres arbustes herbacées

- pente faible
 pierres ___ %

- pente moyenne
 blocs ___ %

- pente fort

3-La morphologie du site

- position de la rive par rapport à l'axe d'écoulement
position de la rive à l'intérieur du méandre
distance couverte par la berge en mètre (approximativement)
hauteur du talus ou de l'ouvrage
pente du talus de la rive
pente de l'avant-plage

- rive irrégulière
 côté convexe
 25 mètres

- densité moyenne
 densité moyenne
 parallèle ou oblique
 côté concave

- éclairsemé
 clairsemé
 pointe avancée
 fort méandre

4-La morphologie du cours d'eau

- 5-Les vagues exposition du site aux vagues de vent observée potentielle
batillage pour les embarcations motorisées, proximité du parcours

- < 1 m
 < 30%
 < 10%
 élargissement
 faibles vagues
 > 10 m

- 1 à 2 m
 30 à 66 %
 10 à 15 %
 tronçon droit
 vagues fortes
 5 à 10 m

- > 2 m (~3 m)
 > 66 %
 > 15 %
 rétrécissement
 vagues déferlantes
 < 5 m

- 6 L'érosion érosion généralisée dans la moitié supérieure du talus
 érosion localisée dans la moitié inférieure du talus

- faible
 faible

- moyenne
 moyenne

- forte
 forte

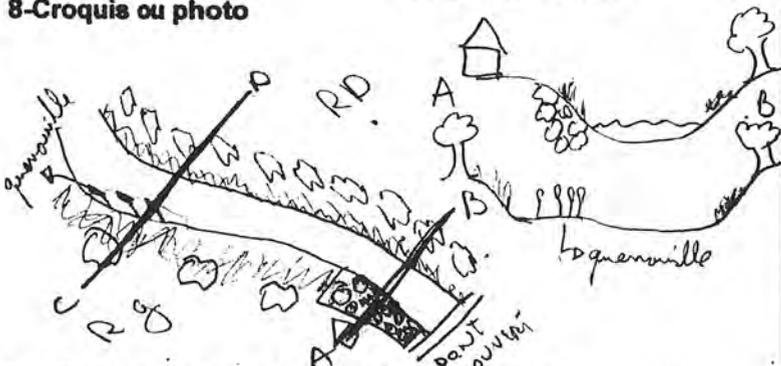
7-Les renseignements complémentaires

État du talus

- dénudé, chablis ravinement
 arbres déracinés arbres très inclinés
 affaissement recul à la base
 bas du talus exondé à l'étiage
 levées naturelles

- N/A
Type de sol argile limon sable
 surcharge au sommet
 bas du talus inondé à l'étiage
 barres alluviales

8-Croquis ou photo



Remarques

RG → Enrochement Après le pont fait avec des pierres des champs
- reprise végétale à quelques endroits

RD - Herbacé dans le bas
- ronges d'arbres dans le haut

plus en aval.

Herbacé avec des quenouilles dans le bas

L'érosion de la rive : baie Missisquoi et rivière aux Brochets

09-01

1-Le talus anthropique (milieu artificialisé)

<input checked="" type="checkbox"/> mur de soutènement	<input type="checkbox"/> bois	<input checked="" type="checkbox"/> béton	<input type="checkbox"/> gabion
<input type="checkbox"/> remblai			
<input type="checkbox"/> descente de bateaux	<input type="checkbox"/> béton	<input type="checkbox"/> gravier	<input type="checkbox"/> pierres
<input type="checkbox"/> Plage	<input type="checkbox"/> herbacée	<input type="checkbox"/> sableuse	<input type="checkbox"/> grève
<input type="checkbox"/> enrochement	<input type="checkbox"/> placé	<input type="checkbox"/> déversé	<input type="checkbox"/> clé à la base
Classe de l'enrochement:			
		<input type="checkbox"/> gravier ___%	<input type="checkbox"/> cailloux ___%

1.2-Le couvert végétal

moitié supérieure du talus	<input type="checkbox"/> arbres	<input type="checkbox"/> arbustes	<input type="checkbox"/> herbacés
moitié inférieure du talus	<input type="checkbox"/> arbres	<input type="checkbox"/> arbustes	<input type="checkbox"/> herbacés
	<input type="checkbox"/> ravinement	<input type="checkbox"/> chablis	<input type="checkbox"/> arbres très inclinés

2-Le talus anthropique (milieu artificialisé)

<input type="checkbox"/> mur de soutènement	<input type="checkbox"/> bois	<input type="checkbox"/> béton	<input type="checkbox"/> gabion
<input type="checkbox"/> remblai			
<input type="checkbox"/> descente de bateaux	<input type="checkbox"/> béton	<input type="checkbox"/> gravier	<input type="checkbox"/> pierres
<input type="checkbox"/> Plage	<input type="checkbox"/> herbacée	<input type="checkbox"/> sableuse	<input type="checkbox"/> grève
<input checked="" type="checkbox"/> enrochement	<input type="checkbox"/> placé	<input checked="" type="checkbox"/> déversé	<input type="checkbox"/> clé à la base
Classe de l'enrochement:			
		<input type="checkbox"/> gravier ___%	<input type="checkbox"/> cailloux ___%

2.1-Le couvert végétal

moitié supérieure du talus	<input type="checkbox"/> arbres	<input checked="" type="checkbox"/> arbustes	<input type="checkbox"/> herbacés
moitié inférieure du talus	<input type="checkbox"/> arbres	<input type="checkbox"/> arbustes	<input type="checkbox"/> herbacés
	<input type="checkbox"/> ravinement	<input type="checkbox"/> chablis	<input type="checkbox"/> arbres très inclinés

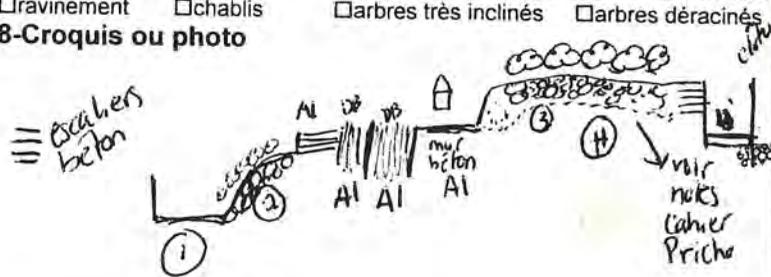
3-Le talus anthropique (milieu artificialisé)

<input type="checkbox"/> mur de soutènement	<input type="checkbox"/> bois	<input type="checkbox"/> béton	<input type="checkbox"/> gabion
<input type="checkbox"/> remblai			
<input type="checkbox"/> descente de bateaux	<input type="checkbox"/> béton	<input type="checkbox"/> gravier	<input type="checkbox"/> pierres
<input type="checkbox"/> Plage	<input type="checkbox"/> herbacée	<input type="checkbox"/> sableuse	<input type="checkbox"/> grève
<input type="checkbox"/> enrochement	<input type="checkbox"/> placé	<input type="checkbox"/> déversé	<input type="checkbox"/> clé à la base
Classe de l'enrochement:			
		<input type="checkbox"/> gravier ___%	<input type="checkbox"/> cailloux ___%

