



**GESTION DES RISQUES DE GLISSEMENT DE TERRAIN
LIÉS AUX PLUIES DES 19 ET 20 JUILLET 1996
AU SAGUENAY – LAC-SAINT-JEAN**

**BILAN DE LA COLLABORATION DU
SERVICE DE LA GÉOTECHNIQUE ET DE LA GÉOLOGIE
DIRECTION DU LABORATOIRE DES CHAUSSÉES
MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC**

**Rapport soumis au
BUREAU DE RECONSTRUCTION ET DE RELANCE
DU SAGUENAY – LAC-SAINT-JEAN**

Décembre 1999

AVANT-PROPOS

Le présent bilan fait partie d'une série de rapports préparés par les organismes publics ayant eu à intervenir lors du sinistre de juillet 1996 au Saguenay – Lac-Saint-Jean. Ces documents ont été produits à la demande du Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean dans le but de conserver une trace écrite des efforts déployés pour traiter cet événement exceptionnel. Le Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec a collaboré de près à l'ensemble de la gestion des problèmes de stabilité de pente et des risques de glissement de terrain depuis 1996 en raison de son expérience dans le domaine. Sa contribution s'est étendue au-delà des besoins du Ministère afin de fournir une expertise-conseil à divers organismes publics qui ont participé à la gestion du sinistre.

RÉSUMÉ

Les 19 et 20 juillet 1996, une grande partie de la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean enregistrait des pluies exceptionnelles qui eurent de nombreuses conséquences sur l’environnement et la population. Selon le rapport Nicolet de 1997 (Commission scientifique et technique sur la gestion des barrages), ces pluies furent de deux à trois fois plus importantes que tous les autres événements auparavant enregistrés dans cette région. Au point de vue géotechnique, la caractéristique principale de cet événement a été l’apparition, en moins de 36 heures, d’une quantité phénoménale de glissements de terrain (plus de 1000) sur une immense superficie du territoire. De plus, de nombreux talus ont vu leurs conditions de stabilité se détériorer et devenir très marginales. Malgré cette multitude de problèmes liés à la stabilité des pentes, seulement deux décès furent causés par un glissement de terrain, soit celui de la rue Henry-McNicoll, à La Baie.

L’action des pluies sur la stabilité des talus se manifesta à deux niveaux. Premièrement, le ruissellement vers les cours d’eau engendra des crues violentes et dévastatrices. L’érosion sévère qui en résulta produisit des pentes instables qui subirent par endroits des glissements de terrain pendant les crues ou dans les semaines qui suivirent. Deuxièmement, l’infiltration des eaux de pluie dans les sols provoqua des modifications aux conditions d’eau souterraine qui engendrèrent des ruptures de pente. Ce phénomène est à l’origine de la grande majorité des glissements de terrain inventoriés qui se sont produits dans des talus où l’érosion était inexistante ou trop faible pour agir comme facteur déclencheur. Fragilisées par l’énorme sollicitation subie pendant les pluies, de nombreuses pentes sont également demeurées dans un état de stabilité précaire.

La multitude des problèmes de stabilité rencontrés rendit nécessaire la réalisation d’efforts considérables pour gérer les risques de glissement de terrain associés au sinistre. Le Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec collabora avec le

« Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean » afin de répondre aux besoins concernant la problématique de la stabilité des talus.

Lors des premières semaines, l'évaluation progressive de la situation permit d'avoir une meilleure vue d'ensemble. Un inventaire des glissements de terrain fut réalisé à l'automne 1996. Des travaux urgents de mitigation furent entrepris dès les premiers jours suivant le sinistre et se poursuivirent jusqu'en février 1999. Parallèlement, un programme de cartographie des zones à risque de glissement pour cinq municipalités fut entrepris.

Malgré tous les inconvénients que ces événements ont apportés, des retombées positives pour la société québécoise ont pu être enregistrées. En effet, à la suite de tous ces efforts, de nouvelles connaissances furent acquises et une approche plus méthodique de la gestion des risques de glissement de terrain fut développée. Cette expertise est présentement mise à contribution par un comité interministériel dont l'objectif est de redéfinir les orientations gouvernementales en matière de gestion des zones à risque de glissement de terrain.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS.....	I
RÉSUMÉ	II
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
INTRODUCTION	1
1. NATURE DU MANDAT.....	2
2. LES EFFETS DES PLUIES SUR LA STABILITÉ DES TALUS.....	4
2.1 Phénomène d'érosion	4
2.2 Phénomène d'infiltration	5
3. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN	6
3.1 Typologie des glissements de terrain.....	6
3.1.1 Les glissements en terrain argileux	7
3.1.1.1 Les glissements superficiels par translation	7
3.1.1.2 Les basculements	8
3.1.1.3 Les glissements rotationnels.....	8
3.1.1.4 Les coulées de boue	9
3.1.1.5 Les coulées argileuses	10
3.1.2 Les autres mouvements de terrain.....	12
3.1.2.1 Les coulées de débris	12
3.1.2.2 Les glissements dans les sols sableux et morainiques	12
3.2 Inventaire des glissements de terrain.....	13
4. OPÉRATIONS D'URGENCE	16
4.1 Interventions d'urgence	16
4.2 Évaluation de la situation	17
4.3 Demandes d'expertise et de contre-expertise	20
5. ANALYSES DU RISQUE ET TRAVAUX DE MITIGATION	22
5.1 Généralités.....	22
5.2 Méthode d'analyse du risque.....	22
5.3 Travaux de mitigation.....	25
5.3.1 Interventions ponctuelles	26
5.3.1.1 Exemple d'intervention au niveau de la vulnérabilité	26
5.3.1.2 Exemple d'intervention au niveau de l'aléa – Cas lié aux mouvements des débris.....	27
5.3.1.3 Exemple d'intervention au niveau de l'aléa – Cas lié à la géométrie de la pente.....	28
5.3.1.4 Exemple d'intervention au niveau de la vulnérabilité et de l'aléa.....	29
5.3.1.5 Exemple d'intervention au niveau de la vulnérabilité, de l'aléa et du danger	31
5.3.2 Stabilisation des zones à risque de coulée argileuse	32
5.3.2.1 Localisation des secteurs à conforter	33
5.3.2.2 Contextes géomorphologique et géologique	33
5.3.2.3 Contexte géotechnique	34
5.3.2.4 Dommages causés par l'érosion.....	34
5.3.2.5 Dangers appréhendés et aléa	35
5.3.2.6 Éléments vulnérables	36
5.3.2.7 Solutions retenues pour sécuriser les lieux.....	36
5.3.2.8 Contre-expertises des études du SGG	37
5.3.2.9 Présentations aux citoyens	39
6. CARTOGRAPHIE DES ZONES À RISQUE.....	40

6.1 Généralités.....	40
6.2 Description générale de la méthode de cartographie	41
6.3 Étapes pour la carte des informations de base	41
6.4 Étapes pour la carte des dangers.....	42
6.5 Cartographie des aléas.....	44
6.6 Carte des contraintes à l'aménagement.....	47
7. RETOMBÉES DE L'EXPERTISE	49
7.1 Nouvelles connaissances techniques	49
7.1.1 Données de l'inventaire	49
7.1.2 Données des sondages	51
7.1.3 Incidences sur l'évaluation du risque.....	52
7.2 Méthodologies améliorées.....	52
7.3 Autres incidences.....	53
8. COLLABORATEURS	55
9. ANNEXES : TABLEAUX ET FIGURES	58

LISTE DES TABLEAUX

- I Coulées argileuses récentes répertoriées au Saguenay – Lac-Saint-Jean
- II Localisation des dossiers enregistrés au SGG
- III Dossiers ayant nécessité des études géotechniques
- IV Débits des cours d'eau conforté

LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Calendrier sommaire des activités du Service de la géotechnique et de la géologie SGG liées au sinistre de juillet 1996.
- Figure 2. Diagramme résumant les effets des pluies sur la stabilité des talus lors du sinistre de juillet 96.
- Figure 3. Secteur du barrage de la chute Garneau (rivière Chicoutimi) avant (A) et après (B) les événements de juillet 1996.
- Figure 4. Secteur du barrage Pont-Arnaud (rivière Chicoutimi) avant (A) et après (B) les événements de juillet 1996.
- Figure 5. Vue de l'érosion régressive entre le barrage Pont-Arnaud et le pont de l'autoroute 70, rivière Chicoutimi.
- Figure 6. Nouvelles falaises instables sur la rivière Chicoutimi, en amont du barrage Pont-Arnaud, avant (A) et après (B) l'apparition d'un glissement de terrain majeur survenu quelques jours après le retrait des eaux d'inondation.
- Figure 7. Falaises instables provoquées par l'érosion; site du barrage d'Abitibi-Price, rivière aux Sables, Jonquière, secteur Kénogami.
- Figure 8. Nouveau chenal de la rivière aux Sables creusé suite au débordement du barrage d'Abitibi-Price formant ainsi de nouvelles falaises instables, Jonquière.
- Figure 9. Méandre coupé lors des pluies de juillet 1996; site du parc de la rivière du Moulin, Chicoutimi.
- Figure 10. Nouveau lit de la rivière des Ha! Ha!, creusé environ 10 mètres plus bas que l'ancien dont le niveau était contrôlé par le roc affleurant aux chutes à Perron.
- Figure 11. Glissement majeur dans un talus de sable s'étant produit pendant la crue; rivière à Mars, La Baie.
- Figure 12. Exemples de précarisation des talus.
- Figure 13. Croquis illustrant les caractéristiques d'un glissement superficiel.
- Figure 14. Glissement superficiel où pratiquement seul le couvert végétal a été impliqué; affluent du ruisseau Rouge, La Baie.

- Figure 15. Talus sans érosion à la base ayant été affecté par un glissement superficiel à Hébertville.
- Figure 16. Exemple d'un glissement superficiel dont les débris ont percuté une maison après avoir traversé la route; Saint-Fulgence, avril 1995.
- Figure 17. Croquis illustrant le processus de basculement.
- Figure 18. Exemple de basculement dans une falaise argileuse nouvellement formée sur la rivière Chicoutimi en amont du pont Arnaud.
- Figure 19. Croquis illustrant les caractéristiques d'un glissement rotationnel.
- Figure 20. Exemple de rétrogression d'un glissement rotationnel multiple en bordure de la rivière Chicoutimi.
- Figure 21. Exemple de décrochement; rang Dorval, Larouche.
- Figure 22. Exemple de glissement rotationnel multiple en bordure de la rivière aux Vases, Shipshaw.
- Figure 23. Exemple de coulée de boue en terrain non boisé; boulevard Grande-Baie Sud, La Baie.
- Figure 24. Exemple de coulée de boue en terrain boisé; rue Henry-McNicoll, La Baie.
- Figure 25. Croquis illustrant le développement d'une coulée argileuse en bordure d'un cours d'eau.
- Figure 26. Exemple d'un échantillon d'argile sensible.
- Figure 27. Coulée argileuse survenue en bordure du lac Saint-Jean, à Desbiens, en 1983.
- Figure 28. Vue d'ensemble d'une coulée de débris où la paroi rocheuse a été complètement dénudée.
- Figure 29. Couloir formé par la descente de débris.
- Figure 30. Photographie aérienne montrant les couloirs laissés par des coulées de débris de juillet 1996; route 169, parc des Laurentides.
- Figure 31. Localisation des glissements de terrain inventoriés par le Centre géoscientifique de Québec, à la suite des pluies de juillet 1996 au Saguenay-Lac-Saint-Jean.
- Figure 32. Route coupée par un glissement de terrain à Rivière-Éternité.

- Figure 33. Route obstruée par les débris d'un glissement de terrain.
- Figure 34. Coulée de débris dont les matériaux glissés ont encombré entièrement la route 170.
- Figure 35. Exemple d'une fissure dans un talus instable; Auberge des Battures, route 170, La Baie.
- Figure 36. Localisation des dossiers traités par le SGG, de Rivière-Éternité à Petit-Saguenay et incluant la route 172.
- Figure 37. Localisation des dossiers traités par le SGG à Ferland-et-Boilleau et le long de la route 381.
- Figure 38. Localisation des dossiers traités par le SGG à La Baie et à Saint-Fulgence.
- Figure 39. Localisation des dossiers traités par le SGG, dans les secteurs de Chicoutimi et de Jonquière.
- Figure 40. Localisation des dossiers traités par le SGG, dans le secteur de la réserve faunique des Laurentides.
- Figure 41. Localisation des dossiers traités par le SGG, dans le secteur du Lac-Saint-Jean-Est.
- Figure 42. Localisation des dossiers traités par le SGG, dans le secteur du Lac-Saint-Jean-Ouest.
- Figure 43. Glissement superficiel avec étalement des débris à proximité d'une résidence située au pied du talus; rue Eugène-Morin, Petit-Saguenay.
- Figure 44. Bloc rocheux instable dans la cicatrice d'une coulée de débris survenue lors des pluies de juillet 1996 en bordure de la route 172.
- Figure 45. Clôture de captage servant à retenir des blocs rocheux éboulés; route 169, kilomètre 22, parc des Laurentides.
- Figure 46. Fissures dans le talus; rue des Bouleaux, La Baie.
- Figure 47. Adoucissement du sommet de la pente pour stabiliser le talus; rue des Bouleaux, La Baie.
- Figure 48. Fissure de traction avec affaissement de 50 cm, au sommet du talus; rue Henry-McNicoll, La Baie.
- Figure 49. Vue au sol de la digue en enrochement et fosse de captage; rue Henry-McNicoll, La Baie.

- Figure 50. Vue en hélicoptère de la digue en enrochement et de la cicatrice régalarée du glissement de la rue Henry-McNicoll, La Baie.
- Figure 51. Glissement de type décrochement; rue de la Victoire, Chicoutimi.
- Figure 52. Vue du contrepoids (flèche n° 1) servant à stabiliser le talus; rue de la Victoire, Chicoutimi.
- Figure 53. Plan de localisation des secteurs confortés contre les risques de coulée argileuse à La Baie.
- Figure 54. Plan de localisation des secteurs confortés contre les risques de coulée argileuse à Métabetchouan.
- Figure 55. Exemple d'un ruisseau de type ravin en forme de « V »; ruisseau Rouge, La Baie, (fig. 56).
- Figure 56. Photographie aérienne illustrant un bassin de drainage de forme dendritique, typique des cours d'eau qui se développent sur une plaine argileuse (secteur 2, fig. 53).
- Figure 57. Photographie aérienne montrant une immense cicatrice de coulée argileuse amorcée à la tête d'un ruisseau adjacent au ruisseau Bluteau, La Baie.
- Figure 58. Exemple des caractéristiques d'un secteur à risque de coulée argileuse à La Baie.
- Figure 59. Exemple de résultats géotechniques; ruisseau Benjamin, La Baie.
- Figure 60. Exemple de l'effet de l'érosion sur le facteur de sécurité d'un talus.
- Figure 61. Marque d'érosion encore apparente au-dessus de l'enrochement dans le ruisseau Bluteau (zone 1, fig. 53).
- Figure 62. Érosion au pied des talus dans le ruisseau Beauchemin (zone 1, fig. 53).
- Figure 63. Exemples d'érosion du pied des talus dans le ruisseau Morissette (zone 2, fig. 53).
- Figure 64. Important décrochement survenu le long du ruisseau Morissette en juillet 1996.
- Figure 65. Exemples d'érosion et de glissements superficiels dans le ruisseau Benjamin (zone 3, fig. 53).
- Figure 66. Exemples d'érosion et de glissements superficiels dans le ruisseau Dufour (zone 4, fig. 53).

- Figure 67. Situation avant et après les travaux de stabilisation; rivière Couchepaganiche, Métabetchouan (zones 4A et 4B, fig. 54).
- Figure 68. Croquis illustrant des interventions effectuées dans les ruisseaux en forme de « V » (ruisseau Benjamin, zone 3, fig.53).
- Figure 69. Exemples de travaux de stabilisation dans un ruisseau en forme de « V ».
- Figure 70. Croquis illustrant des interventions dans les cours d'eau majeurs (rivière Couchepaganiche, zone 4A, fig. 54).
- Figure 71. Vue en plan des zones protégées; ruisseaux Beauchemin et Bluteau, La Baie (zone 1, fig. 53).
- Figure 72. Vue en plan des zones protégées; ruisseaux Bras Droit, Rouge et Morissette, La Baie (zone 2, fig. 53).
- Figure 73. Vue en plan des zones protégées; ruisseau Benjamin et petits affluents, La Baie (zone 3, fig. 53).
- Figure 74. Vue en plan de la zone protégée; ruisseau Dufour, La Baie (zone 4, fig. 53).
- Figure 75. Vue en plan des zones protégées; rivière Couchepaganiche, Métabetchouan (fig. 54).
- Figure 76. Arbre de décision pour définir les classes d'aléa.
- Figure 77. Exemple de zone à probabilité élevée de glissement de terrain avec secteur à risque de coulée argileuse à l'arrière.
- Figure 78. Exemple de zone à probabilité élevée de glissement de terrain.
- Figure 79. Exemple de zone à probabilité moyenne de glissement de terrain.
- Figure 80. Exemple de zone à probabilité faible de glissement de terrain.
- Figure 81. Graphiques basés sur l'inventaire du CGQ montrant le pourcentage de glissements dont l'étalement des débris a dépassé une distance donnée, fonction de la hauteur du talus.
- Figure 82. Exemple de zonage le long d'un ravin avec les bandes de protection au sommet du talus et les zones à risque de coulée argileuse.