3.1-Le couvert végétal

moitié supérieure du talus	<input type="checkbox"/> arbres	<input type="checkbox"/> arbustes	<input type="checkbox"/> herbacés
moitié inférieure du talus	<input type="checkbox"/> arbres	<input type="checkbox"/> arbustes	<input type="checkbox"/> herbacés
	<input type="checkbox"/> ravinement	<input type="checkbox"/> chablis	<input type="checkbox"/> arbres très inclinés
	<input type="checkbox"/> chablis	<input type="checkbox"/> arbres déracinés	

8-Croquis ou photo

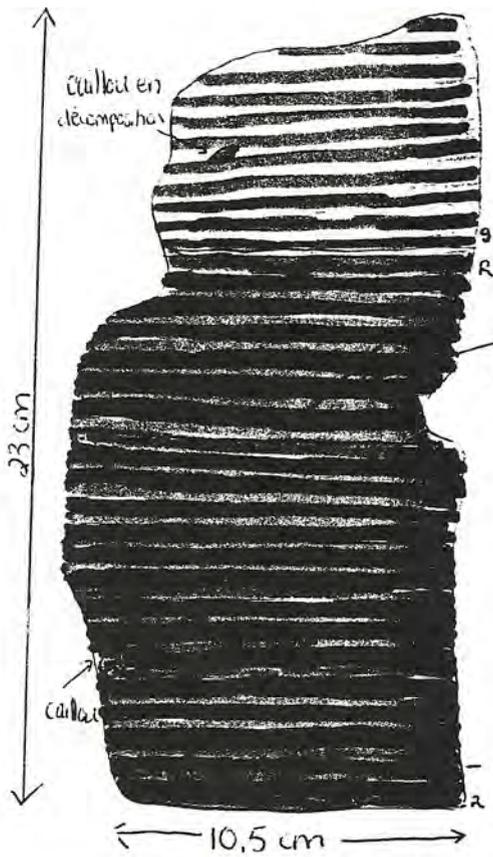


Remarques

- ① petit herbier, gens se plaignent des mauvaises odeurs
- ② enrochement avec reprise vég. gazon tendu jusqu'au bord
- ③ arrangement mur béton détérioré, enrochement droite, divers, gros blocs, 1.5 m ↓ descente à bateaux granés, etc.

Fiche de terrain description du monolithe 29, pris sur la coupe du terrain de M Lamarre, Bedford. (rivière aux Brochets)

Schéma



- gris foncé
- g - gris pâle
- R : rouge



Description

Couleur: 2.5 YR 4/2 weak red (R)
 5 Y 7/2 light gray (g)
 5 Y 4/1 dark gray (-)

texture: argile
 (dans la couche gris pâle, c'est plus silteux)

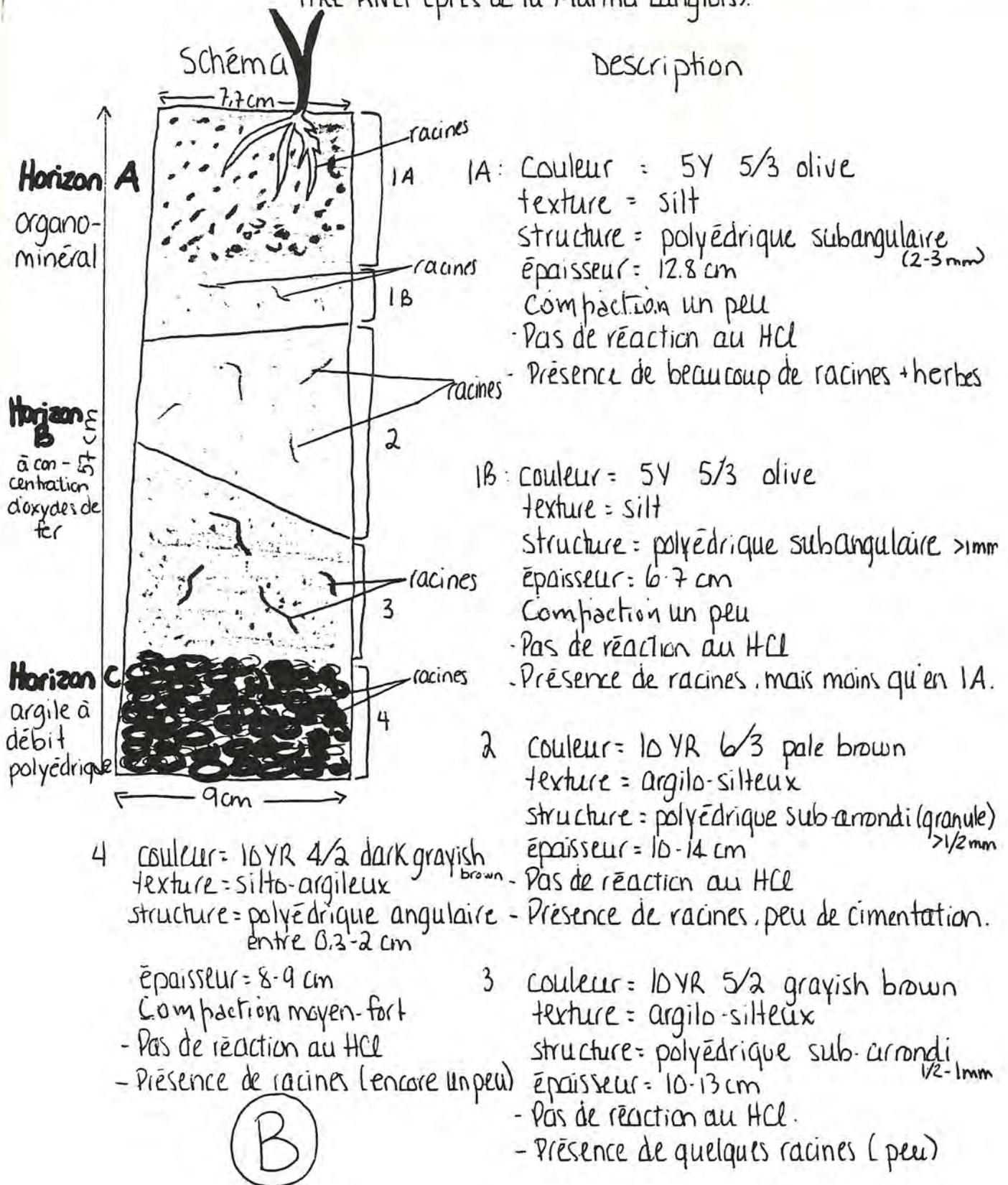
- structure: laminations sub parallèles
- une certaine réaction à l'acide HCl
 - présence de cailloux en décomposition et d'une brindille d'herbe
 - échantillon très humide

* On dénote ~30 couplets
 dont ~20 mieux démarqués
 $\frac{23 \text{ cm}}{30} \sim 0,7 \text{ cm / "varves"}$