INTRODUCTION

Le présent document fait le bilan des interventions auxquelles a été associé le Service de la géotechnique et de la géologie (SGG) du ministère des Transports du Québec dans la gestion des risques de glissement de terrain à la suite des pluies des 19 et 20 juillet 1996 au Saguenay – Lac-Saint-Jean. Les buts visés sont de conserver une trace écrite des interventions et de produire un document de référence pour le futur, synthétisant l'expertise utilisée et développée par le SGG lors de ce mandat spécial.

Le rapport est divisé en sept parties. La première décrit la nature du mandat confié au SGG. La deuxième explique comment les pluies ont affecté la stabilité des talus lors de ce sinistre. La troisième présente la typologie des glissements de terrain ainsi que les principaux résultats de l'inventaire confié au Centre géoscientifique de Québec (CGQ). Dans la quatrième partie, on relate la succession des événements liés aux opérations d'urgence et à l'évaluation de la situation concernant la stabilité des talus. Le cinquième volet traite de l'ensemble des travaux de mitigation dans lesquels le SGG a été directement associé. Le sixième point présente le programme de cartographie des zones à risque de glissement de terrain qui se poursuivra jusqu'en juillet 2001. Finalement, la septième section du rapport résume les nouvelles connaissances et les nouvelles approches tirées de ces événements concernant le domaine des glissements de terrain.

Les nombreuses figures et les tableaux qui accompagnent le texte sont tous regroupés en annexe.

Plusieurs autres interventions des experts du SGG durant la même période pour d'autres secteurs du Québec touchés par le même événement pluviométrique (Mauricie et Côte-Nord) ne sont pas répertoriées dans le présent rapport.

1. NATURE DU MANDAT

Le Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec possède une longue expérience concernant les glissements de terrain en vertu de ses besoins internes pour la gestion et la protection de ses infrastructures routières. Étant le dernier groupe au gouvernement dont le mandat demeure la géotechnique, ses services sont régulièrement requis par le ministère de la Sécurité publique. Dans le cadre d'une entente interministérielle, le SGG intervient lors de cas d'urgence où des glissements de terrain peuvent affecter la sécurité des personnes ou des biens partout sur le territoire québécois. C'est en fonction de cette spécificité que le SGG a été associé initialement aux événements de juillet 1996. À la suite de la création du *Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean* (BRR), l'implication du SGG s'est accrue.

Les mandats confiés au SGG ont été les suivants :

- conseiller les divers intervenants gouvernementaux dans le domaine de la géotechnique ;
- participer aux interventions d'urgence pour assurer la sécurité des personnes et des biens menacés par des glissements de terrain ;
- procéder à l'évaluation d'ensemble de la situation concernant la stabilité des talus ;
- procéder à l'étude et au design de travaux de confortement de talus pour divers sites ;
- procéder à des contre-expertises pour les intervenants gouvernementaux ;
- réaliser un programme de cartographie des zones à risque de glissement de terrain pour cinq municipalités.

La problématique liée à la stabilité des talus et au danger de glissement de terrain s'est étirée sur une très longue période en raison des nombreux sites fragilisés. En plus des cas d'urgence qu'il a fallu régler à court terme, un inventaire des zones nouvellement à risque a dû être entrepris. Cette opération de reconnaissance a conduit à l'identification de nombreux sites à stabiliser. Des travaux de mitigation, qui ont débuté dès l'automne 1996 et se sont poursuivis jusqu'en février 1999, ont été réalisés de concert avec divers intervenants du secteur public (gouvernements fédéral et provincial et municipalités) et de l'entreprise privée. Afin d'assurer la sécurité des

personnes et des biens, un programme de cartographie des zones à risque de glissement de terrain a été entrepris pour cinq municipalités qui en avaient fait la demande.

Bien qu'il s'agisse d'opérations présentées de façon indépendante, toutes les phases du travail se sont chevauchées dans le temps. La figure 1 montre le calendrier général. La distribution des tâches dans le temps représente leur ordre de priorité. Selon cette priorité, le travail associé à chacune de ces tâches a été effectué à temps plein ou de façon discontinue.

Le SGG a dû détacher une partie de son personnel de façon occasionnelle ou permanente à la réalisation de ces multiples tâches. Afin de répondre au surcroît de travail, du personnel occasionnel a été engagé et de nombreux mandats ont été confiés au secteur privé. De plus, afin de combler les demandes régulières à l'interne, d'autres mandats ont été confiés au secteur privé pour remplacer le personnel permanent affecté à temps plein ou partiel aux travaux du BRR.

2. LES EFFETS DES PLUIES SUR LA STABILITÉ DES TALUS

Selon le rapport Nicolet de 1997, les pluies des 19 et 20 juillet 1996 furent de deux à trois fois plus importantes que toutes les autres précipitations enregistrées dans cette région. Elles ont agi de deux façons sur la stabilité des talus comme l'illustre la figure 2.

2.1 PHÉNOMÈNE D'ÉROSION

Le ruissellement vers les cours d'eau engendra des crues violentes et dévastatrices. Combinées à des facteurs d'origine naturelle ou anthropique, ces crues engendrèrent un relèvement du niveau des cours d'eau qui provoqua des inondations extraordinaires et une action érosive variable selon les lieux. Dans de nombreux cas où l'érosion fut particulièrement sévère, le lit des cours d'eau a été profondément modifié, surcreusé et parfois même complètement déplacé. Trois cas particulièrement spectaculaires au point de vue géologique sont commentés aux figures 3 à 10. Ce phénomène a conduit à la formation de nouveaux talus présentant des conditions géométriques très instables. Certains d'entre eux ont subi des glissements de terrain lors des crues (figures 8 et 11), en réponse uniquement aux changements de géométrie provoqués par l'érosion.

À certains endroits où il y a eu érosion majeure des berges, l'enlèvement de sol a engendré une décompression des dépôts argileux. Ce phénomène a provoqué une diminution des pressions d'eau interstitielle, ce qui a permis à des talus de supporter momentanément des pentes très raides. La diminution de la résistance au cisaillement des sols, consécutive au rétablissement des pressions d'eau, a conduit localement au développement de ruptures de talus. Ainsi, des glissements se sont produits à retardement sur des falaises nouvellement érodées et présentant des conditions de stabilité très marginales (figure 6).

Cependant, dans la majorité des cas, les pieds de talus et le lit des cours d'eau ont été érodés sans que ne survienne de rupture, mais suffisamment pour créer des conditions de stabilité précaire. Ces talus, dont le facteur de sécurité avait passablement diminué à cause des changements à leur géométrie, devenaient exposés à des risques élevés de glissements de terrain qui auraient pu être déclenchés ultérieurement par des variations saisonnières normales des conditions d'eau souterraine.

2.2 PHÉNOMÈNE D'INFILTRATION

L'action néfaste des pluies s'est manifestée aussi par une modification des conditions d'eau souterraine à la suite de l'infiltration de l'eau dans les sols. L'inventaire des glissements de terrain réalisé par le Centre géoscientifique de Québec (voir chapitre suivant) a montré que la très grande majorité des ruptures ne résultent que du phénomène d'infiltration, puisqu'elles se sont produites dans des talus où l'érosion était inexistante ou trop faible pendant les pluies pour agir comme facteur déclencheur.

De plus, les inspections de terrain ont permis de constater la présence de nombreuses amorces de glissement avorté dans des talus sans érosion à la base. La présence de fissures fraîches dans les sols, avec ou sans déplacement (figure 12), témoigne de l'énorme sollicitation que ces talus ont subie à cause du phénomène d'infiltration. Ce processus a fragilisé des pentes et augmenté les risques ultérieurs de glissement de terrain à ces endroits.

3. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

De nombreux glissements de terrain se produisent annuellement sur l'ensemble du territoire québécois, mais les événements liés aux pluies des 19 et 20 juillet 1996 peuvent être considérés comme étant à caractère exceptionnel pour deux raisons : premièrement, à cause du grand nombre de glissements de terrain survenus dans un court laps de temps (plus de 1000 en moins de 36 heures) et, deuxièmement, en raison de l'immensité de la superficie touchée. En outre, l'apparition d'un si grand nombre de glissements de terrain à cette période de l'année est considérée inhabituelle selon l'expérience de la communauté géotechnique québécoise. Les inventaires publiés précédemment^{1,2,3} font tous mention d'un pic dans le nombre de glissements enregistrés au printemps lors de la fonte nivale et, à un moindre degré, à la période automnale où l'infiltration des pluies dans le sol est plus prononcée. De ce point de vue, les glissements de juillet 1996 constituent un événement particulier dans les annales géotechniques.

Afin d'avoir une bonne compréhension des événements, les types et les caractéristiques des glissements de terrain survenus en juillet 1996 sont décrits dans les paragraphes qui suivent. Par la suite, les données de l'inventaire des glissements sont résumées afin d'illustrer les particularités de la situation concernant la stabilité des pentes.

3.1 TYPOLOGIE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

La classification utilisée ici est une version simplifiée pour permettre une meilleure compréhension des phénomènes. La majeure partie des glissements survenus en zone habitée s'étant produite dans des sols argileux, une plus grande emphase leur est donc portée.

¹ Lafleur, J. et Lefebvre, G., 1978. Influence de l'écoulement souterrain sur la stabilité des pentes naturelles d'argile. Rapport de l'Université de Sherbrooke présenté au ministère des Richesses naturelles. Rapport DP-609.

² Lebuis, J. *et al.*, 1983. Regional Mapping of landslide hazard in Quebec. Symposium on slopes on soft clays, Linköping, Swedish Geotechnical Institute, Report no 17.

³ Tavenas, F., 1984. Landslides in Canadian Sensitive Clays – A state-of-the-Art. Compte-rendus du IV^e Symposium international sur les glissements de terrain. University of Toronto Press.

3.1.1 LES GLISSEMENTS EN TERRAIN ARGILEUX

3.1.1.1 Les glissements superficiels par translation

Ces mouvements de pente sont caractérisés par une surface de glissement peu profonde, généralement inférieure à 1,5 mètre, et sont la plupart du temps de faible dimension, soit de quelques dizaines de mètres de largeur tout au plus (figure 13). Ils n'affectent généralement que le talus lui-même sans en toucher le sommet, mais leurs débris peuvent s'étaler à des distances parfois considérables en fonction de leur consistance à l'état remanié.

Les sols impliqués sont constitués la plupart du temps par la partie superficielle et altérée du dépôt argileux et se limitent parfois au décollement de la couverture végétale (figure 14). Cette portion superficielle des sols est plus perméable et présente des caractéristiques mécaniques différentes des matériaux intacts situés plus en profondeur. Ce changement dans les propriétés contrôle la majeure partie de la position du plan de rupture qui adopte alors une forme plus ou moins plane parallèle à la pente, ce qui provoque un mouvement des débris par translation.

La partie superficielle des sols, appelée « croûte argileuse », est très sensible aux fluctuations rapides des conditions d'eau souterraine à cause de sa plus grande perméabilité. La quantité d'eau qui s'infiltre dans le sol influence rapidement le comportement de cette croûte, dans laquelle peut se développer un écoulement superficiel de surface. C'est pourquoi ce genre de glissement est très influencé par les conditions pluviométriques et la fonte nivale. Ils peuvent se produire de façon naturelle dans des talus présentant des conditions géomorphologiques variées, avec ou sans érosion à la base (figure 15).

En raison de leur volume qui est la plupart du temps très restreint, ces glissements sont rarement répertoriés car ignorés de la population. Cependant, selon l'extrapolation des données d'un inventaire réalisé dans la région sinistrée pour différentes années à partir de photographies aériennes, il s'en produirait plus d'une centaine par année sur l'ensemble du territoire québécois. Les déblais routiers sont particulièrement vulnérables à ce type de glissement. Le poids des débris boueux fait que l'impact peut être parfois très violent (figure 16).

La zone à risque pour les glissements superficiels est constituée de la pente et d'une bande de terrain située en pied de talus.

3.1.1.2 Les basculements

Les basculements correspondent à la chute de blocs de sol argileux qui se détachent de la surface du massif le long de plans de fissuration principalement verticaux et qui s'accumulent à la base du talus (figures 17 et 18). L'accumulation de blocs peut parfois en venir à stabiliser le talus, mais lorsque l'érosion les enlève continuellement, le processus de basculement se poursuit. Cependant, ces glissements sont généralement suivis par des mouvements plus volumineux comme ceux décrits au paragraphe suivant.

Les réseaux de fissures qui se développent plus ou moins verticalement résultent du relâchement des contraintes horizontales dans le sol à la suite d'une excavation artificielle ou naturelle comme l'érosion rapide du talus. La dimension des blocs argileux est contrôlée par ces fissures de relâchement et par des discontinuités plus ou moins horizontales résultant de la stratification des sols. Ce type de mouvement de terrain est plutôt inhabituel dans les sols argileux. Généralement, il ne se produit que lorsque les argiles sont très raides et que le talus est soumis à une érosion intense, ce qui a été le cas lors du sinistre.

3.1.1.3 Les glissements rotationnels

Les glissements rotationnels sont plus profonds que les deux types précédents. Ils sont caractérisés par la forme concave de leur surface de rupture sur laquelle la masse qui glisse subit un mouvement de rotation, d'où leur appellation (figure 19). Ils se produisent généralement dans des sols relativement homogènes pour lesquels il n'existe pas de discontinuité trop marquée qui pourrait contrôler la position de la surface de rupture.

Ces glissements ne sont déclenchés par des variations météorologiques rapides que lorsque leur surface de rupture est relativement peu profonde, ou lorsque des conditions particulières existent dans la superposition des couches de sol (par exemple, présence d'un lit drainant situé en profondeur et relié plus loin à la surface du terrain). Généralement, le déclenchement de ces glissements nécessite de longues périodes d'alimentation de la nappe d'eau souterraine, comme au printemps, à l'automne, ou encore sont provoqués par des changements dans la géométrie de la pente. À ce dernier titre, les processus déclencheurs externes les plus fréquents sont l'érosion et l'excavation en pied de talus ou les surcharges au sommet.

La combinaison de l'action érosive des cours d'eau et des conditions d'eau souterraine plus défavorables que l'on rencontre pendant le printemps et l'automne fait que ces deux périodes de l'année sont beaucoup plus propices à l'apparition naturelle de ce genre de glissement. Selon l'extrapolation des données d'un inventaire réalisé dans la région de Louiseville à partir de photographies aériennes de plusieurs années⁴, il s'en produirait sur le territoire québécois plus d'une centaine par année dont la très grande majorité en bordure des cours d'eau.

Un des aspects pratiques les plus importants de ces glissements, outre leur volume plus élevé que les glissements précédents, est leur distance de rétrogression en sommet de talus (figure 20). Lorsqu'il s'agit de glissements peu profonds, que l'on appelle aussi « décrochements », cette distance est relativement faible (figure 21). Cependant, plus la surface de rupture est profonde, plus la rétrogression aura tendance à être grande. Dans certains cas, une succession de tranches de sol pourra glisser et on parlera alors de « glissement rotationnel multiple », ce qui donnera une distance de rétrogression pouvant atteindre, dans des cas exceptionnels, une valeur égale à près de deux fois la hauteur du talus (figure 22). Même si la masse de sol glissée est relativement intacte dans certains cas, ces glissements peuvent être très destructeurs.

La zone à risque est constituée, en plus de la pente, de bandes de terrain situées au sommet et à la base du talus.