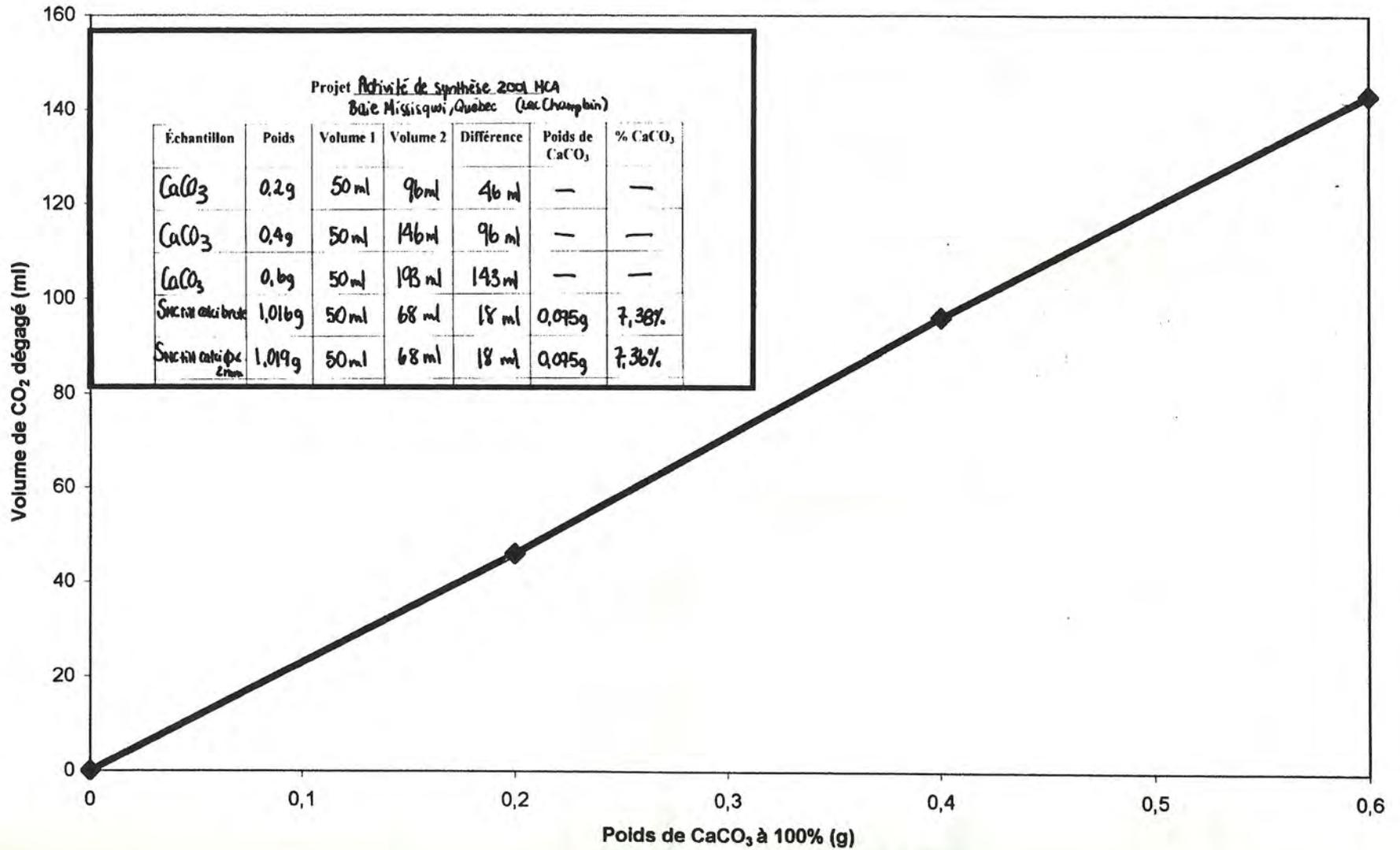
* Les doubles feuilletés (argile-silt) représentent probablement un an.

* L'échantillon a été pris à 3 m de profondeur.

Fiche de terrain : description de la gouttière G25 prise à la rivière Tougas, Pike-River (près de la Marina Langlois).



Poids de CaCO₃ à 100% en fonction du volume de CO₂ dégagé



Annexe 2.1b

Projet Activité de synthèse 2001 MCA
Baie Missisquoi, Québec (Lac Champlain)

Échantillon	Poids	Volume 1	Volume 2	Différence	Poids de CaCO_3	% CaCO_3
CaCO_3	0,2 g	50 ml	96 ml	46 ml	—	—
CaCO_3	0,4 g	50 ml	146 ml	96 ml	—	—
CaCO_3	0,6 g	50 ml	193 ml	143 ml	—	—
S.M.C.T. ill calci brute	1,016 g	50 ml	68 ml	18 ml	0,075 g	7,38%
S.M.C.T. ill calci fin	1,019 g	50 ml	68 ml	18 ml	0,075 g	7,36%
Argile 28 b	1,0 g	30 ml	39 ml	9 ml		3,8%
Argile 2 g	0,504 g	30 ml	33 ml	3 ml		2,5%

Fait par : Marie-Claude AquinDate : 10 décembre 2001

Annexe 2.2a

Laboratoire de sédimentologie
Département des Sciences de la Terre et de l'atmosphère
UQAM

GRANULOMETRIE

Projet : Activité de synthèse
No. éch. : 12 Camping Florent

Date : Automne 2001
Opérateur : MCA

Poids de départ : 112,5 g

Tamis	Rejet Tamis vide	* Tamis plein	Rejet corrige	% corrige	% cumulatif
8 mm	546,1 g	546,9 g	0,8 g	0,7	0,7
4 mm	521,7 g	521,7 g	0 g	0	0,7
2 mm	521,6 g	521,7 g	0,1 g	0,1	0,8
1 mm	431,6 g	431,7 g	0,1 g	0,1	0,9
500 µm	398,4 g	401,1 g	2,7 g	2,4	3,3
250 µm	377,6 g	478,2 g	100,6 g	89,2	92,5
125 µm	364,0 g	371,8 g	7,8 g	6,9	99,4
63 µm	342,2 g	342,3 g	0,1 g	0,1	99,5
< 63 µm (résidu)	391,4 g	392,0 g	0,6 g	0,5	100
Total	3894,6 g	4007,4 g	112,8 g	100	100

Perte : _____

Tailles repères	P1	P5	P10	P16	P25	P50	P60	P75	P84	P95
Microns	—	0,48 mm	—	0,44 mm	0,41 mm	0,35 mm	—	0,31 mm	0,29 mm	0,215 mm
Unités ϕ	—	1,05	—	1,25	1,35	1,55	—	1,75	1,85	2,3

Mode(s) : _____, _____, _____

Coefficient de classement (σ_1) : 0,297 ϕ
 Coefficient d'asymétrie (SK) : -0,017
 Coefficient d'angulosité (K_f) : 1,025
 Coefficient d'uniformité : —

Coefficient de classement (σ_1)

$$\sigma_1 = \frac{Q_{84} - Q_{16}}{4} + \frac{Q_{95} - Q_5}{6.6}$$

$$\sigma_1 = \frac{1.83 - 1.25}{4} + \frac{2.05 - 1.05}{6.6}$$

$$\sigma_1 = 0,297 \Phi, \text{ donc tr\`es bien class\`e}$$

$$\begin{array}{ll} Q_5 = 1,05 & Q_{75} = 1,75 \\ Q_{16} = 1,25 & Q_{84} = 1,83 \\ Q_{25} = 1,35 & Q_{95} = 2,05 \\ Q_{50} = 1,55 & \end{array}$$

Coefficient d'asym\`etrie (S_K)

$$S_K = \frac{Q_{84} + Q_{16} - 2Q_{50}}{2(Q_{84} - Q_{16})} + \frac{Q_{95} + Q_5 - 2Q_{50}}{2(Q_{95} - Q_5)}$$

$$S_K = \frac{1,83 + 1,25 - 3,1}{1,16} + \frac{2,05 + 1,05 - 3,1}{2,5}$$

$$S_K = -0,107, \text{ proche de la sym\`etrie}$$

Coefficient d'angulosit\`e (K_G)

$$K_G = \frac{Q_{95} - Q_5}{2.44(Q_{75} - Q_{25})}$$

$$K_G = \frac{2.05 - 1.05}{2.44(0,4)}$$

$$K_G = 1,025, \text{ donc m\`esokurtique}$$

Moyenne

$$M_2 = \frac{Q_{16} + Q_{50} + Q_{84}}{3}$$

$$M_2 = \frac{1,25 + 1,55 + 1,83}{3}$$

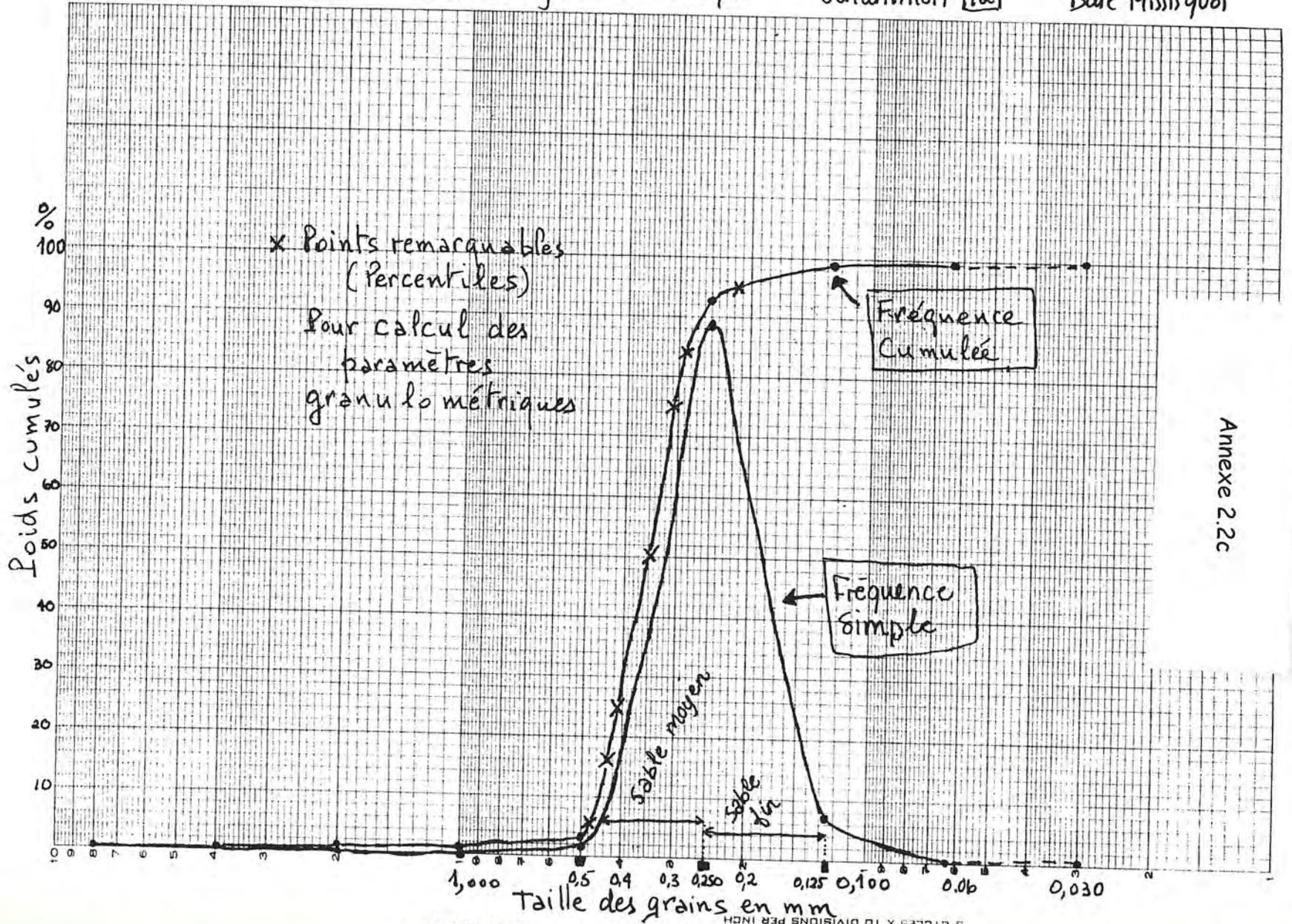
$$M_2 = 1,54\bar{3}$$

M\`ediane $Q_{50} = 1,55$

Courbe granulométrique

échantillon 12

Baie Missisquoi



Annexe 2.2c

GRANULOMÉTRIE

Projet : Bassin Versant Baie Missisquoi
 No. éch. : 6 Camping Florent

Date : Automne 2001
 Opérateur : HCA

Poids de départ : 111,3 g

Tamis	Rejet Tamis vide	* Tamis plein	Rejet corrigé	% corrigé	% cumulatif
8 mm	546,1 g	546,1 g	0	0	0
4 mm	521,7 g	525,2 g	3,5 g	3,14	3,14
2 mm	521,6 g	542,2 g	20,6 g	18,49	21,63
1 mm	431,6 g	472,1 g	40,5 g	36,36	57,99
500 µm	398,4 g	420,1 g	21,7 g	19,48	77,47
250 µm	377,6 g	395,8 g	18,2 g	16,34	93,81
125 µm	364,0 g	366,4 g	2,4 g	2,15	95,96
63 µm	342,2 g	342,8 g	0,6 g	0,54	96,50
< 63 µm (résidu)	391,4 g	395,3 g	3,9 g	3,5	100
Total	3 894,6 g	4006 g	111,4 g	100	100

Perte : _____

Tailles repères	P1	P5	P10	P16	P25	P50	P60	P75	P84	P95
Microns	—	3,6 mm	—	2,4 mm	1,84 mm	1,1 mm	—	0,56 mm	0,39 mm	0,18 mm
Unités ϕ	—	-1,95	—	-1,15	-0,75	0,1	—	0,9	1,3	2,9