3.1.1.4 Les coulées de boue

Amorcées par des glissements superficiels ou rotationnels généralement situés dans la partie supérieure des talus, les coulées de boue constituent l'événement post-rupture de ces glissements. Caractérisées par un écoulement presque liquide des débris, elles peuvent prendre des dimensions très variables dépendamment de nombreux facteurs : dimensions du glissement initial, consistance des débris, géométrie de la pente, position du point d'amorce du glissement, état du sol superficiel et du terrain sur le versant, etc. En dévalant la pente, les débris peuvent éroder le terrain sur leur passage et le volume de matériaux augmente alors pendant la descente, de sorte qu'on se retrouve à la fin avec un événement possédant des caractéristiques propres et différent du glissement initial. Cependant, la caractéristique principale est constituée par la disproportion

⁴ Locat, J. *et al.*, 1984. Prédiction des glissements de terrain. Application aux argiles sensibles, rivière Chacoura, Québec, Canada. Compte-rendus du IV^e Symposium international sur les glissements de terrain, University of Toronto Press, p.549-556.

qui existe entre la faible dimension de la niche d'arrachement par rapport à la longueur totale du glissement, incluant l'étalement des débris.

Ces glissements ne requièrent pas la présence d'argile sensible telle que définie pour le cas des coulées argileuses (type de glissement suivant). Ce phénomène peut se produire *a priori* sur tous les types de versants argileux, boisés ou non (figure 23), mais les pentes longues de forme concave, au sommet abrupt, sont celles susceptibles de former les plus grosses coulées (figure 24). La masse et la nature des débris étant très variables, leur impact l'est tout autant.

Ce type de glissement n'avait jamais été rapporté comme tel dans la littérature géotechnique du Québec, bien que des évidences sur photographies aériennes montrent bien qu'il s'en soit déjà produit. La rareté de ce phénomène fait qu'il s'agit d'un type de glissement plutôt méconnu dans la communauté scientifique québécoise. Cependant, les coulées de boue sont, d'une façon générale, le type le plus fréquent de glissement provoqué par des pluies diluviennes dans le monde. Lors du sinistre de juillet 1996, elles sont responsables des deux seuls cas de mortalité par un phénomène naturel (cas du glissement de la rue Henry-McNicoll à La Baie).

La pente et la bande de terrain située au pied du talus constituent la zone à risque. Lorsque des éléments sont situés dans cette zone, leur vulnérabilité est très élevée.

3.1.1.5 Les coulées argileuses

Le terme « coulée argileuse » est utilisé un peu abusivement dans la pratique pour décrire tous les mouvements de terrain rétrogressifs, généralement de grande ampleur, où les débris argileux atteignent par remaniement un état relativement liquide lors de leur déplacement. Ils sont généralement amorcés par un glissement rotationnel profond en bordure des cours d'eau, suivi d'une succession de ruptures affectant le sommet du talus sur des distances très variables (figure 25). Elles se produisent généralement en quelques minutes. Bien que leur facteur déclencheur soit la plupart du temps d'origine naturelle, environ 20 % des cas inventoriés depuis 1840 auraient été amorcés par des causes d'origine humaine⁵. Au Saguenay, au moins deux événements de ce type seraient dus à l'activité humaine (voir tableau I).

⁵ Lebluis J. *et al.*, 1983. Op. cit.

Ces mouvements de terrain sont liés à la présence en profondeur de couches d'argile que l'on qualifie de « sensible ». Ces sols adoptent un état pratiquement liquide lorsque remaniés (figure 26). Cet état très liquide des débris lors de ces glissements fait souvent croire, à tort, à la population à l'existence de lacs souterrains.

Le développement d'une coulée argileuse nécessite la conjugaison de plusieurs facteurs : présence d'une couche plus ou moins épaisse d'argile sensible et position appropriée de cette couche par rapport au fond du cours d'eau, hauteur critique des talus, géométrie des lieux et forme de la vallée propice à l'étalement des débris, etc. Ceci explique pourquoi il ne survient qu'une coulée argileuse d'une superficie supérieure ou égale à un hectare (10 000 m²) environ tous les 2 ans et demi sur l'ensemble des zones à risque du territoire québécois⁶, malgré le fait que les glissements rotationnels, qui agissent souvent comme agent déclencheur, soient beaucoup plus nombreux.

Bien qu'elles soient très peu fréquentes comparativement à d'autres types de glissement, les coulées argileuses peuvent représenter néanmoins un risque majeur parce qu'elles peuvent affecter de façon subite et rapide de grandes superficies de terrain pouvant atteindre des dizaines d'hectares (figure 27).

La zone à risque comprend la pente et une surface de dimension variable sur le replat au sommet du talus. De plus, les débris peuvent s'étaler sur de grandes distances au pied du talus originel et dans la vallée des cours d'eau. L'étendue de la zone à risque est parfois tellement grande qu'elle devient difficile à concevoir pour les non initiés, particulièrement lorsqu'on est situé en terrain plat, à plusieurs centaines de mètres d'un talus.

Heureusement, aucun glissement de ce genre n'est survenu lors du sinistre de juillet 1996. La description qui en a été donnée est justifiée par la présence sur le territoire concerné de secteurs présentant de tels risques. En effet, l'analyse des photographies aériennes montre la présence de nombreuses cicatrices d'anciennes coulées argileuses dans la région. Le tableau I résume les événements historiques de ce type qui ont été répertoriés. Bien que cet inventaire ne soit pas exhaustif, il montre que certains secteurs sont très propices à ce genre de phénomène, comme les berges du lac Saint-Jean dans le secteur de Desbiens.

⁶ Lebuis J. 1980. La fréquence des coulées argileuses au Québec. Rapport interne, Direction générale de l'exploration géologique et minière. Ministère des Ressources naturelles.

3.1.2 LES AUTRES MOUVEMENTS DE TERRAIN

3.1.2.1 Les coulées de débris

Les coulées de débris s'apparentent par leur mouvement aux coulées de boue précédemment décrites, mais diffèrent par l'environnement où elles surviennent et par la nature des matériaux qui les composent. Amorcées dans la partie supérieure des pentes escarpées, elles affectent la mince couverture de sol morainique hétérogène qui recouvre les versants montagneux. Les matériaux glissés dévalent rapidement la pente et entraînent dans leur mouvement la couverture végétale et la partie superficielle des sols. Lors de leur descente, les débris, formés de boue, de cailloux, de blocs rocheux et d'arbres, laissent souvent à nu les parois rocheuses (figure 28) et viennent généralement s'arrêter en contrebas des pentes sur des distances variables. Ces glissements se produisent le plus souvent lors de pluies intenses.

Les couloirs formés par la descente des débris sont généralement étroits mais peuvent prendre parfois des dimensions considérables et donner des résultats très dévastateurs (figure 29). Les cicatrices laissées dans le paysage sont bien reconnaissables sur les photos aériennes comme l'illustre la figure 30 montrant un secteur de la route 169 dans le parc des Laurentides. Ces glissements sont le plus souvent caractérisés par des largeurs relativement étroites, comparativement à leur longueur qui peut atteindre plusieurs centaines de mètres.

Malgré leur fréquence relativement élevée⁷, peu de données détaillées existent sur les caractéristiques de ces mouvements au Québec puisqu'ils surviennent essentiellement en terrains montagneux inhabités. Après que le mouvement soit terminé, des blocs rocheux peuvent demeurer dans des positions instables, ce qui conserve aux cicatrices un caractère dangereux pouvant nécessiter des travaux de mitigation.

3.1.2.2 Les glissements dans les sols sableux et morainiques

⁷ Dionne J.C. et Filion L., 1984. Glissements pelliculaires sur versants rocheux, Côte-Nord du Saint-Laurent, Québec. *Revue Géographie physique et Quaternaire*, vol. XXXVIII, no 2, p. 193-200.

De nombreux glissements se sont produits dans des sols sableux ou morainiques en juillet 1996. Ils s'apparentent pour la plupart aux glissements superficiels et rotationnels décrits pour les dépôts argileux.

3.2 INVENTAIRE DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

À la demande du SGG, le Centre géoscientifique de Québec a entrepris, à l'automne 1996, un inventaire détaillé des glissements de terrain ayant affecté le territoire habité⁸. Selon une reconnaissance préliminaire par photo-interprétation, plus de 1000 glissements de terrain se sont produits lors des pluies. Cependant, en raison de contraintes de temps, seule la zone située dans le corridor compris entre Desbiens et Petit-Saguenay, sur la rive sud du Saguenay, a été considérée pour l'inventaire. Dans ce corridor, 855 glissements de terrain ont ainsi été répertoriés sur le terrain, et 234 ont fait l'objet d'une description morphologique détaillée (figure 31). Cet inventaire s'est limité aux glissements ayant affecté les sols situés à l'intérieur des limites marines et, en particulier, aux sols argileux. Il ne tient cependant pas compte des nombreuses ruptures survenues lors des premières semaines dans les talus des cours d'eau majeurs très affectés par l'érosion, car des travaux de confortement ont été rapidement entrepris à ces endroits. Ce dénombrement exclut aussi les coulées de débris survenues dans les régions montagneuses, comme par exemple le long de la route 169 dans le parc des Laurentides, et tous les autres glissements dans les dépôts meubles survenus en dehors de la zone étudiée. De plus, le SGG a eu à intervenir à plusieurs endroits en dehors de la zone inventoriée, et de nombreux cas de glissements de terrain ont été rapportés par des villégiateurs hors des zones habitées. Finalement, les photos aériennes de septembre 1996 permettant l'identification des glissements ne couvrent pas l'ensemble du territoire affecté par les pluies de juillet 1996. Le nombre exact demeure donc inconnu.

La distribution géographique des glissements de terrain est contrôlée par différents facteurs. Les principaux sont la répartition géographique des différents types de sol, le contexte géomorphologique et, dans une moindre mesure, la répartition de l'intensité des pluies. Le territoire habité est surtout concentré sur les plaines argileuses situées à l'est du lac Saint-Jean et de part et d'autre du

⁸ Perret, D et Bégin, C. 1997. Inventaire des glissements de terrain associés aux fortes pluies de la mi-juillet 1996 – Région du Saguenay / Lac-Saint-Jean. Institut national de la recherche scientifique (INRS – Géoressources). Rapport remis au Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean.

Saguenay. Ces terrains argileux ont tous été affectés par des glissements de terrain en très grand nombre. Selon l'inventaire du CGQ, les zones de plus grande concentration sont situées :

- entre le lac Kénogami et le lac Saint-Jean, particulièrement dans le secteur du lac Vert à Hébertville (20 % du total) ;
- dans le secteur du ruisseau Jean-Déchêne, entre Jonquière et Chicoutimi ;
- dans la cuvette de la ville de La Baie.

Les glissements de terrain survenus en bordure des cours d'eau sont de type superficiel ou rotationnel. Parmi ces derniers, on trouve plus de décrochements que de glissements profonds. Étonnamment, aucune coulée argileuse n'a été déclenchée sur l'ensemble du territoire malgré les conditions qui y étaient propices à plusieurs endroits.

La grande majorité des glissements répertoriés est située dans des talus où l'érosion était inexistante ou pas assez active pour être la cause de leur initiation, ce qui était surprenant à première vue. On peut donc conclure pour ces derniers que les pluies constituent effectivement le seul élément déclencheur. Bien que cette statistique n'ait pas encore été déterminée précisément, on sait que la plus forte proportion de glissements déclenchés par les pluies est du type «superficiel», suivi par les décrochements. Quelques cas de glissement rotationnel profond ont aussi été activés par l'action unique des pluies, mais les cas investigués jusqu'à présent montrent que les conditions particulières dans la stratigraphie des sols existant à ces sites en sont responsables. Très peu de glissements présentent une composante « coulée de boue » bien exprimée. Celles-ci constituent donc un phénomène rare comparativement aux autres types de glissements.

Peu de routes ont été directement endommagées par des glissements (figure 32). Cependant, les voies de circulation ont été obstruées par les débris de nombreux glissements superficiels survenus dans les déblais routiers (figure 33). Dans ce dernier cas, la réouverture des routes a pu se faire rapidement puisque celles-ci n'étaient pas endommagées.

Bien que la très grande majorité des glissements associés à ces pluies se soient produits dans des sols argileux, un nombre relativement élevé de ceux-ci sont survenus dans des matériaux plus grossiers. En terrain montagneux, les coulées de débris ont affecté de nombreux versants escarpés. Les routes 169 (km 17, 22 et 23), 170 (lac Long, L'Anse-Saint-Jean) et 172 (rivière Sainte-Marguerite) ont été obstruées par de tels glissements (figure 34).

De plus, un glissement rotationnel spectaculaire s'est produit à la suite de l'érosion sévère au pied d'un talus sableux très élevé le long de la rivière à Mars et a laissé suspendue dans le vide la voie ferrée (figure 9). Quelques autres glissements sont survenus dans des sols sableux ou morainiques dans la partie amont de la rivière des Ha! Ha! , le long de berges nouvellement formées (figure 8).

Les données de l'inventaire ont aussi permis de statuer sur certaines caractéristiques propres à la région ou aux glissements de terrain observés. Ainsi, les relevés ont montré qu'aucun glissement n'était survenu dans les terrains argileux où la pente était inférieure à 22 degrés d'inclinaison par rapport à l'horizontale. D'autre part, la compilation des statistiques a permis d'établir une relation de probabilité entre la distance d'étalement des débris des glissements superficiels et la hauteur des talus concernés. Les résultats de cette analyse sont présentés plus en détail au chapitre 6.

4. OPÉRATIONS D'URGENCE

4.1 INTERVENTIONS D'URGENCE

Bien que des travaux de stabilisation se soient poursuivis jusqu'en février 1999, les opérations d'urgence décrites dans ce chapitre concernent essentiellement les interventions réalisées durant la période comprise entre juillet et décembre 1996.

Il s'est avéré difficile lors des premiers jours du sinistre de constater l'ampleur du phénomène pour deux raisons. Premièrement, en raison de l'envergure exceptionnelle des événements, l'inventaire des impacts nécessitait un travail gigantesque. Différentes couvertures de photographies aériennes ont été prises dans les semaines suivantes, ce qui a permis d'obtenir une image plus complète de la situation. Malgré cela, de nombreux dégâts n'ont été répertoriés que beaucoup plus tard. Deuxièmement, les efforts ont d'abord été concentrés à régler les cas les plus urgents. Ainsi, aucun constat complet de la situation n'était disponible dans les premières semaines de la catastrophe.

Lors des premiers jours, les demandes étaient acheminées au Centre de coordination des mesures d'urgence situé aux bureaux du ministère de la Sécurité publique (MSP) à Jonquière. De l'expertise en géotechnique a été fournie ponctuellement afin de régler les cas les plus pressants. Par exemple, des recommandations ont été données pour éviter le déménagement des patients d'un hôpital de Jonquière (Arvida) qu'on soupçonnait à tort d'être menacé par un glissement de terrain majeur. À d'autres endroits, des périmètres de sécurité ont été fixés en attendant que des expertises plus détaillées puissent être effectuées. Ailleurs, lorsque cela était possible, des recommandations étaient données dès la visite des lieux, afin que des travaux correcteurs puissent être entrepris dans l'immédiat. Parfois, c'est sur la sécurité des travailleurs, lors de travaux de stabilisation d'urgence, que portaient les avis.

Les demandes provenaient des bureaux régionaux du Ministère des Transports du Québec (MTQ) ainsi que des municipalités et de divers organismes par l'entremise du ministère de la Sécurité publique (MSP). Pour la très grande majorité de ces cas, aucune note n'a été enregistrée dans les dossiers du SGG en raison du surcroît de travail et du délai d'exécution des travaux recommandés.

Lorsque les inondations furent terminées, une directive du ministère de l'Environnement (MENV) obligea les municipalités à procéder à une visite des lieux avant de permettre la réintégration des maisons évacuées mais non détruites. Des efforts ont été consacrés à cette opération pour aider certaines municipalités, en attendant que celles-ci mandatent des firmes privées pour effectuer cette tâche.

Les équipes de forage du SGG n'ont été utilisées que pour les études jugées nécessaires à la sauvegarde des infrastructures du MTQ. Dans tous les autres cas, le recours à l'expertise du secteur privé a été privilégié.

4.2 ÉVALUATION DE LA SITUATION

Compte tenu de l'ampleur de la tâche que représentaient la reconstruction et la stabilisation des zones sinistrées, un groupe de travail gouvernemental fut formé la première semaine d'août. Ce groupe, appelé « Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay–Lac-Saint-Jean » (BRR), avait pour mandat, entre autres, de coordonner l'ensemble des actions de reconstruction de la région et d'établir une procédure accélérée pour le traitement des dossiers entre le gouvernement et sa clientèle.