Mode(s) : _____, _____, _____

Coefficient de classement (σ_1) : 1,234 ϕ
 Coefficient d'asymétrie (SK) : -0,01
 Coefficient d'angulosité (K_c) : 1,018
 Coefficient d'uniformité : —

Annexe 2.3b

coefficient de classement (σ_i) :

$$\Phi_5 = -1,95 \quad \Phi_{75} = 0,9$$

$$\Phi_{10} = -1,15 \quad \Phi_{84} = 1,3$$

$$\Phi_{25} = -0,75 \quad \Phi_{95} = 2,15$$

$$\Phi_{50} = 0,1$$

$$\sigma_i = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6.6}$$

$$\sigma_i = \frac{1,3 + 1,15}{4} + \frac{2,15 + 1,95}{6.6}$$

$$\underline{\underline{\sigma_i}} = 1,234 \text{ donc pauvrement classé}$$

coefficient d'asymétrie (S_k)

$$S_k = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

$$S_k = \frac{1,3 - 1,15 - 0,2}{4.9} + \frac{2,15 - 1,95 - 0,2}{9.7}$$

$$S_k = -0,010 + 0$$

$$\underline{\underline{S_k}} = -0,01, \text{ donc proche de la symétrie}$$

coefficient d'angulosité (K_g)

$$K_g = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

$$K_g = \frac{2,15 + 1,95}{2,44(0,9 + 0,75)} \quad 4,85$$

$$\underline{\underline{K_g}} = 1,018, \text{ donc mésokurtique}$$

moyenne

$$M_2 = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84}}{3}$$

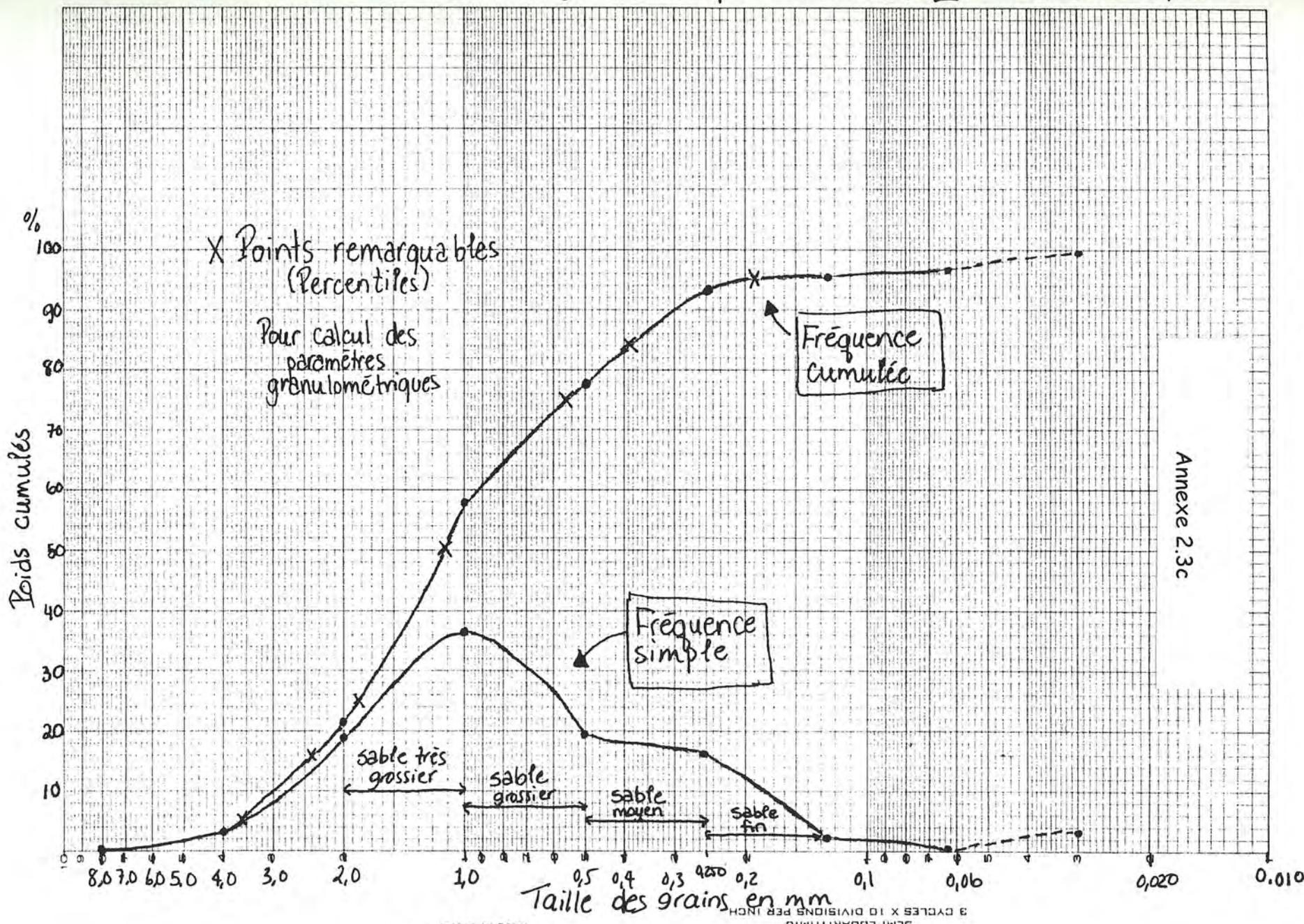
$$M_2 = \frac{-1,15 + 0,1 + 1,3}{3}$$

$$\underline{\underline{M_2}} = 0,0833$$

médiane

$$\underline{\underline{M_d}} = \Phi_{50} = 0,1$$

Courbe granulométrique échantillon 6 Baie Missisquoi



Annexe 2.3c

Annexe 3

Rapport de Claude Anctil – ARBREAU TECH INC

Pour les municipalités suivantes :

19 juin 2001

- 3.1 Canton Sutton – Méandres rivière Missisquoi
- 3.2 Bedford – Rivière aux Brochets - Secteurs 1 et 2
Amont et aval du barrage au pont routier
- 3.3 Parc à Notre-Dame-de-Standbridge - Rivière aux Brochets
- 3.4 Parc écologique riverain à Venise-en-Québec
- 3.5 Venise-en-Québec : abord du quai de plaisance

Rivière Missisquoi

Érosion de la berge en bordure d'un pâturage

Canton Sutton, juin 2001



Rapport de consultation
Méandres rivière Missisquoi
Visite du 19 juin 2001

La visite a été réalisée à la demande de madame Chantal d'Auteuil et effectuée dans le but de vérifier si des techniques végétales de stabilisation permettraient de régler le problème rencontré.

Problème rencontré

Les talus qui bornent la rivière s'érodent et le cultivateur propriétaire perd du terrain chaque année.

Diagnostic

- Érosion en pied de talus, provoquée par le courant.
- Érosion dans le talus, provoquée par du suintement.
- Érosion provoquée par la baisse du niveau d'eau lors de la décrue.

Recommandations

À première vue, les rives de cette rivière présentent des caractéristiques permettant de croire qu'une stabilisation à l'aide de techniques végétales serait envisageable.

Pour s'en assurer et prescrire, une étude de faisabilité devrait être réalisée et l'approbation d'un ingénieur civil devrait être obtenue mais, il faut savoir que :

- les longueurs de travaux sont considérables et pourraient l'être encore davantage. Dans un cadre de stabilisation de berge de ce type, il faut être en mesure de prévoir les effets d'une stabilisation sur l'ensemble de la rivière et cela commande une étude professionnelle. Par ailleurs, il n'est que très rarement possible d'intervenir en plusieurs phases car les secteurs mis en attente réagissent aux travaux déjà effectués;
- il est nécessaire lorsque les coûts à engager sont considérables, et ce serait le cas, de mettre en relation les coûts et les enjeux. Dans le cas présent la dégradation touche les abords de terres agricoles servant de pacages;
- l'environnement, dans l'état actuel, compte tenu de la présence d'un bras mort et d'un marais (nous y avons vu un Butor) présente un intérêt écologique évident.

Compte tenu de l'ensemble de ces considérations, nous serions enclins à suggérer de modifier la vocation des terres avoisinantes de façon à créer une réserve écologique.

Rivière aux Brochets

Berge avec faible érosion
Amont du pont de Bedford
Juin 2001



**Rapport de consultation
Bedford
Visite du 19 juin 2001**

La visite a été réalisée à la demande de madame Chantal d'Auteuil et effectuée dans le but de vérifier si des techniques végétales de stabilisation permettraient de régler le problème rencontré.

Problème rencontré

Érosion des berges de la Rivière aux Brochets, en amont (secteur 1) du pont situé au centre de la ville.

Érosion de berges et artificialisation de la rive en aval (secteur 2) du pont situé au centre de la ville.

Secteur 1

Observations de l'état des lieux

- Présence de débris végétaux et artificiels.
- Sortie de drain non protégée et drain probablement défectueux.
- Descentes sauvages.
- Tonte du replat jusqu'au bord de la berge.
- Couvert végétal.

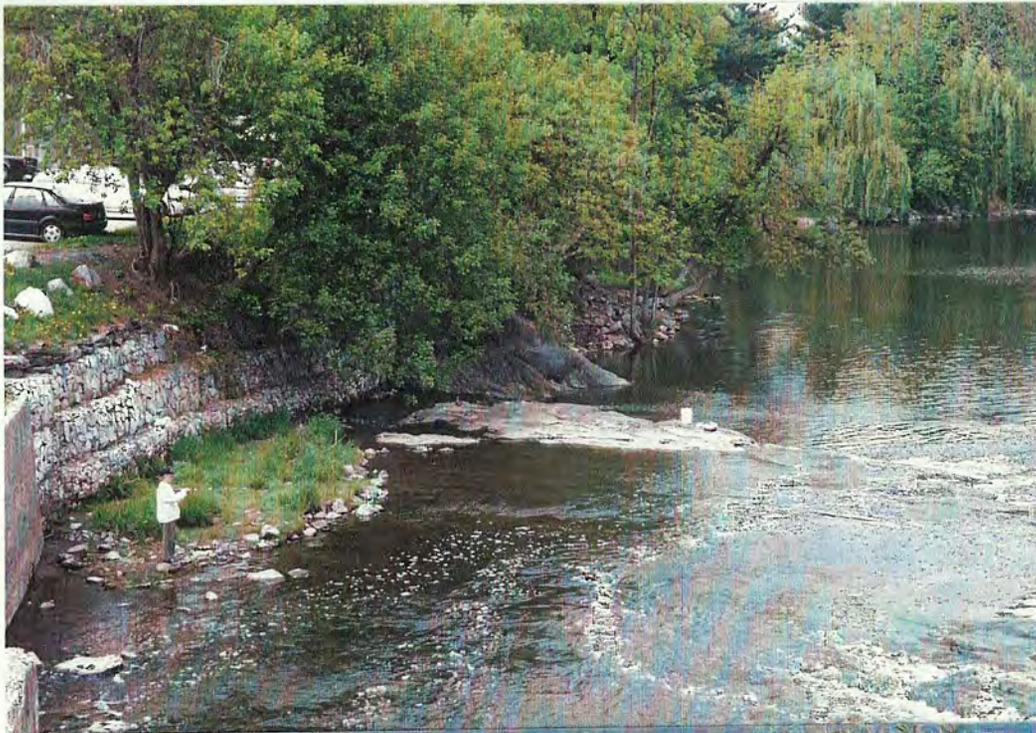
Diagnostic

Érosion légère de la berge.

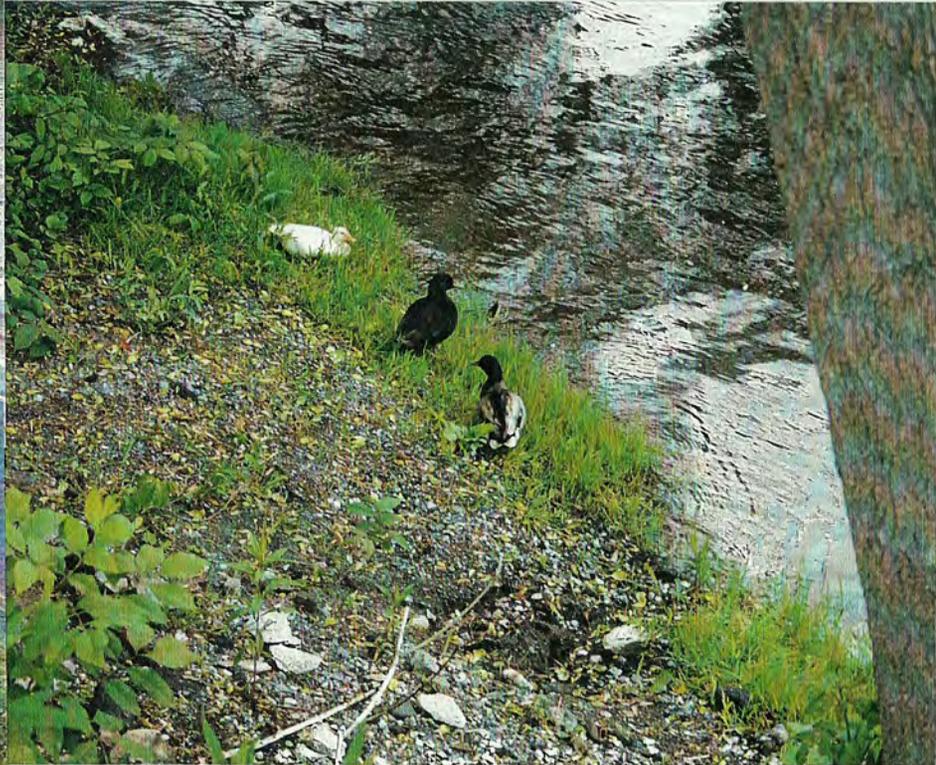
Recommandations

Travailler en prévention :

- Nettoyer les berges de tous débris végétaux et artificiels. Ces travaux sont faits idéalement tôt le printemps ou à l'automne de façon à ne pas endommager la végétation rivulaire. Surveiller tout déversement subséquent et intervenir le plus rapidement possible.
- Structurer une ou des descentes, de préférence aux endroits déjà utilisés, de façon à éviter la dégradation de la végétation de part et d'autre de la descente. Ne pas oublier de signaler ces descentes aux utilisateurs éventuels.
- Laisser la végétation rivulaire pousser naturellement dans le talus. Pour ce faire, ne procéder à aucune tonte d'herbe ou débroussaillage. Ce sont les végétaux qui stabilisent les talus.