Afin de faire l'inventaire des travaux à réaliser et d'établir un constat conjoint de la situation, de nombreuses rencontres furent organisées à la mi-août entre un comité d'experts constitué de représentants de divers ministères (Environnement, Transports, Sécurité publique, Affaires municipales et de la Métropole) et des représentants municipaux et les principaux intervenants régionaux. Lors de ces rencontres, des informations et des recommandations furent fournies concernant les zones à risque de glissement de terrain. Les recommandations avaient pour but d'assurer la sécurité des personnes et des biens pour l'ensemble des secteurs sinistrés. Les objectifs étaient :

- de permettre d'identifier rapidement les zones présentant des risques à la suite des événements des 19 et 20 juillet ;
- d'éviter la reconstruction à l'intérieur d'autres zones à risque.

Lorsque les cartes produites originellement par le ministère des Ressources naturelles (MRN) étaient disponibles⁹, elles furent modifiées pour tenir compte du nouveau tracé des principaux cours d'eau. Pour les municipalités ne bénéficiant pas de telles cartes, des recommandations préliminaires furent données pour éviter de reconstruire dans des zones à risque.

En plus des zones déjà identifiées sur les cartes du MRN, tous les talus constitués de dépôts meubles, dont la pente était supérieure à 14°, avaient été désignés temporairement comme étant des zones à risque. De plus, dans les cas où un cours d'eau coulait à la base du talus, une bande de protection en sommet, dont la largeur était égale à deux fois la hauteur du talus, devait être incluse dans la zone à risque. Pour les talus sans cours d'eau à la base, la zone exposée aux risques de mouvement de terrain comprenait, en plus du talus lui-même, des bandes de protection au sommet et à la base égales à une fois la hauteur du talus.

Dans les zones à risque, les interventions suivantes étaient à proscrire sans une étude géotechnique préalable ou sans travaux de confortement :

- les nouvelles habitations ou bâtisses ;
- la pose de surcharge dans le talus ou à son sommet (remblai, bâtiment, piscine hors-terre, etc.) ;
- les travaux de drainage en direction de la pente ;
- les travaux d'excavation ayant pour conséquence de raidir le talus.

Aux endroits où des bâtiments étaient situés au sommet des talus, une inspection par un spécialiste en géotechnique était recommandée avant la réintégration des lieux. Cette recommandation était d'autant plus pertinente lorsque les cours d'eau avaient changé de lit et formé de nouveaux talus abrupts (voir figures 3 à 8).

Les travaux de confortement d'urgence devaient respecter certains principes généraux :

- dans la mesure du possible, respecter l'intégrité du lit des cours d'eau ;
- favoriser l'écrtage des talus et la combinaison déblai-remblai pour diminuer l'empiétement dans les cours d'eau ;
- favoriser la conservation et la reprise de la végétation.

⁹ Dion D.J., 1986. Levé géotechnique de la région de Jonquière – Chicoutimi – La Baie. Ministère des ressources naturelles, rapport MB 86-51.

Lors des réunions avec le BRR, les intervenants locaux dressèrent une liste des interventions prioritaires à réaliser sur leur territoire. Ces réunions furent suivies de multiples visites sur le terrain par les représentants gouvernementaux et l'ensemble des personnes concernées, incluant les citoyens sinistrés. Des réunions supplémentaires d'information furent organisées avec les citoyens de La Baie, de L'Anse-Saint-Jean et de Ferland-et-Boilleau à la demande des élus municipaux. De nombreuses autres rencontres avec de petits groupes de citoyens concernés furent organisées avec les représentants du SGG pour fournir de l'information à propos de travaux de mitigation ponctuels (voir le chapitre sur les travaux de mitigation). Ces dernières rencontres étaient souvent suivies de visite sur le terrain avec les citoyens, afin de répondre sur les lieux aux dernières interrogations qui pouvaient subsister.

Le mardi 23 juillet, une tournée en hélicoptère fut effectuée pour avoir une idée d'ensemble des problèmes liés à la stabilité des talus. Dès lors, il apparut plus clairement que la situation était complexe et différente de ce que les spécialistes pouvaient appréhender (voir la section sur l'inventaire des glissements de terrain). C'est à ce moment que devint évidente la nécessité de prendre des couvertures élargies de photographies aériennes et de procéder par la suite à un inventaire détaillé des glissements de terrain survenus lors des pluies.

Différentes lignes de photographies aériennes, orientées suivant les couloirs des principaux cours d'eau, furent prises à l'instigation de l'entreprise privée dès les premières heures suivant le déluge et, dans les semaines suivantes, par le Service de la cartographie du MRN. Le BRR commanda par la suite une couverture complète des territoires habités pour permettre de mieux répertorier les dégâts résultant du sinistre et, plus particulièrement, pour faciliter la localisation des nombreux glissements de terrain répartis sur l'ensemble du territoire.

Les nombreuses visites de terrain effectuées lors de cette période d'urgence montrèrent qu'un grand nombre de talus, qui n'avaient pas été érodés ou qui n'avaient pas subi de glissement de terrain, présentaient néanmoins des évidences de stabilité précaire (figure 35). À certains endroits, des fissures avec affaissement et des décollements partiels (figure 12) signalaient que des glissements de terrain s'étaient amorcés. Puisque dans de telles conditions, il est nécessaire d'intervenir à plus ou moins court terme pour prévenir les risques, un inventaire détaillé des sites à pentes fortes en milieu habité fut entrepris dès le mois d'août et se poursuivit pendant tout l'automne 1996. Les sites jugés moins prioritaires furent visités au printemps 1997, dès la fonte des neiges. Cette tâche fut réalisée par le SGG, en collaboration avec le CGQ.

À d'autres endroits, des indices importants laissaient croire que certains talus fragilisés par l'érosion pouvaient être le siège à plus ou moins court terme de glissement de terrain majeur de type « coulée argileuse ». La démarche utilisée pour procéder à l'inventaire de ces sites est expliquée dans le chapitre portant sur les travaux de mitigation.

4.3 DEMANDES D'EXPERTISE ET DE CONTRE-EXPERTISE

Par l'entremise du Centre de coordination des mesures d'urgence et du Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean, le SGG a eu à traiter un très grand nombre de demandes d'expertise et de contre-expertise concernant des problèmes de stabilité de talus. Dans la majorité des cas traités lors des premières semaines, aucun dossier n'a été consigné pour les raisons précédemment expliquées. Dans ces cas, l'expertise a été fournie verbalement.

La première vague majeure de demandes est venue lorsque les citoyens évacués par précaution ont voulu réintégrer leur résidence. Comme la majeure partie de ces résidences était située en sommet de talus en bordure de cours d'eau, de nombreux avis techniques fournis par l'entreprise privée recommandaient des travaux stabilisateurs. Par la suite, de nombreux autres cas de problèmes de stabilité de pente ont été répertoriés par les municipalités à l'automne 1996, au fur et à mesure que l'inventaire des dégâts sur leur territoire progressait.

Tous les cas demandant des travaux stabilisateurs ont été acheminés par le MSP au SGG afin d'obtenir soit une expertise, lorsqu'un avis était nécessaire de façon urgente, soit une contre-expertise, lorsque des recommandations avaient déjà été faites par l'entreprise privée. Chaque cas a fait l'objet d'une visite sur le terrain suivie d'une note écrite dont la conclusion était une des suivantes lorsqu'il s'agissait de contre-expertise :

- approbation immédiate des travaux ;
- demande de modification aux plans ;
- étude à compléter avant la réalisation des travaux ;
- mauvaise évaluation de la situation, travaux jugés inutiles ou pas suffisants.

Dans les cas où il n'y avait pas approbation immédiate des travaux, la conclusion n'était donnée qu'après discussion avec le signataire de l'étude initiale. Lorsque le SGG agissait comme premier

intervenant technique sur les lieux, la visite se faisait dans la mesure du possible avec le demandeur ou le citoyen concerné.

Le SGG a aussi siégé à des comités de gestion comme conseiller technique pour l'étude de dossiers de stabilisation des berges de divers cours d'eau (rivière aux Sables, rivière du Moulin, rivière à Mars et rivière des Ha! Ha!). Le bilan de ces interventions apparaît dans les documents préparés par le ministère de l'Environnement (MENV).

Le SGG a aussi réalisé certaines études n'ayant pas spécifiquement rapport à la stabilité des pentes. Par exemple, des relevés ont été effectués à l'aide d'un sismographe pour mesurer l'intensité des vibrations transmises par la circulation routière aux résidences adjacentes (trois cas à Ferland-et-Boilleau et un à Jonquière). De plus, sept dossiers concernant des dommages causés aux puits d'eau potable à la suite des inondations ont aussi été traités.

Au total, 141 dossiers ont été enregistrés dans les registres du Service. Ce nombre n'inclut pas les multiples cas où seules des recommandations verbales ont été données lors des premières semaines suivant les crues. La localisation générale des dossiers enregistrés est donnée au tableau II et montrée aux figures 36 à 42.

5. ANALYSES DU RISQUE ET TRAVAUX DE MITIGATION

5.1 GÉNÉRALITÉS

Compte tenu de l'ampleur du sinistre et de ses effets sur la stabilité des pentes, de nombreux bâtiments de toute nature et des infrastructures majeures ou mineures (ponts, routes, chemin de fer, murs de soutènement, etc.) ont été endommagés ou sont devenus menacés par les dangers de glissement de terrain. Afin de reconstruire ou de protéger les biens existants, différentes mesures de réhabilitation ou de mitigation ont dû être entreprises à plusieurs endroits. En plus d'agir en tant qu'expert dans de multiples dossiers, le SGG a été associé ou a fourni directement l'expertise dans le traitement de nombreux dossiers qui ont mené à des mesures de mitigation de différentes ampleurs.

La première partie de ce chapitre présente d'abord la méthode d'analyse du risque qui a permis un traitement rigoureux des différents problèmes rencontrés. La deuxième partie traite de l'ensemble des travaux de mitigation. Ils sont divisés en deux groupes. Le premier groupe concerne les solutions apportées aux dangers menaçant une ou quelques résidences à la fois. Le deuxième groupe explique les interventions majeures réalisées sur de longues distances pour éliminer les risques de coulée argileuse.

5.2 MÉTHODE D'ANALYSE DU RISQUE

Tous les dossiers traités ont fait l'objet d'au moins une visite de terrain. Dans certains cas, une simple visite du site était suffisante pour faire l'analyse du problème. Dans d'autres cas, les dangers appréhendés ont dû être définis plus en détail en faisant des études géotechniques complètes avec sondage, échantillonnage des sols, instrumentation des talus, arpentage, essais de laboratoire et calculs de stabilité.

Dans chaque cas, il était important de bien caractériser le problème afin d'évaluer le risque pour les personnes et les biens. Cette approche se devait d'être bien structurée, de façon à ce que

l'évaluation soit rigoureuse et uniforme. Lorsque le risque était trop élevé ou inacceptable pour certains éléments, des mesures de mitigation devaient être envisagées.

L'approche utilisée pour l'analyse du risque suit une démarche méthodique que les ingénieurs du SGG ont appliquée à chaque dossier. Cette façon de procéder s'inscrit dans le courant récent entrepris par la communauté géotechnique, à l'échelle mondiale pour améliorer la gestion des risques naturels.

Les éléments à évaluer dans la détermination du risque sont le danger, l'aléa et la vulnérabilité. Voici les définitions qui ont été adoptées.

Danger : le danger est défini par le phénomène qui peut se produire et par ses effets à l'intérieur de la zone à risque. Il est représenté par les différents types de mouvement de terrain, selon leurs caractéristiques et leurs dimensions potentielles. Par exemple, pour un glissement superficiel, le danger est constitué par la rupture dans le talus et par l'étalement des débris jusqu'à une certaine distance au pied de la pente.

Aléa : l'aléa est la probabilité que le danger survienne à l'intérieur d'une période et d'un espace donnés. Il est fonction de nombreux facteurs et peut être subdivisé en deux parties. La première est associée à la probabilité d'avoir une rupture. Celle-ci dépend de la susceptibilité du site (nature et propriétés des sols, géométrie des lieux, présence de facteurs aggravants, etc.), mais principalement de la probabilité qu'un facteur déclencheur, comme des pluies longues et intenses ou de l'érosion par des marées extrêmes, atteigne un seuil critique. La deuxième partie de l'aléa concerne l'évolution du glissement après la rupture. Ainsi, on doit aussi évaluer, par exemple, la probabilité que les débris d'un glissement atteignent une certaine distance au pied d'un talus, ou qu'une coulée argileuse s'agrandisse jusqu'à une certaine valeur de rétrogression.

Éléments à risque : les éléments à risque sont constitués par les individus ou les biens de tout ordre situés à l'intérieur de la zone potentiellement touchée par un glissement et qui peuvent être atteints, endommagés, entravés ou détruits. Ces éléments peuvent souffrir des conséquences directes ou indirectes d'un glissement.

Vulnérabilité : la vulnérabilité représente le degré de dommage ou d'entrave que pourrait causer un éventuel glissement de terrain aux éléments à risque. Elle est liée à la nature de ces éléments et à leur position à l'intérieur de la zone d'influence du danger.

Risque spécifique et risque total : le risque spécifique à chaque élément menacé résulte de la combinaison de son degré de vulnérabilité et de l'aléa propre au danger considéré. Parce que la vulnérabilité de la majorité des éléments est toujours très élevée dans un cas de glissement de terrain, le risque spécifique pour un élément est souvent exclusivement fonction de l'aléa. Le risque total représente, quant à lui, la somme de tous les risques spécifiques, ce qui permet de tenir compte de toutes les conséquences directes et indirectes d'un éventuel glissement. Prenons comme exemple le cas d'un bâtiment situé directement en pied d'un talus où pourrait survenir un glissement superficiel. La vulnérabilité étant extrême pour celui-ci, le risque spécifique à cet élément sera fonction seulement de l'aléa. Si le bâtiment est un petit cabanon rarement utilisé, le risque total ne sera cependant pas aussi élevé que s'il s'agit d'une résidence, car la somme des risques spécifiques ne serait pas la même.

Pour aider à évaluer le degré de risque de chaque situation, Leroueil et Locat¹⁰ ont présenté une grille d'analyse qui permet d'organiser l'information de façon rationnelle, de manière à en faciliter la compréhension et l'interprétation. Les principaux éléments de la grille sont :

1. le type, les caractéristiques et les dimensions du glissement appréhendé ;
2. le type et les propriétés du matériau dans lequel le glissement peut survenir ;
3. les facteurs révélateurs qui constituent des indices de la présence du danger ;
4. les facteurs qui rendent le lieu propice au type de glissement appréhendé ;
5. les facteurs aggravant la situation et ceux qui peuvent agir comme agent stabilisateur ;
6. les facteurs qui constituent un agent déclencheur ;

¹⁰ Leroueil, S. et J. Locat, 1998. Slope movements – Geotechnical characterization, risk assessment and mitigation. Comptes-rendus du 8^e Congrès International de AIGI, Vancouver, p.933-944.

7. la probabilité que survienne la rupture et qui est fonction principalement des deux points précédemment cités ;
8. les éléments situés à l'intérieur de la zone à risque et leur degré de vulnérabilité ;
9. les conséquences du mouvement sur les éléments vulnérables.

Les quatre premiers points visent à caractériser la nature et la magnitude du danger. Les points 5 à 7 servent à évaluer la probabilité que le danger survienne alors que les deux derniers aident à identifier tous les éléments menacés et le degré de risque de la situation. Si le risque total est jugée inacceptable, des travaux de mitigation doivent être entrepris. On peut alors intervenir au niveau du danger, de l'aléa ou de la vulnérabilité. La mesure de mitigation retenue devra constituer l'optimum entre les besoins de sécurité et les coûts associés. Cependant, l'évaluation des coûts doit aussi inclure des considérations de nature sociale et humaine.

Bien que cette démarche soit relativement exhaustive dans certains cas, elle oblige le spécialiste à réfléchir en profondeur à toutes les questions essentielles à l'analyse du dossier, et permet d'éviter l'oubli de certains critères qui peut survenir lorsqu'on doit traiter de nombreux dossiers de façon urgente.

5.3 TRAVAUX DE MITIGATION

Des travaux de mitigation ont été entrepris à de multiples endroits afin de régler des problèmes de stabilité de pente dans l'ensemble de la région sinistrée. Le bilan fourni par le MENV concernant le *Programme de stabilisation des berges et des lits des lacs et cours d'eau* témoigne de l'ampleur du travail. Le SGG a été associé, quant à lui, dans des projets de mitigation orientés principalement vers la protection des personnes et de leurs biens. Ainsi, des interventions ponctuelles ont été réalisées lorsque des dangers de glissement superficiel ou rotationnel et de coulée de boue ou de débris menaçaient des personnes, des bâtiments ou des routes. Comme l'étendue de ces types de glissement est généralement restreinte, les travaux entrepris étaient aussi de dimension restreinte. Cependant, lorsque certains secteurs étaient exposés aux risques de coulée argileuse, des travaux de mitigation de plus grande envergure ont été réalisés, ce qui a nécessité aussi des campagnes plus volumineuses de caractérisation des sols. Ces deux familles d'intervention sont présentées séparément dans la suite du texte.