Rivière aux Brochets
Aval du barrage à Bedford
Berge abrupte érodée avec
sol dénudé par endroits



Saule de l'intérieur
Exemple d'arbustes à planter
au pied des gabions

- Procéder à un élagage d'allègement sur les arbres fortement penchés qui affleurent l'eau, afin d'éviter qu'ils ne contribuent à l'obstruction de l'écoulement ¹.
- Conserver une bande riveraine en s'abstenant de tondre dans une bande, d'au moins 3 mètres de large, en bordure de la berge ou à tout le moins entre le stationnement et le talus.
- Favoriser le renouvellement (sujets de différents âges) et l'augmentation de la végétation en procédant à une plantation d'arbres dans la bande riveraine. Les espèces déjà plantées sont en ce sens un bon choix mais, il est important de penser à varier les espèces.

Secteur 2

Observation de l'état des lieux

- Présence de débris végétaux et artificiels.
- Descentes sauvages.
- Présence de gabions.
- Site de déversement de neige.
- Présence de Renouée du Japon.
- Rareté du couvert végétal dans le talus.

Diagnostic

Le piétinement, le déversement de neige et l'accumulation de débris contribuent à limiter l'implantation naturelle de la végétation.

L'absence de couvert végétal favorise l'érosion.

Recommandations

- Nettoyer les berges de tous débris végétaux et artificiels. Ces travaux sont faits idéalement tôt le printemps ou à l'automne de façon à ne pas endommager la végétation rivulaire. Surveiller tout déversement subséquent et intervenir le plus rapidement possible.
- S'abstenir de tout déversement de neige.
- Structurer une ou des descentes, de préférence aux endroits déjà utilisés, de façon à éviter la dégradation de la végétation de part et d'autre de la descente. Ne pas oublier de signaler ces descentes aux utilisateurs éventuels.

¹ Notez que chaque espèce a, pour des fins d'élagage, une période d'intervention qui lui est propre. Ces travaux doivent être faits selon les règles de l'art et des conseils professionnels sont recommandés.

- Surveiller et limiter l'envahissement du talus par la Renouée du Japon dont l'agressivité va contribuer au dépérissement des autres plantes stabilisatrices et nuire à la diversification.
- Semer, dans le talus, un semis d'herbacées résistantes à l'ombre (printemps).
- Pour un effet esthétique, planter des plançons de Salix interior, au pied des gabions, sur une bande d'environ 1 mètre de profondeur (automne ou printemps).

Attention

L'application de ces recommandations pourrait être assujettie, selon les lois et règlements en vigueur, à l'approbation d'un ingénieur. Il demeure de la responsabilité du client de s'en assurer.

Annexe 3.3

Rapport de consultation Notre-Dame de Standbridge Visite du 19 juin 2001

La visite a été réalisée à la demande de madame Chantal d'Auteuil et effectuée dans le but de vérifier si des techniques végétales de stabilisation permettraient de régler le problème rencontré.

Problème rencontré

Érosion des berges de la Rivière aux Brochets, immédiatement en amont de sa confluence avec le Ruisseau aux Morpions.
Inondations de printemps.

Remarque préalable

Selon les informations verbales recueillies auprès de Monsieur Girard, les pertes de terrain annuelles semblent importantes mais, lors de notre visite, le 19 juin, peu de décrochements ont été observés. Il serait opportun de pouvoir vérifier l'état des talus au printemps, pendant et immédiatement après la décrue. À cette fin une vidéo tournée au printemps (état de l'inondation, mouvement des glaces, débâcle, retour au lit de la rivière...), des prises quotidiennes de niveau d'eau et de vitesse... ainsi qu'une visite immédiatement après la décrue, permettraient une prescription plus précise.

Observation de l'état des lieux

- Présence de couverture herbacée importante.
- Présence de débris végétaux charriés par la rivière.
- Présence sur le talus de troncs d'arbres abattus.
- Arbres penchés affleurant l'eau.
- Tonte du replat jusqu'en bordure de talus.
- Présence d'arbres vieillissants, absence de renouvellement.

Diagnostic (sous toutes réserves)

- Érosion de berge provoquée par le courant et par des obstructions à l'écoulement.
- Érosion provoquée par la baisse du niveau d'eau lors de la décrue.