5.3.1 INTERVENTIONS PONCTUELLES

Sont appelées « interventions ponctuelles » celles visant à résoudre les problèmes pour un ou quelques éléments à la fois et sur de petites superficies. Sur l'ensemble des travaux auxquels le SGG a été associé, 25 dossiers ont nécessité des études géotechniques plus détaillées (tableau III). Parmi ceux-ci, douze cas ont été confiés à l'entreprise privée sous la supervision du SGG.

Lorsque l'analyse du risque démontrait la nécessité d'intervenir, le choix de la méthode de mitigation reposait sur un ensemble de critères qui permettait de déterminer si l'intervention porterait sur la diminution du danger, de l'aléa, de la vulnérabilité ou sur une combinaison de ces facteurs. Les paragraphes suivants relatent des histoires de cas en suivant les critères expliqués à la section précédente et illustrent différents niveaux d'interventions, en allant des plus simples aux plus complexes.

5.3.1.1 Exemple d'intervention au niveau de la vulnérabilité

Ce cas relate le déménagement de maisons à Petit-Saguenay, ce qui n'a pas éliminé le danger mais a permis de réduire à un niveau acceptable la vulnérabilité du site.

Danger : un talus argileux fortement boisé, d'une trentaine de mètres de hauteur et avec des pentes très raides, était situé le long d'une partie de la rue Eugène-Morin, à Petit-Saguenay. Le site était propice aux glissements de terrain superficiels. Quelques-uns s'y étaient produits lors du sinistre de 1996, mais n'avaient heureusement pas causé d'incidents fâcheux (figure 43). D'anciennes cicatrices du même type de glissement étaient aussi visibles dans le talus.

Aléa : la probabilité qu'un glissement superficiel survienne était élevée due à la géométrie défavorable du talus ainsi qu'à la présence de fissures aperçues lors de l'inspection. La probabilité d'occurrence de périodes critiques pour ce genre de glissement, telles que de longues périodes pluvieuses, des dégels printaniers hâtifs et pluvieux ou de forts orages en été, était aussi élevée. Ces facteurs déclencheurs ont pour effet de faire augmenter les

pressions d'eau souterraines, lesquelles contrôlent la stabilité naturelle de ces pentes. De plus, la possibilité que les débris atteignent les maisons était très forte.

Éléments vulnérables : cinq maisons étaient situées directement au pied du talus vis-à-vis des segments de pente très raides, à l'intérieur de la zone potentielle d'étalement des débris de glissement. Compte tenu de leur position, leur vulnérabilité était très élevée.

Risque : si un glissement survenait, les débris auraient pu heurter les maisons en contrebas du talus, ce qui aurait pu avoir des conséquences majeures en raison de leur grande vulnérabilité. Le risque était donc important lors des périodes où la probabilité d'avoir une rupture de talus était la plus forte.

Mitigation : Comme il aurait été très dispendieux et voire même impossible d'éliminer le danger en adoucissant le talus, il a été recommandé d'intervenir au niveau de la vulnérabilité. Ainsi, cinq maisons ont été démenagées. Les terrains libérés ont été identifiés par la suite comme des zones à risque de glissement de terrain afin d'en contrôler l'usage. Pour les usagers de la rue, qui sont peu nombreux et dont le temps d'exposition au danger est très court, la vulnérabilité est faible et le risque encore présent est considéré comme acceptable.

5.3.1.2 Exemple d'intervention au niveau de l'aléa – Cas lié aux mouvements des débris

Ce cas relate l'installation de clôtures de captage sur la route nationale 169 dans le parc des Laurentides. Ces travaux visaient à diminuer l'aléa à un niveau acceptable pour les usagers de la route.

Danger : de nombreuses coulées de débris ont été occasionnées par les pluies de juillet 1996 dans les secteurs montagneux. Après que le mouvement soit terminé, des blocs rocheux, dont le diamètre pouvait atteindre 1,3 mètre, sont restés dans des positions précaires à l'intérieur du corridor de descente des débris (figure 44).

Aléa : la probabilité que les blocs se détachent et atteignent la chaussée était élevée parce qu'il n'y avait plus d'obstacle devant eux jusqu'à la route. De plus, les facteurs déclencheurs les plus critiques pour que les blocs se mettent en mouvement étaient des pluies abondantes ou un dégel printanier hâtif et ces périodes possédaient une forte récurrence.

Éléments vulnérables : le chemin concerné est une route nationale où la circulation est importante, même la nuit. Les usagers de la route pouvaient être frappés par un ou des blocs ou encore pouvaient heurter un bloc préalablement tombé.

Risque : l'impact entre un véhicule et un bloc rocheux peut être fortement dommageable et même fatal. Bien que le temps d'exposition soit très court pour un seul véhicule, le risque était néanmoins élevé, lors des périodes de fort aléa, pour l'ensemble des usagers, considérant la forte densité du trafic.

Mitigation : à cause de la géométrie des lieux, il était impossible d'enlever tous les blocs pouvant constituer un danger. Le déplacement de la route en dehors de la zone de vulnérabilité n'étant pas envisageable, seule la diminution de l'aléa demeurerait une option valable. L'étude géotechnique réalisée¹¹ a recommandé l'installation d'une clôture de captage de marque « GEOBRUGG » (figure 45), laquelle est constituée de câbles d'acier et est spécialement conçue pour capter et retenir des blocs d'éboulis de grandes dimensions. Cette méthode constituait une première pour le MTQ et, à notre connaissance, pour tout le Québec. Cette solution a eu pour effet de diminuer à un niveau acceptable la probabilité qu'un usager de la route soit affecté par le danger.

5.3.1.3 Exemple d'intervention au niveau de l'aléa – Cas lié à la géométrie de la pente

Ce cas décrit les travaux d'adoucissement d'une pente située derrière la rue des Bouleaux à La Baie. Cette intervention visait à réduire le niveau de l'aléa.

Danger : le talus argileux derrière la rue des Bouleaux à La Baie était abrupt et avait une vingtaine de mètres de hauteur. L'examen attentif des pentes du secteur a permis

¹¹ A. Drolet 1997. Coulées de débris, Parc des Laurentides. Service de la géotechnique et de la géologie, MTQ. Dossier interne 0169-01-030(024)96.

d'identifier deux fissures majeures derrière une maison : une de traction en crête de talus et une autre de chevauchement près de la base (figure 46). Ces fissures délimitaient une masse instable et constituaient une amorce de glissement de type superficiel. De part et d'autre, des cicatrices montraient que le talus s'était déjà rompu dans le passé.

Aléa : la probabilité qu'un glissement se produise à court terme et affecte les résidences à la base du talus était élevée, car la présence de fissures comme celles observées constituait un indice de stabilité marginale. De plus, les facteurs déclencheurs possédant de fortes occurrences tels la fonte des neiges rapide au printemps accompagnée de pluies soutenues, les orages longs et intenses en été et les pluies continues de l'automne, n'avaient pas besoin d'être aussi intenses qu'auparavant pour que cette amorce de glissement soit réactivée.

Éléments vulnérables : trois maisons, situées en pied de talus, se trouvaient directement dans l'aire d'étalement des débris. Leur vulnérabilité était donc très élevée. La rue et les maisons situées de l'autre côté pouvaient éventuellement être touchées.

Risque : durant les périodes où la probabilité de rupture était élevée et à cause du facteur aggravant que constituait la présence des fissures, le risque était important pour les maisons situées près de la base des talus.

Mitigation : étant donné la présence de terrains vagues au sommet du talus, l'intervention pouvait porter sur la réduction de l'aléa par l'adoucissement de la pente (figure 47) plutôt que sur la modification de la vulnérabilité, ce qui aurait impliqué le déménagement de maisons. L'étude géotechnique¹² a démontré que l'intervention avait pour effet d'obtenir un facteur de sécurité acceptable selon les règles de l'art, ce qui permettait de diminuer l'aléa à un niveau sécuritaire pour les résidents.

5.3.1.4 Exemple d'intervention au niveau de la vulnérabilité et de l'aléa

Ce cas décrit le déménagement de résidences et la construction d'une digue avec fosse de captage derrière la rue Henry-McNicoll à La Baie. En déménageant une douzaine de maisons, cette inter-

¹² Robitaille D., 1997. Étude de stabilité de talus, rue des Bouleaux, La Baie. Service de la géotechnique et de la géologie du MTQ, rapport interne 040(19)97.

vention a permis d'éliminer la vulnérabilité des résidences les plus à risque et leur déplacement a permis d'effectuer des travaux visant à protéger d'autres éléments vulnérables situés plus loin.

Danger : la catastrophe fatale de la rue Henry-McNicoll à La Baie¹³ a été causée par un glissement de terrain de type coulée de boue qui s'est amorcé dans la partie supérieure du talus. Les débris ont heurté de plein fouet la maison située à la base et l'ont déplacée de ses fondations (figure 24). Les talus argileux à cet endroit étaient fortement boisés et leur hauteur était d'environ 55 mètres. L'étude géotechnique¹⁴ a démontré que les dangers de glissement de terrain du même type étaient encore présents pour les talus adjacents.

Aléa : la probabilité qu'un glissement de terrain de même type se produise était élevée car la géométrie des talus adjacents était défavorable. De plus, le talus avait été fragilisé par la présence au sommet d'une importante fissure d'une longueur d'environ 25 mètres et présentant un affaissement de l'ordre du mètre (figure 48), ce qui venait aggraver considérablement la situation. D'autre part, la période de récurrence d'événements potentiellement déclencheurs, comme ceux mentionnés pour le cas précédent, était relativement élevée.

Éléments vulnérables : la zone d'influence des débris en pied de talus incluait deux rangées de maisons et une partie des rues Henry-McNicoll, Simard et Fortin. Le degré de vulnérabilité de ces éléments variait selon leur position par rapport au pied du talus.

Risque : le risque pour la première rangée de maison était élevé dans les périodes de l'année où des facteurs déclencheurs liés aux pluies font augmenter la probabilité d'un événement. Pour les autres maisons, ce risque, bien que présent, était moindre à cause de l'obstacle à l'étalement des débris que formait la première rangée.

Mitigation : le risque étant jugé trop élevé, il fallait absolument entreprendre des mesures de protection. Comme l'option d'éliminer complètement le danger en adoucissant le talus n'était pas acceptable sur les plans économiques et environnementaux, l'intervention devait se faire au niveau de l'aléa ou de la vulnérabilité du site. Une combinaison de ces deux types a donc été choisie. Premièrement, le déménagement de la rangée de maisons située

¹³ Perron, G. Rapport d'enquête du coroner concernant le décès de Mathieu et Andréa Paquet-Garceau. Mars 1998. Bureau du coroner en chef.

¹⁴ Techmat inc., 1997. Étude de stabilité d'un talus, rue Henry-McNicoll, Ville de La Baie, secteur Port-Alfred. Rapport soumis à Ville de La Baie.

directement au pied du talus a permis de diminuer la vulnérabilité du site. Ensuite, pour protéger la rue et la deuxième rangée de maisons qui devenait totalement exposée, il a été proposé de construire, à la place des maisons démenagées, une digue de retenue en enrochement avec fosse de captage (figure 49). Cet ouvrage n'empêche pas un glissement superficiel ou une coulée de boue de se produire, mais permet d'éliminer le risque pour tous les autres éléments à protéger en diminuant la vulnérabilité et l'aléa lié à l'étalement des débris. La figure 50 montre, en plus de la digue, le couloir des débris qui a été régalé et ensemencé.

5.3.1.5 Exemple d'intervention au niveau de la vulnérabilité, de l'aléa et du danger

Ce cas relate le démenagement de maisons avec construction d'un contrepoids pour stabiliser le talus derrière la rue de la Victoire à Chicoutimi. La relocalisation des trois bâtiments les plus vulnérables a permis de réaliser des travaux visant à diminuer le danger pour d'autres éléments à risque situés plus loin.

Danger : le talus argileux situé derrière la rue de la Victoire à Chicoutimi avait dix-huit mètres de hauteur et des pentes très raides d'environ 40 degrés. Lors du sinistre de 1996, les débris d'un décrochement sont venus heurter le mur de fondation d'un bâtiment à logements (figure 51). Ils ont causé des dommages importants à la galerie et se sont étalés dans le stationnement. Ce type de danger était encore présent le long des talus adjacents. Dans la pente, d'anciennes cicatrices de décrochement étaient visibles. De plus, un mur de soutènement en bois était en train de basculer et menaçait le mur arrière d'une maison.

Aléa : la probabilité que le danger survienne était élevée, car la géométrie des talus était défavorable et des signes montrant une stabilité précaire, tels que des sols dénudés de végétation, des terrassettes et des troncs recourbés, étaient présents. De plus, la présence de facteurs aggravants, tels du remblayage en sommet de talus et des excavations au pied de la pente pour permettre la construction de certains bâtiments, venait empirer la situation. D'autre part, la récurrence des facteurs déclencheurs, identiques à ceux des deux cas précédents, étant relativement élevée, l'aléa était considéré très élevé.

Éléments vulnérables : l'étalement des débris d'un éventuel glissement menaçait une série de bâtiments situés juste au pied, les usagers de la rue et les maisons localisées de l'autre

côté. De plus, à cause du remblayage constituant une surcharge en sommet de talus, une maison construite très près de la crête aurait pu aussi subir des dommages.

Risque : durant les périodes où la probabilité est la plus forte et à cause des facteurs aggravants qui augmentaient cette probabilité, le risque était important pour les maisons situées près de la base du talus. Comme dans le cas précédent, il était moins important pour les maisons de l'autre côté de la rue à cause de l'obstacle créé par la première série d'habitations. Le risque était aussi moins important pour la maison au sommet, car elle aurait pu subir des dommages mais n'aurait pas été détruite.

Mitigation: à cause de la diversité des zones vulnérables et des nombreux éléments qui y étaient inclus, il devenait nécessaire d'intervenir pour abaisser considérablement le niveau de risque. Afin de réaliser des travaux de confortement économiquement acceptables, les bâtiments les plus vulnérables ont été déplacés, soit deux maisons unifamiliales et un bâtiment à logements. Cette intervention a permis de construire un contrepoids recouvrant la majeure partie du talus (figure 52), ce qui a eu pour effet de diminuer l'aléa. De plus, les calculs de stabilité¹⁵ ont démontré que ces travaux permettaient d'éliminer les principaux dangers de glissement qui auraient pu affecter tous les éléments essentiels précités.

5.3.2 STABILISATION DES ZONES À RISQUE DE COULÉE ARGILEUSE

Dans le cadre de son mandat de cartographie des zones à risque de glissement de terrain pour cinq municipalités (voir chapitre suivant), le SGG a inventorié les secteurs habités présentant des risques de coulée argileuse. Le danger appréhendé résultait des caractéristiques du milieu mais surtout de l'érosion intense causée lors du sinistre, ce qui a dégradé la stabilité des talus et aggravé considérablement la situation. Des études géotechniques complètes ont été effectuées pour bien caractériser les sites dangereux. Les paragraphes suivants résument brièvement les résultats. Des données plus détaillées sur la longueur des zones confortées et sur les coûts des travaux sont fournies dans le bilan produit par le MENV (Programme de stabilisation des berges et des lits des lacs et cours d'eau).

¹⁵ Les Laboratoires S.L. (1981) inc. 1997. Rapport d'expertise, étude de stabilité, rue de la Victoire, Chicoutimi-Nord. Rapport SL-97G003, soumis à la ville de Chicoutimi.

5.3.2.1 Localisation des secteurs à conforter

Les secteurs pouvant être exposés aux risques de coulée argileuse ont d'abord été identifiés à l'aide de photographies aériennes selon des critères d'ordre géomorphologique (voir le chapitre suivant). La reconnaissance des conditions géologiques et géotechniques prévalant à ces endroits a permis par la suite de définir cinq sites nécessitant des interventions. Les figures 53 et 54 localisent ces secteurs qui sont les suivants :

- ruisseaux Beauchemin et Bluteau (La Baie) ;
- ruisseaux Morissette, Rouge et Bras Droit (La Baie) ;
- ruisseau Benjamin et petits affluents (La Baie) ;
- ruisseau Dufour (La Baie) ;
- méandres de la rivière Couchepaganiche et petits affluents (Métabetchouan).