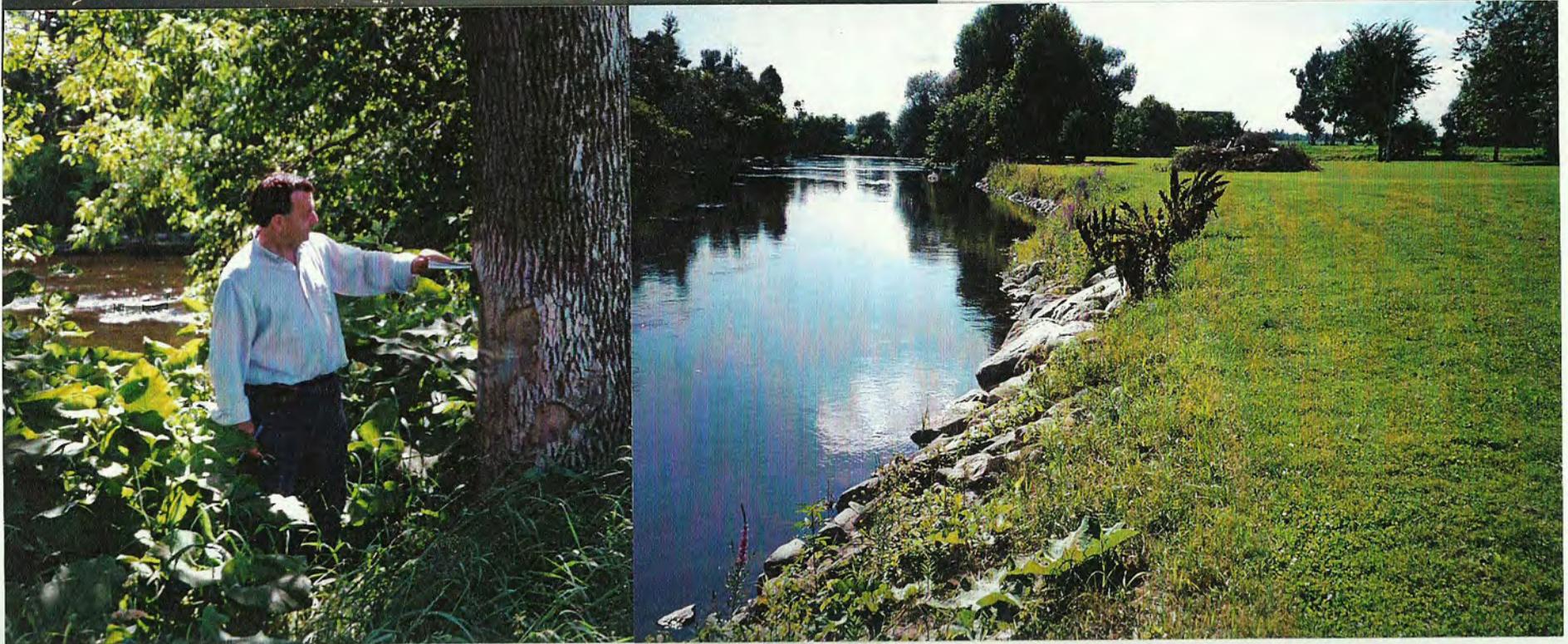
Rivière aux Brochets

Parc à Notre-Dame-de-Stanbridge

Ruisseau aux Morpions en crue longeant le parc

Marque des hautes eaux sur un arbre riverain

Enrochement et végétation fauchée



Recommandations

Dans l'attente d'informations complémentaires, travailler en prévention :

- surveiller les obstructions à l'écoulement et procéder au dégagement lorsqu'elles occasionnent des dégradations à la berge;
- procéder à un élagage d'allègement¹ sur les arbres fortement penchés dont le poids déstabilise la berge;
- procéder à un élagage d'allègement sur les arbres fortement penchés qui affleurent l'eau, afin d'éviter qu'ils ne contribuent à l'obstruction de l'écoulement;
- conserver une bande riveraine en s'abstenant de tondre dans une bande, d'au moins 3 mètres de large, en bordure de la berge;
- favoriser le renouvellement de la végétation en procédant à une plantation d'arbustes flexibles dans le talus et la bande riveraine (cornouillers, saules sp. ...);
- continuer à entretenir la berge en enlevant les débris végétaux, de façon à favoriser l'établissement naturel de la végétation.

Ces travaux n'auront pas pour effet d'empêcher les inondations de printemps mais contribueront à stabiliser la berge et à minimiser les impacts des inondations.

L'application de ces recommandations pourrait être assujettie, selon les lois et règlements en vigueur, à l'approbation d'un ingénieur civil. Il demeure de la responsabilité du client de s'en assurer.

¹ Notez que chaque espèce a, pour des fins d'élagage, une période d'intervention qui lui est propre. Ces travaux doivent être faits selon les règles de l'art et des conseils professionnels sont recommandés.

Baie Missisquoi, Aménagement d'un petit parc écologique à Venise-en-Québec

Dégradation des ouvrages de stabilisation existants : période des hautes eaux (juin 2001) et période d'étiage (août 2001)



**Rapport de consultation
Parc riverain de Venise-en-Québec
Visite du 19 juin 2001**

La visite a été réalisée à la demande de madame Patricia Lefèvre et effectuée dans le but de vérifier si des techniques végétales de stabilisation permettraient de régler le problème rencontré.

Pour les fins de recommandations, 2 secteurs sont définis :

- Secteur 1 : secteur du perré existant
- Secteur 2 : secteur ayant servi de débarcadère et où se retrouve une dalle de béton

Secteur 1

Problème rencontré

Instabilité du perré et minage à l'arrière du perré.

Observations de l'état des lieux

- Perré ayant fait l'objet de plusieurs consolidations mais dégradé.
- Minage par infiltration de la terre à l'arrière du perré. Absence de membrane, confirmée verbalement par un responsable.
- Couverture herbacée faisant l'objet de tonte.
- Présence de débris artificiels.
- Absence quasi-totale de végétaux.

Diagnostic

Minage dû à l'inefficacité du perré dans son état actuel.

Recommandations

Remarque préalable

Compte tenu de la nature et du lieu des travaux, les recommandations suivantes doivent être soumises à l'appréciation d'un ingénieur.

- Réfection du perré (travaux d'ingénierie).
- Établissement d'une bande végétalisée, immédiatement à l'arrière du perré. Plantation d'arbustes flexibles résistant aux inondations et tolérant à la sécheresse (*Cornus stolonifera*,

Spirea latifolia...) et plantation ou semis d'herbacées ayant les mêmes caractéristiques (Elyme sp.)

Remarque

Dans le cadre du projet, le lien entre l'enrochement et la partie végétalisée doit être fait de façon appropriée. On suggère donc qu'une communication soit établie, lors de la confection des plans, entre les responsables du génie civil et de la végétalisation.

Secteur 2

Problème rencontré

Inondations et transport de glaces.

Artificialisation de la berge.

Observations de l'état des lieux

- Présence d'une dalle de béton servant de débarcadère.
- Quelques rares arbres.
- Couverture herbacée faisant l'objet de tonte à certains endroits.
- Absence de couverture herbacée à certains endroits.

Recommandations

Remarque préalable

Compte tenu de la nature et du lieu des travaux, les recommandations suivantes doivent être soumises à l'appréciation d'un ingénieur.

- Conserver la dalle dans son intégralité comme trottoir piétonnier pour éviter le piétinement de la végétation. Il servira également de protection contre le sapement par la vague.
- Végétaliser immédiatement à l'arrière de la dalle, à l'aide de végétaux flexibles résistant à l'inondation (Phalaris, Elyme, Cornus stolonifera...).

Ces travaux n'empêcheront pas les inondations, il y a donc lieu de prévoir l'emplacement des structures récréatives en conséquence.

Les travaux de plantation et d'ensemencement des secteur 1 et 2 doivent être réalisés au printemps de façon à permettre un bon enracinement avant les inondations suivantes.

Annexe 3.5

Rapport de consultation Abord du quai de plaisance Venise-en-Québec Visite du 19 juin 2001

La visite a été réalisée à la demande de madame Patricia Lefèvre et effectuée dans le but de vérifier si des techniques végétales de stabilisation permettraient de régler le problème rencontré.

Problème rencontré

Accumulation de déchets artificiels et naturels.

Odeurs désagréables

Recommandations

La configuration géographique de ce secteur le rend naturellement propice à l'établissement de plantes de marais. Comme il est impossible d'empêcher l'arrivée des débris, il y aurait avantage à aider la nature par l'établissement d'une barrière végétale permettant de contrer la nuisance visuelle ainsi que par l'établissement de plantes filtrantes permettant de diminuer la nuisance olfactive. Ce secteur pour être développé commanderait une étude plus approfondie réalisée par des spécialistes.

Baie Missisquoi, Venise-en-Québec
Terrain près du quai municipal, juin 2001
Herbier aquatique et accumulation de
débris végétaux et de déchets sur le littoral

Exemple d'une barrière végétale
de saules arbustifs lors des hautes eaux