5.3.2.2 Contextes géomorphologique et géologique

Les ruisseaux à La Baie et les affluents de la Couchepaganiche à Métabetchouan sont de type «ravin» avec des lits étroits en forme de « V » (figure 55). Ils ont des dénivelés comprises entre 10 et 35 mètres et présentent des berges escarpées avec des inclinaisons de l'ordre de 30 à 48 degrés. La pente longitudinale de leur lit est forte. L'épaisseur des dépôts argileux (entre 20 et 70 m) est presque toujours très supérieure à la hauteur des talus, sauf à certains endroits où le roc affleure de façon ponctuelle dans le lit des ruisseaux. Les bassins de drainage sont de forme dendritique, ce qui est typique des cours d'eau qui se développent sur une plaine argileuse (figure 56). La nature peu perméable des sols argileux engendre plus de ruissellement et moins d'infiltration. C'est ce qui explique en partie que ces ruisseaux ont de bons débits malgré leur forme étroite (tableau IV). Sur les photos aériennes, les cicatrices de grandes coulées argileuses qui se sont produites le long et à la tête de ces ravins sont bien visibles (figure 57).

Le long de la rivière Couchepaganiche, les pieds des talus dans la portion concave des méandres ont été très touchés par l'érosion provoquée par les pluies de juillet 1996. Dans le secteur du 2^e Rang, les talus ont une hauteur de 30 mètres environ. L'épaisseur des dépôts argileux est toujours de beaucoup supérieure à la hauteur des talus car le roc n'affleure dans le lit de la rivière que près du 3^e Rang. Les berges ont des portions de pente dont l'inclinaison est supérieure à

45 degrés sur quelques mètres de hauteur. Les photos aériennes de ce secteur montrent aussi des cicatrices d'anciennes coulées argileuses associées aux talus de la rivière.

5.3.2.3 Contexte géotechnique

Les résultats des sondages et des analyses en laboratoire sur certains des échantillons de sol prélevés indiquent que l'argile est très raide et très sensible. La forte consistance des sols à l'état intact explique les pentes fortement inclinées des talus. Cependant, malgré leur résistance très élevée à l'état intact, ces matériaux argileux peuvent se comporter comme un liquide plus ou moins visqueux lorsqu'ils sont remaniés (figure 26). Un premier glissement rotationnel dans ce type d'argile sensible peut alors dégénérer en coulée argileuse, si toutes les conditions nécessaires sont réunies.

Le croquis de la figure 58 et les données de la figure 59 montrent un exemple de site à risque de coulée argileuse et les investigations nécessaires à la caractérisation du contexte géotechnique. Dans cet exemple typique, le ravin profond et escarpé présente des pentes de stabilité marginale (talus très abrupts dénudés par l'érosion). Les nids de piézomètre installés pour mesurer les pressions d'eau souterraine dans le massif argileux ont enregistré des conditions artésiennes au niveau du lit du ruisseau (figure 59), ce qui était à prévoir à cause de la forme étroite et profonde du ravin. Ces gradients de pied sont très néfastes pour la stabilité globale du talus et favorisent le développement de surface de rupture profonde. La stratigraphie des sols et la localisation de la couche d'argile sensible montrent qu'il n'y a aucun obstacle géologique à la rétrogression potentielle d'une coulée argileuse et que l'argile sensible s'étend jusque sous les zones habitées. À cet endroit, tous les facteurs étaient réunis pour qu'une coulée argileuse d'envergure se développe. Des conditions semblables ont été observées à tous les sites qui furent confortés.

5.3.2.4 Dommages causés par l'érosion

L'érosion provoquée par la crue liée aux pluies a eu un impact majeur sur la stabilité des talus. Comme l'illustre la figure 60, même si l'érosion du pied d'un talus est mineure, son effet sur le facteur de sécurité de la pente peut être majeur car elle amène celle-ci vers un état de stabilité

marginale. Dans un tel cas, des modifications normales aux conditions d'eau souterraine (variations saisonnières, par exemple) peuvent conduire à une rupture.

Les figures 61 à 67 illustrent l'évidence des dommages dans les zones qui ont été confortées. Dans la plupart des cas, seul le pied du talus a été touché mais, à certains endroits, toute la pente a été affectée. Au site du ruisseau Dufour et dans certains petits affluents, même le lit des ruisseaux s'était creusé. Tous les sites confortés présentaient des marques d'érosion récente, ce qui constituait un facteur aggravant majeur.

5.3.2.5 Dangers appréhendés et aléa

À tous les sites confortés, trois types de glissement de terrain pouvaient se produire. Premièrement, à cause des talus très escarpés, les glissements superficiels constituaient un danger fréquent. La surface du terrain devenait alors dénudée de végétation et soumise de façon encore plus sévère à l'altération. Les débris se retrouvant dans le cours d'eau étant facilement entraînés, le processus de dégradation pouvait se maintenir. Cependant, à cause de leur plan de rupture peu profond, ces glissements n'occasionnaient pas ou peu de rétrogression et ne représentaient donc pas de danger pour les résidents au sommet.

Deuxièmement, les berges des cours d'eau étaient marquées de nombreuses cicatrices de glissements rotationnels récents et anciens, ce qui constituait un indice du type de danger à appréhender. Lors des crues, l'érosion avait engendré des talus très abrupts. Combiné à la présence de conditions d'eau souterraine très défavorables, ce contexte laissait craindre des ruptures profondes pouvant mener alors à de fortes distances de rétrogression en sommet de talus. La probabilité que surviennent des glissements rotationnels était considérée très élevée, en raison de la susceptibilité des sites et de la précarisation des pentes à la suite des événements de juillet 1996.

Troisièmement, à tous les endroits confortés, les investigations de terrain avaient démontré que toutes les conditions étaient réunies pour l'apparition de coulée argileuse, dont la principale était la présence d'argile sensible. Considérant la distance de rétrogression mesurée sur photographies aériennes pour les anciennes cicatrices, on pouvait anticiper des valeurs pouvant atteindre jusqu'à 350 mètres à certains endroits. La compilation des événements historiques (tableau I) montrait que l'aléa pour ce type de mouvement de terrain était élevé dans la région.

5.3.2.6 Éléments vulnérables

À cause du danger de coulée argileuse, le nombre d'éléments vulnérables inclus dans les zones à risque était considérable. Le tableau III donne une évaluation par secteur du nombre d'éléments importants qui se retrouvaient dans les zones d'influences de ce type de glissement.

5.3.2.7 Solutions retenues pour sécuriser les lieux

Les éléments vulnérables n'étant menacés que par des glissements rotationnels et des coulées argileuses, les interventions ont été orientées en fonction de ces dangers. Les glissements superficiels ont été négligés car, ne pouvant se produire que dans les pentes, leurs conséquences au sommet ne pouvaient être préjudiciables.

Les coulées argileuses étant reconnues pour se développer après une première rupture¹⁶, l'approche conventionnelle consiste à augmenter la stabilité des pentes contre le risque d'un premier glissement rotationnel profond. La méthode de protection utilisée visait à éliminer la source de dégradation de la stabilité des talus que constitue l'érosion et à augmenter le facteur de sécurité à un niveau acceptable. L'envergure de l'intervention était fonction de l'état de précarité du talus, de la nature des éléments à risque et des conséquences d'un glissement.

Aux endroits où la probabilité de glissement rotationnel était élevée, la protection contre l'érosion s'est accompagnée d'une stabilisation avec un contrepoids. Lorsque le danger à court terme était moins probable mais où l'état de précarité risquait de s'aggraver avec le temps, l'intervention ne visait que l'élimination de la dégradation des talus par une protection contre l'érosion.

La figure 68 montre une coupe type des interventions effectuées dans les ruisseaux en « V ». Comme le lit du cours d'eau se creusait et que les points d'érosion variaient rapidement d'un côté à l'autre du ruisseau ou affectaient parfois l'ensemble du lit (voir photos 65 et 66), l'intervention devait être réalisée en continu. D'autre part, la géométrie des lieux a influencé fortement le dimensionnement final des travaux. En effet, l'étroitesse du lit a obligé le rehaussement du niveau

¹⁶Lefebvre, G. 1996. Soft sensitive clays. Dans « Landslides : investigation and mitigation », Special Report 247, Transportation Research Board, p. 607-619

d'empierrement afin d'uniformiser le design et de permettre la circulation de la machinerie lourde. Le facteur de sécurité finalement obtenu (1,3 à 1,5) a pu être, à de nombreux endroits, plus élevé que celui recherché initialement à cause de ces considérations d'ordre géométrique.

La pose d'un mélange de matériaux végétaux sur les versants des contrepoids au-delà de la section d'écoulement du ruisseau (récurrence 25 ans) a permis de donner un cachet plus naturel aux lieux confortés. Ce mélange a été préparé par la ville de La Baie, en collaboration avec le MENV, avec les sols en place et des résidus boueux provenant des rejets de l'usine Stone Consolidated de l'endroit. Les photos de la figure 69 illustrent les travaux de stabilisation pendant et après leur construction.

La figure 70 illustre la forme d'un contrepoids avec protection contre l'érosion, tel qu'il a été installé à divers sites le long de la rivière Couchepaganiche. Comme il s'agissait d'un cours d'eau majeur, seules des interventions ponctuelles ont été réalisées dans les méandres problématiques. À ces endroits, des excavations ont dû être pratiquées sur la plaine alluviale opposée pour conserver la section hydraulique. Comme l'érosion n'avait pas été proportionnellement aussi sévère que pour les ruisseaux en « V », le but de l'intervention était de redonner à la pente le profil qu'elle pouvait avoir il y a de nombreuses années. Ainsi, le design final visait à stopper le processus d'érosion et à augmenter d'environ 15 % à 30 % le facteur de sécurité des talus. Cette augmentation a été jugée suffisante puisque ces talus avaient assurément connu antérieurement des conditions piézométriques très défavorables sans enregistrer de rupture.

Les pierres formant les protections contre l'érosion ont été calibrées par la Direction des structures du MTQ en fonction des conditions hydrauliques des cours d'eau pour des périodes de récurrence de 25 ans. Les plans et devis complets ont été réalisés par le SGG ainsi que la supervision générale des travaux sur le chantier. Ces derniers ont été effectués en régie par les municipalités concernées avec le soutien et les budgets du *Programme de stabilisation des berges et des lits des lacs et cours d'eau* du ministère de l'Environnement. Les figures 71 à 75 localisent de façon détaillée les zones confortées. Au total, la longueur des zones confortées à La Baie fut d'un peu plus de 10 kilomètres et de 650 mètres à Métabetchouan.

5.3.2.8 Contre-expertises des études du SGG

Vu l'ampleur et les coûts des travaux, des experts externes ont été mandatés par le gouvernement du Québec pour valider la nécessité des interventions et les designs des contrepoids conçus par les ingénieurs du SGG. La contre-expertise pour les ruisseaux à La Baie a été effectuée par l'Institut Norvégien de Géotechnique (NGI)¹⁷, qui est lui aussi confronté à des dangers de coulée argileuse dans son pays. Celle de la rivière Couchepaganiche à Métabetchouan a été effectuée par le professeur Guy Lefebvre de l'Université de Sherbrooke¹⁸. Dans les deux cas, les contre-expertises ont appuyé les études du SGG.

¹⁷ Karlsrud, K et Lacasse, S., 1998. Review of landslide risk assessment and remedial measures in La Baie. Rapport du Norwegia Geotechnical Institute soumis au ministère des Transports, Service de la géotechnique et de la géologie.

¹⁸ Lefebvre, G. 1998. Examen des conditions de stabilité des talus dans les secteurs Métabetchouan et Ruisseau Rouge. Rapport interne soumis au Service de la géotechnique et de la géologie, MTQ.

5.3.2.9 Présentations aux citoyens

Avant le début des travaux de chantier, de nombreuses rencontres avec les citoyens et les élus municipaux ont été organisées par les municipalités concernées pour que les ingénieurs du SGG donnent de l'information sur les interventions prévues et répondent aux questions des citoyens.

6. CARTOGRAPHIE DES ZONES À RISQUE

6.1 GÉNÉRALITÉS

À la suite de la destruction de leur habitation par le sinistre de juillet 1996, de nombreux citoyens devaient être relocalisés dans des zones sécuritaires. Lors de rencontres avec le BRR, des recommandations temporaires furent transmises aux municipalités par le SGG (voir le chapitre sur les travaux d'urgence). De plus, les municipalités furent invitées à communiquer avec le SGG pour des besoins urgents de relocalisation liés à l'événement. Cependant, l'inventaire de la situation concernant la stabilité des talus dans l'ensemble de la région démontrait que de nombreux secteurs avaient été fragilisés lors de la catastrophe de juillet 1996, comme mentionné précédemment. Devant cet état de fait, cinq municipalités (Desbiens, Hébertville, Métabetchouan, L'Anse-Saint-Jean et La Baie) exprimèrent au BRR leur désir d'obtenir des cartes délimitant les zones exposées aux glissements de terrain. Étant donné son expertise dans le domaine de la stabilité des pentes et l'absence d'expertise ailleurs, le SGG se vit confier le mandat de réaliser ces cartes.

Seule la municipalité de La Baie possédait une carte de risque de glissement de terrain faite par le MRN¹⁹. Cependant, les pluies exceptionnelles de juillet eurent comme conséquence la modification et le déplacement du lit de nombreux cours d'eau. Ceci amena la formation de nouveaux talus et la précarisation de ceux existants. Dès lors, la carte du MRN n'était plus à jour et la municipalité se retrouvait dans la même situation que ses consœurs. Pour leur part, les municipalités de Desbiens, Hébertville et Métabetchouan (MRC du Lac-Saint-Jean Est) possédaient uniquement une carte incluse au schéma d'aménagement, où la localisation des aires à risque de glissement de terrain était incomplète. Pour ce qui est de la municipalité de L'Anse-Saint-Jean, elle ne possédait aucune carte de zonage de ce type.

Entre juillet 1996 et février 1999, la priorité fut accordée aux mesures d'urgence et aux travaux de mitigation et de stabilisation. Par conséquent, la cartographie ne débuta que de façon sporadique seulement. Cependant, les études géotechniques et les données de sondage obtenues des autres mandats purent être récupérées pour la cartographie.

¹⁹ Dion D.J. 1986. Op. cit.

6.2 DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA MÉTHODE DE CARTOGRAPHIE

La méthode de cartographie utilisée par le SGG est basée en majeure partie sur l'expérience de l'ancien Service de géotechnique du MRN²⁰ qui avait reçu le mandat, entre 1971 et 1983, de cartographier les zones à risque de glissement de terrain.

La première étape consiste à élaborer tout d'abord une carte des informations de base sur laquelle toutes les données géologiques et géotechniques existantes sur le territoire sont compilées. Deuxièmement, on élabore une carte des dangers sur laquelle sont identifiés tous les types de glissement de terrain s'étant produits sur le territoire. À partir des informations des deux étapes précédentes, on peut élaborer une carte d'aléas, laquelle permet de classer les zones de façon qualitative selon le degré de probabilité qu'il y survienne un glissement de terrain.

Les cartes jadis produites par le MRN s'arrêtaient à cette étape. En s'inspirant des travaux de Einstein²¹, le SGG a décidé de produire une carte supplémentaire qui classe les zones par catégories de contraintes. Cette carte supplémentaire permet de vulgariser l'information technique et facilite l'application réglementaire du zonage pour les municipalités.

6.3 ÉTAPES POUR LA CARTE DES INFORMATIONS DE BASE

Toutes les données géologiques existantes sont compilées pour la municipalité concernée. Premièrement, les informations pertinentes contenues dans les rapports géologiques du MRN concernant la nature du socle rocheux sont synthétisées. La connaissance de cette information est importante car elle permet de faire une meilleure planification des travaux d'investigation. Par exemple, le nombre de sondages requis sera moins élevé pour les secteurs reposant sur de la roche sédimentaire, dont la topographie est régulière, que pour ceux sus-jacents au socle précambrien dont le relief est extrêmement irrégulier. D'autre part, il est essentiel d'identifier tous les affleurements rocheux existant sur le territoire étudié, car ceux-ci sont des obstacles à la progression d'un glissement de terrain.

Par la suite, l'identification des dépôts meubles se fait à partir des cartes existantes et est complétée par photo-interprétation et des vérifications de terrain. Ceci constitue une étape importante car

²⁰ Lebuis, J. *et al.*, 1983. Op. cit.

²¹ Einstein, H.H., 1997. Landslide Risk Assessment. Proceeding of the international workshop on landslide risk assessment, Honolulu, Hawaii, USA, 19-21 février 1997.

les critères de délimitation des classes de pente (voir au point suivant) varient selon la nature des sols et les conditions géologiques régionales. De plus, certains dangers sont associés à un type de dépôt meuble en particulier. C'est le cas, par exemple, pour les coulées argileuses qui se produisent seulement dans les dépôts argileux. Lors de cette étape, les résultats de sondages existants effectués par divers organismes sur le territoire sont également compilés. Ceux-ci permettent de valider la cartographie des dépôts meubles et de planifier adéquatement les sondages supplémentaires requis pour compléter la cartographie.

6.4 ÉTAPES POUR LA CARTE DES DANGERS

La première étape pour élaborer cette carte consiste à identifier les types de glissement de terrain appréhendés dans un secteur donné. Cette opération se réalise généralement par l'analyse stéréoscopique de photographies aériennes. On localise ainsi les cicatrices d'anciens glissements de terrain. De plus, en utilisant des couvertures de plusieurs années, on cherche à savoir si les conditions ayant déclenché antérieurement des glissements de terrain sont encore actives actuellement. On peut aussi connaître la répartition des différents types de glissement de terrain et déterminer qualitativement l'aléa. Dans le cas présent, cette étape a bénéficié de l'apport supplémentaire qu'a constitué l'inventaire des glissements de terrain du CGQ. L'ensemble de ces données permet, à l'aide de la géomorphologie, d'identifier ou de valider les types de dépôts meubles et de révéler certaines propriétés géotechniques du dépôt. Par exemple, des cicatrices d'anciennes coulées argileuses dans un secteur indiquent la présence d'argile sensible dans les environs immédiats.

Ensuite, divers éléments géomorphologiques constituant des facteurs prédisposants ou limitatifs aux glissements de terrain sont identifiés. On cherche à détecter les endroits où l'érosion des talus par les cours d'eau est active. Ces points d'érosion sont généralement les amorces de différents types de glissement de terrain. À cause de son action récurrente, l'érosion est le principal facteur de précarisation des talus. À l'opposé, la présence de plateaux en pied de talus, que l'on nomme « plaine alluviale », joue un rôle stabilisateur. Les plaines alluviales qui sont suffisamment élevées pour contrer l'érosion directe du pied des talus sont considérées comme des éléments limitatifs à certains types de danger. Ainsi, la majorité de ces pentes ne pourra subir de façon naturelle que des glissements superficiels ou des décrochements. Les points d'érosion et les plaines alluviales sont déterminés, en milieu habité, par une visite de terrain et à l'aide des photographies aériennes pour les zones non habitées.

Les glissements étant essentiellement des phénomènes gravitaires, ils se déclenchent de façon naturelle dans les terrains en pente. La localisation des talus sur le territoire concerné représente donc l'élément de base de la cartographie des zones exposées aux risques de glissement de terrain. Pour les besoins de la cartographie, un talus est défini comme étant un terrain en pente d'une hauteur de 5 mètres ou plus, présentant une inclinaison de 14° (25 %) ou plus. Si une partie de terrain, dont l'inclinaison est inférieure à 14° (25 %), est située entre deux parties plus fortement inclinées, elle est considérée comme faisant partie du talus, à moins que sa largeur soit supérieure à 10 mètres.

L'inventaire des dangers permet de fixer les limites géométriques naturelles des talus à risque. Lors des pluies de juillet 1996, aucun glissement ne s'est produit dans des pentes constituées de sol argileux dont l'inclinaison était inférieure à 22° (40 %). Cette valeur constitue donc la limite inférieure pour laquelle un talus commence à présenter des dangers naturels en terrain argileux. Cette classe de pente est appelée « pentes fortes ».

Cependant, les talus dont la pente est plus faible peuvent néanmoins être affectés par des glissements de terrain si des interventions néfastes d'origine humaine surviennent. Par exemple, l'excavation au pied du talus pour l'agrandissement d'un terrain joue un rôle identique à l'action érosive d'un cours d'eau et peut déclencher un glissement de terrain. Par conséquent, une autre classe de talus a été définie pour inclure ces secteurs. Cette classe, appelée « pentes modérées », comprend les talus dont l'inclinaison varie entre 14° et 22° (25 % à 40 %). Ces critères s'appliquent aux sols argileux. Pour les autres types de matériaux, des critères légèrement différents sont utilisés.

C'est à partir de cartes à grande échelle (1 : 10 000) avec des courbes de niveau topographique rapprochées (2,5 ou 3 m) que les pentes sont déterminées. Ces cartes existent au Service de la cartographie du MRN pour les régions les plus densément peuplées du Québec. Dans le cas où les cartes topographiques ne seraient pas disponibles, l'inventaire des pentes est obtenu par l'interprétation stéréoscopique des photographies aériennes récentes à l'échelle 1 : 15 000 avec des mesures de contrôle sur le terrain.

De plus, sur la carte d'information de base, l'intensité du ravinement est indiquée par des symboles et divisée en trois catégories, soit les ravins dont la hauteur est comprise entre 5 et 15 m, ceux entre 15 et 40 m et ceux présentant une hauteur supérieure à 40 m. Ceci permet une

visualisation rapide de la hauteur des talus et a pour but de simplifier l'application des normes réglementaires.

Les zones exposées aux risques de coulée argileuse sont les zones les plus délicates à identifier. Les cicatrices de coulée argileuse anciennes sont de bons indicateurs de la présence d'argile sensible dans un secteur. Cependant, l'absence de cicatrice dans le paysage ne signifie pas automatiquement l'absence d'argile sensible, puisque de nombreux facteurs doivent être réunis simultanément pour que se produise ce genre de mouvement de terrain. Par conséquent, en zones habitées, il est nécessaire d'effectuer des expertises plus détaillées afin de préciser le contexte géologique, géomorphologique et géotechnique des lieux. Entre autres, des sondages et de l'échantillonnage sont nécessaires pour déterminer la nature des sols et leurs propriétés mécaniques.

Pour compléter l'identification des dangers, des visites de terrain sont nécessaires pour recueillir de l'information sur l'état des lieux. Des détails concernant la géométrie particulière du terrain, la présence d'indices sur la stabilité de la pente (par exemple, la présence de fissures dans le sol, de déformations du terrain, de zones dénudées, d'érosion active, etc.) doivent être notés pour statuer sur la stabilité d'un terrain. La compilation de toutes les inspections effectuées depuis juillet 1996 dans la région concernée apparaît sur la carte des dangers. Ceci comprend toutes les inspections d'urgence réalisées par le SGG et les études géotechniques détaillées pour évaluer s'il y avait du danger pour les citoyens. Ces investigations ont été complétées par les visites de terrain accomplies à l'été 1999 à Desbiens, Hébertville, Métabetchouan, La Baie et L'Anse-Saint-Jean. Les observations de terrain faites par le CGQ en 1997 à La Baie et à L'Anse-Saint-Jean ainsi qu'à l'été 1998 à Hébertville, sont aussi utilisées. Toutes ces données de terrain permettent de caractériser le danger et l'aléa dans les secteurs habités. Finalement, l'ensemble des travaux de confortement qui ont été réalisés sur la totalité du territoire apparaît sur cette carte, c'est-à-dire les interventions qui ont été exécutées sur le bord du lac Saint-Jean par l'Alcan, les interventions ponctuelles d'urgence faites par le MTQ, le MENV ou les municipalités à la suite des pluies de juillet 1996, les protections linéaires servant de protection contre les risques de coulée argileuse, ainsi que les stabilisations et les protections contre l'érosion. Ces interventions éliminent certains dangers, diminuent l'aléa et modifient les contraintes.

6.5 CARTOGRAPHIE DES ALÉAS

Cette partie est la plus complexe. Les données des cartes précédentes sont analysées et synthétisées pour associer au danger le degré de probabilité qu'il survienne. Cette opération est systématisée à l'aide d'un arbre de décision (figure 76) élaboré par le SGG, en collaboration avec des experts norvégiens²². Bien que l'arbre de décision rende le travail de zonage plus méthodique, il ne peut se substituer au jugement de l'ingénieur, lequel peut poser un diagnostic différent dans des conditions particulières. De plus, son utilisation doit s'accompagner de l'analyse systématique du risque telle que présentée au chapitre sur les mesures de mitigation.

Dans le cas présent, cinq classes d'aléas ont été définies. Les trois premières permettent de classer le zonage dans les talus à pentes fortes ou modérées. Les classes et les critères les définissant sont les suivants.

Zone à probabilité élevée (ZPE) : talus à pente forte présentant des signes majeurs d'instabilité ou subissant des processus d'érosion lors de la cartographie (figures 77 et 78). Dans ces zones, la stabilité du talus se dégrade continuellement et l'apparition d'un glissement de terrain est fortement probable sans que l'on puisse cependant en fixer l'échéance.

Zone à probabilité moyenne (ZPM) : talus à pente forte ne présentant aucun signe d'instabilité ainsi qu'aucun processus d'érosion lors de la cartographie (figure 79). Dans ces zones, la stabilité du talus ne se dégrade pas (ou très peu) en fonction du temps, mais elle peut varier en fonction des conditions météorologiques. Une combinaison de facteurs particuliers (ex. : pluie abondante et fonte printanière rapide) ou un événement majeur (ex. : pluies de juillet 1996) peuvent constituer des facteurs déclencheurs. L'apparition d'un glissement de terrain est donc liée à la probabilité que surviennent de tels événements particuliers.

Zone à probabilité faible (ZPF) : talus à pente modérée où aucun glissement d'origine naturelle ne devrait survenir, à moins de conditions très exceptionnelles telles un tremblement de terre d'extrême amplitude. Bien qu'ils soient stables à long terme, des aménagements dans ces talus ou à proximité pourraient provoquer des glissements de terrain (figure 80). C'est pourquoi des précautions particulières sont nécessaires pour utiliser ces terrains.

²² Karlsrud, K. et Lacasse, S., 1998. Op.cit.

Pour ces trois premières classes, la zone à risque comprend le talus lui-même et une bande au sommet et à la base de celui-ci. Ces bandes peuvent être affectées par des glissements de terrain et sont sensibles aux interventions humaines qui pourraient constituer un facteur déclencheur. Leurs dimensions sont basées sur les résultats de l'inventaire des glissements de terrain de 1996 au Saguenay – Lac-Saint-Jean par le CGQ ainsi que sur l'expérience du MTQ et de l'ancien Service de géotechnique du MRN.

Les données de l'inventaire de 1996 ont permis d'établir des relations statistiques détaillées concernant les dimensions de la bande de protection. La figure 81 montre le pourcentage des glissements de terrain dont l'étalement des débris a dépassé une distance donnée qui est exprimée en fonction de la hauteur du talus. On peut voir que 60 % des glissements ont eu des débris qui ont dépassé une distance correspondant à la moitié de la hauteur du talus. Pour une dimension égale à deux fois la hauteur du talus, seuls 2 % des glissements ont eu des débris s'étalant au-delà de cette limite. Il s'agit cependant de cas où la liquidité des matériaux remaniés était très élevée, ce qui signifie que leur impact est minime.

Bien que la probabilité d'être touché par les débris diminue rapidement en fonction de la distance d'éloignement du pied du talus, la vulnérabilité des éléments situés dans cette zone n'évolue pas selon la même distribution. Par exemple, une résidence bâtie à une fois la hauteur du talus est pratiquement aussi vulnérable qu'une autre située plus près du pied si elle est touchée par les débris. La largeur de la bande de protection a donc été fixée à deux fois la hauteur du talus, puisque les éléments situés dans cette zone sont presque tous autant vulnérables. Au-delà de cette distance, les débris sont très liquides. Par conséquent, le risque devient extrêmement faible.

Les deux dernières classes identifient les terrains où pourrait se développer un grand glissement de terrain de type « coulée argileuse » si les conditions nécessaires étaient réunies. Il s'agit généralement de terrains plus ou moins plats situés à l'arrière des talus précédemment identifiés.

Zone à risque de coulée argileuse (ZRCA) : cette zone inclut une bande située au sommet du talus à l'arrière des ZPE en bordure des cours d'eau; elle est caractérisée par la présence probable ou confirmée (en zone habitée) d'argile sensible (figure 82). Un glissement rotationnel profond dans le talus pourrait amorcer une coulée argileuse. À cet endroit, l'évaluation de la distance de rétrogression probable est basée sur la

comparaison des cicatrices de coulées argileuses adjacentes, telle qu'elle est définie dans la méthodologie du MRN²³.

Zone à risque de coulée argileuse hypothétique (ZRCAH) : cette zone inclut une bande située au sommet du talus à l'arrière de terrain à pente forte ou modérée; elle est caractérisée par la présence confirmée ou probable d'argile sensible. Un glissement rétrogressif majeur ne pourrait survenir que si des conditions exceptionnellement défavorables étaient réunies. L'évaluation de la rétrogression probable est basée sur la dimension des plus grandes cicatrices de coulée argileuse dans le secteur concerné. Cette zone circonscrit donc toutes les autres aux endroits où elle existe.

Les objectifs visés par l'identification de ces deux dernières classes d'aléas sont différents. Dans le premier cas, il est important de tenir compte de la délimitation de ces zones dans la gestion quotidienne du territoire pour éviter les développements dans une zone dangereuse. Dans le cas de la dernière classe, l'identification de cette zone permet d'avoir une meilleure connaissance du territoire pour la gestion en cas de sinistre majeur. Les cas d'érosion violente qu'ont subi les rivières Chicoutimi et aux Sables illustrent bien cette problématique. Avant la crue, ces talus ne présentaient pas le même type de danger. Cependant, le périmètre de sécurité à définir temporairement en bordure d'un talus nouvellement érodé, comme celui montré à la figure 7, peut être de dimension variable dépendant de la présence ou non d'argile sensible.

6.6 CARTE DES CONTRAINTES À L'AMÉNAGEMENT

Les cartes de contraintes à l'aménagement permettent d'uniformiser les classes d'aléa puisque certaines d'entre elles nécessiteront la même réglementation. Ainsi, toutes les pentes fortes, qu'elles soient à probabilité élevée ou moyenne, devront être réglementées de façon plus sévère puisque le danger de glissement de terrain existe de façon naturelle. Par conséquent, elles seront réunies dans une même classe de contrainte. Toutefois, leur distinction sur la carte des aléas est nécessaire puisqu'elle permet d'identifier où sont les zones à risque de coulée argileuse et qu'elle peut faciliter le choix de la méthode de mitigation si cela s'avère nécessaire.

²³ Lebuis, J. *et al.*, 1983. Op. cit.

Dans le cas des pentes modérées, elles seront regroupées dans une autre classe puisque seules les interventions de nature anthropique sont susceptibles d'engendrer des glissements. Il faudra donc prendre des précautions pour régir les interventions humaines dans ces zones, mais les contraintes pourraient être moins sévères que dans le cas précédent.

Pour les ZRCA, des contraintes similaires à celles pour les ZPE et les ZPM devront s'appliquer pour les interventions où la vie humaine peut être menacée. Par contre, les ZRCAH ne seront pas régies et ne seront identifiées que pour permettre aux municipalités de mieux gérer les zones à risque de glissement de terrain sur leur territoire lors de situations d'urgence. Elles pourront ainsi mieux cibler les secteurs à risque de coulée argileuse.

7. RETOMBÉES DE L'EXPERTISE

7.1 NOUVELLES CONNAISSANCES TECHNIQUES

Les événements de juillet 1996 ont suscité de nombreux questionnements concernant la stabilité des talus. L'inventaire des glissements de terrain de 1996 et l'analyse de photographies aériennes anciennes, ainsi que les campagnes de sondages entrepris pour la cartographie des zones à risque, ont permis d'élargir notre champ de connaissances dans le domaine des mouvements de terrain dans les sols argileux.

7.1.1 DONNÉES DE L'INVENTAIRE

Du dépouillement des données des inventaires historiques et de 1996²⁴, ainsi que des investigations de terrain, on retiendra les éléments suivants.

- **Les glissements superficiels** : bien que ce type de glissement était connu auparavant, il était néanmoins beaucoup moins documenté dans la littérature géotechnique au Québec à cause de ses dimensions généralement restreintes. Les données historiques du CGQ ont clairement montré que ce type de glissement était très fréquent, plus particulièrement au printemps. En outre, les événements de juillet 1996 prouvent que ces glissements peuvent survenir en très grand nombre même en été lors de très fortes pluies, ce qui n'avait jamais été observé auparavant avec autant d'ampleur. De plus, l'analyse de photographies aériennes dans la région de La Baie a permis de constater que ces glissements pouvaient se produire au même endroit à des intervalles d'une dizaine d'années sur des versants en pâturage, mais que le reboisement pouvait diminuer substantiellement la susceptibilité des pentes. D'autre part, les conséquences de ces glissements indiquent qu'il faut les traiter comme un danger majeur, même si le volume des débris est la plupart du temps restreint. En effet, l'impact du sol boueux sur les divers éléments est souvent suffisamment violent pour créer de forts dommages. À ce titre, les données de l'inventaire concernant l'étalement des débris en pied de talus constituent un apport majeur dans la gestion du risque. Alors que les compilations antérieures suggéraient une bande de protection égale à une demi-fois la hauteur du talus²⁵, il a été montré que la

²⁴ Perret D. et C. Bégin, 1997. Op. cit.

²⁵ Lebuis *et al.*, 1983. Op. cit.

distance d'étalement pouvait atteindre deux fois cette hauteur, ce qui constitue une nette amélioration à la définition du danger. Les travaux de zonage devront dorénavant tenir compte de ces données.

- **Les coulées de boue** : ce phénomène était mal connu car il n'avait jamais fait l'objet d'attention particulière dans la littérature géotechnique québécoise. Bien qu'il reste encore beaucoup à comprendre sur ce processus particulier, sa reconnaissance en tant que type de glissement distinctif aidera à mieux définir les types de danger potentiel dans nos versants argileux au Québec. Pour l'instant, on sait que les sites les plus à risque sont les longues pentes concaves au sommet abrupt. Même si la distance d'étalement des débris demeure en deçà de la limite générale définie pour l'ensemble des glissements inventoriés, leur impact est cependant encore plus violent, ce qui rend les éléments à risque d'autant plus vulnérables.
- **Les glissements rotationnels** : comme ces glissements se produisent dans la très grande majorité des cas en bordure des cours d'eau lors des crues printanières et automnales, la distinction exacte entre le rôle joué par l'érosion et les pluies, comme facteur déclencheur, a toujours été ambiguë. Les événements de juillet 1996 ont clairement montré que plusieurs de ces glissements ont eu comme seule amorce l'infiltration des pluies dans le sol. Ce phénomène est facilement compréhensible pour les décrochements où la surface de rupture est relativement peu profonde, et donc plus sensible à la variation des conditions d'eau souterraine superficielle. Cependant, l'apparition de glissements le long de surfaces de rupture très profondes demeure intrigante. Puisque les conditions d'eau souterraine en profondeur, dans un sol argileux homogène, n'ont pas le temps de changer dans un laps de temps aussi court que celui de juillet 1996, des conditions particulières doivent exister pour que la rupture soit initiée. Bien que peu d'information soit disponible à ce jour, les ruptures observées dans de tels cas semblent contrôlées par la présence de couches stratifiées inclinées en direction de la pente. La reconnaissance de telles conditions à un site lors d'une étude géotechnique devrait dorénavant susciter encore plus de précaution.
- **Les coulées de débris** : ce type de glissement n'ayant pas bénéficié d'un inventaire comme celui réalisé par le CGQ pour les glissements en terrain argileux, les connaissances en ce domaine ont moins progressé. Les cicatrices visibles sur les quelques photographies aériennes prises le long des axes routiers dans le parc des Laurentides nous indiquent qu'elles se sont produites en grand nombre, qu'elles ont atteint des longueurs de plusieurs centaines de mètres (maximum observé : 700 mètres) et qu'elles sont très menaçantes pour la circulation routière

lors des longues périodes de pluie intense. L'analyse plus détaillée des données météorologiques pourra éventuellement nous aider à mieux gérer ce risque pour le trafic en région montagnaise. De plus, l'identification de la possibilité d'éboulis ultérieur de blocs rocheux situés dans la cicatrice du glissement permet de mieux définir la nature du danger. À ce titre, l'utilisation de clôtures spéciales de marque GEOBRUG a constitué une première.

7.1.2 DONNÉES DES SONDAGES

Les nombreuses investigations de terrain pour les travaux de cartographie ont permis d'accumuler des données essentielles sur le phénomène des coulées argileuses. Premièrement, leur mode de rupture et leur processus d'apparition sont de toute évidence plus complexes que les modèles actuellement disponibles^{26,27,28}. Aucune explication n'a pu être trouvée pour l'instant concernant l'absence de coulée argileuse lors du sinistre, malgré les nombreux sites où toutes les conditions nécessaires à leur apparition étaient réunies.

Dans la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean, toutes les observations montrent que le processus de développement des coulées argileuses respecte le modèle actuel d'une rétrogression par ruptures circulaires successives. Cependant, la distance potentielle de rétrogression demeure un aspect difficilement prévisible qui nécessitera des études ultérieures.

Deuxièmement, l'étude des anciennes cicatrices de coulées argileuses a permis de mieux définir les zones à risques. Ainsi, les conditions d'apparition des coulées argileuses, pour la région du Saguenay–Lac-Saint-Jean, sont mieux connues qu'auparavant. En effet, le rapport entre le poids des terres et la résistance au cisaillement des argiles intactes ($\gamma H/c_u$) a pu être précisé par la réalisation de nombreux sondages au piézocône. Des valeurs aussi faibles que 3,0 ont été trouvées, ce qui a pour conséquences l'identification de nouvelles zones à risque et une meilleure circonscription de celles-ci relativement aux travaux de l'ex-Service de géotechnique du MRN. D'autre part, l'observation d'immenses cicatrices à la tête des ravins et l'identification de plan de rupture perché beaucoup plus haut que le fond des cours d'eau, a permis de mieux identifier les zones de danger. De nombreuses études s'avéreraient nécessaires pour mieux comprendre ces

²⁶ Tavenas F. 1984. Op. cit.

²⁷ Carson M.A., 1977. On the retrogression of landslides in sensitive muddy sediments. *Revue canadienne de géotechnique*, volume 14, p. 582-602.

²⁸ Demers, D. *et al.* 1999. The St. Boniface landslide of April 1996 : a huge retrogressive landslide in sensitive clay with little flow component. Article soumis pour le 8^e Symposium international sur les glissements de terrain. Cardiff, Royaume-Uni, juin 2000.

phénomènes, mais l'approche empirique nous permet pour l'instant de zoner de façon plus sécuritaire qu'auparavant.

7.1.3 INCIDENCES SUR L'ÉVALUATION DU RISQUE

En conclusion, les événements de 1996 et les investigations réalisées postérieurement ont permis d'apporter beaucoup de précision sur les dangers potentiels et sur l'aléa des différents types de glissement de terrain. Ces nouvelles connaissances sont essentielles afin d'obtenir une évaluation toujours plus juste du risque lié aux mouvements de terrain afin de mieux assurer la sécurité des personnes et des biens.

7.2 MÉTHODOLOGIES AMÉLIORÉES

En plus des nouvelles connaissances acquises, les événements de juillet 1996 ont permis d'apporter des améliorations aux méthodologies utilisées et d'amorcer divers projets qui ont ou auront des retombées à court ou long terme.

Le premier impact s'est manifesté dans l'analyse du risque. Compte tenu du nombre très élevé de cas à régler en peu de temps, il a fallu adopter une méthode plus structurée pour s'assurer de traiter tous les dossiers de façon uniforme et équitable. En permettant de faire des évaluations plus justes du degré de risque, la méthode d'analyse utilisée par le SGG a permis, tout en demeurant sécuritaire, d'éviter des travaux de mitigation inopportuns ou d'en proposer d'autres aux endroits où la sécurité ne semblait pas assurée. Étant donné sa longue expérience dans le domaine des travaux de mitigation pour les glissements de terrain, le savoir-faire du SGG a été abondamment mis à contribution pour effectuer des contre-expertises de ce type. Les faits ont démontré que le temps consacré à cette tâche était très rentable puisque des changements parfois majeurs aux recommandations originales ont permis des économies substantielles.

De toute évidence, le manque d'évaluation détaillée du danger et l'analyse incomplète de ses conséquences ont été les points faibles des rapports contre-expertisés par le SGG. Ces faiblesses ne sont pas attribuables au seul manque d'expérience, mais principalement à l'absence d'une démarche structurée. La promotion, parmi la communauté géotechnique québécoise, de

l'utilisation systématique de cette méthode devrait constituer un objectif majeur dans les années à venir.

Toutefois, la méthode d'analyse du risque repose sur une connaissance judicieuse des types de danger et de leur aléa respectif. La précision de ces informations dépend d'outil comme la banque de données réalisée à partir de l'inventaire des glissements de terrain de juillet 1996. Ces informations constituent une base fondamentale pour la prise de décision sur laquelle repose l'analyse du risque, le choix de méthode de mitigation et la définition de critères de zonage rigoureux. Cette banque est en voie d'être améliorée pour intégrer des nouveaux cas, ainsi que ceux déjà enregistrés dans les dossiers du SGG, afin de couvrir tous les types de glissement potentiel au Québec.

Une autre conséquence sur les méthodologies utilisées concerne les améliorations qui ont été apportées au niveau de la confection et de la production des cartes de zones à risque de glissement de terrain. En plus de profiter des possibilités que permet la technologie informatique actuelle, les étapes de la cartographie ont été précisées afin de tenir compte des nouveaux concepts concernant l'analyse du risque. La collaboration étroite qui s'est développée avec les MRC et les municipalités pendant les événements de juillet 1996 a aussi permis de définir plus clairement les besoins cartographiques.

Enfin, le personnel de la ville de La Baie a développé, en collaboration avec le MENV, une méthode pratique et efficace pour faciliter la revégétalisation des zones d'empierrement construites dans leurs cours d'eau confortés. Ils ont utilisé une recette variable formée d'un mélange du sol disponible sur place, d'une boue provenant de résidus de l'industrie papetière riche en éléments destinés à accroître la fertilité du sol et d'une semence herbacée robuste. Ils ont ainsi obtenu un terreau économique qui se fixe très bien sur les pentes escarpées (33°) et qui permet une repousse rapide et abondante, malgré les conditions inhospitalières que provoque de l'enrochement constitué de pierres de gros calibre.

7.3 AUTRES INCIDENCES

Une des incidences importantes concernant la gestion de la stabilité des pentes a été obtenu par une meilleure sensibilisation des élus et des citoyens à la suite des nombreuses rencontres

d'information et des contacts directs sur le terrain. À La Baie par exemple, il est recommandé aux citoyens d'aviser la municipalité au moindre signe suspect pouvant compromettre la stabilité d'une pente. Des inspections dans les talus à l'intérieur des zones habitées sont aussi organisées annuellement par la municipalité. Cette démarche s'inscrit dans le volet prévention de leur plan des mesures d'urgence. De plus, une révision des règlements municipaux a été entreprise afin de gérer de façon plus détaillée les zones à risque.

Dans la municipalité régionale de comté de Lac-Saint-Jean-Est, l'inventaire des glissements réalisé par le CGQ a permis d'aider à préciser rapidement les zones à risque et d'améliorer la cartographie existante. Un règlement intérimaire a aussi été déposé pour améliorer la gestion des secteurs sujets aux glissements de terrain.

L'expérience acquises par le SGG à la suite des événements de 1996 a directement été mise à contribution dans le cadre d'un comité interministériel (Affaires municipales et de la Métropole, Sécurité publique, Transports) qui est en train de revoir les orientations gouvernementales concernant le zonage des secteurs à risque de glissement de terrain pour les schémas d'aménagements des MRC. Ce comité profite de tous les éléments mentionnés dans les paragraphes précédents.

Finalement, la coopération avec l'entreprise privée a permis un transfert technologique, ce qui a soutenu le développement d'une expertise plus pointue dans le secteur privé concernant les glissements de terrain. Cependant, la capacité de faire des contre-expertises, de promouvoir et de développer de nouvelles approches nécessite qu'une expertise forte et active soit conservée au niveau gouvernemental. D'ailleurs, cette expertise est aussi mise à profit rétroactivement pour les besoins internes.

8. COLLABORATEURS

Les mandats confiés au SGG n'auraient pu être effectués sans la participation active de l'ensemble du personnel concerné (voir la liste à la fin). L'appui fourni par les gens des divers paliers décisionnels du MTQ (Pierre Lafontaine, Jean-Pierre Tremblay, Michel Labrie et Anne-Marie Leclerc) a été une condition essentielle à la réussite de cette entreprise. La Direction des structures a collaboré avec diligence pour les études hydrauliques des cours d'eau à protéger en confiant ce travail à M. Normand Toussaint.

Les mandats ont tous été réalisés en collaboration avec de nombreux intervenants gouvernementaux : le ministère de la Sécurité publique, le ministère de l'Environnement et plus particulièrement son *Programme de stabilisation des berges et des lits des lacs et cours d'eau*, le ministère des Affaires municipales et de la Métropole, le Bureau de reconstruction et de relance du Saguenay – Lac-Saint-Jean ainsi que le Secrétariat à la coordination interministérielle du ministère du Conseil exécutif.

La collaboration avec les firmes privées ainsi que de nombreux intervenants municipaux a été très utile tout au long de la réalisation des différents mandats. À ce titre, il est important de souligner la participation de la municipalité de Métabetchouan pour les travaux de confortement réalisés sur leur territoire et les efforts notables fournis par la ville de La Baie à différentes étapes du cheminement, plus particulièrement ceux de messieurs Marc Potvin, directeur général de la ville, Daniel Poitras, Denis Coulombe et Éric Bolduc, du Service de l'urbanisme, Richard Joly, directeur des services techniques ainsi que Michel Delisle, Fernand Boudreault et Paul-Eugène Larouche, superviseurs et responsables des travaux de chantier.

Le concours du Centre géoscientifique de Québec s'est avéré crucial pour la phase d'inventaire des glissements de terrain et certains relevés de terrain pour la cartographie des zones à risque. M. Didier Perret et ses collaborateurs ont de plus fourni un apport scientifique essentiel. De même, les discussions avec les spécialistes externes qui ont effectué les contre-expertises ont été d'une aide précieuse pour l'amélioration des projets.

Finalement, on ne peut passer sous silence le nom de plusieurs personnes qui ont contribué de façon particulière lors des différentes étapes du mandat : François Morneau, Ginette Dion, Normand Henry et Sylvain Tremblay, membres initiaux du BRR ; Jacques Tremblay et son

équipe du Programme de stabilisation des berges et des lits des lacs et cours d'eau (MENV) et plus particulièrement Richard Boutet pour sa participation aux calculs de stabilité pour les travaux de confortement à La Baie. Des remerciements sont adressés à M. Georges Beauchemin, secrétaire adjoint au Secrétariat à la coordination interministérielle et à M. André Trudeau, sous-ministre des Transports et responsable du Secrétariat, pour les efforts de soutien qu'ils ont donnés au SGG lors de la réalisation des mandats.

L'ensemble du personnel du SGG ayant touché de près ou de loin au projet pour la région du Saguenay – Lac-Saint-Jean est le suivant, par ordre alphabétique :

Serge Bélanger, ingénieur.
Jean-Marc Bergeron, aide-foreur
François Bouchard, foreur
Francine Boucher, secrétaire
Marc Bussière, technicien
Carol Couture, technicien principal
Jacques d'Astous, ingénieur, M. Sc.
Denis Demers, ingénieur, M. Sc.
Pierre Dorval, ingénieur
André Drolet, géologue
Patrick Dubé, étudiant en génie
Johanne Duchaine, secrétaire
Charles Gauthier, technicien
Gilbert Grondin, technicien
Sylvain Guilbault, étudiant en génie
Denis Hudon, technicien
Bernard Morin, ingénieur, chef de Service
Pierre Paradis, technicien
Janelle Potvin, ingénieure
Jocelyn Pruneau, contre-maître
Denis Robitaille, ingénieur
Bruno Roberge, technicien principal
Julie Rousseau, technicienne
Catherine Thibault, ingénieur stagiaire

Le présent document a été rédigé et préparé par les ingénieurs Denis Demers, Janelle Potvin et Denis Robitaille. Les cartes et figures ont été préparées par les techniciens Denis Hudon, Bruno Roberge et Marc Bussière. Messieurs Serge Bélanger et Jacques d'Astous, ingénieurs, ont révisé le document.

9. ANNEXES : TABLEAUX ET FIGURES

Tableau I : Coulées argileuses récentes répertoriées au Saguenay – Lac-Saint-Jean

Année	Jour-mois	Localité	Emplacement	Superficie (ha)	Rétrogression (m)	Pertes de vie	Cause
1870(?)	——	Métabetchouan	Ruisseau Vouzier	4,3	200	——	Naturelle
<1964	——	Métabetchouan	Cours d'eau Savard	2,3	100	——	Naturelle
1910	24-mars	La Baie	Chemin de fer d'Alcan	1,3	100	6	Excavation + dynamitage
1924	1-oct	Kénogami	Usine Price (riv. aux Sables)	4	191	1	Érosion par eau usée
1932	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,5	72	——	Naturelle
1932	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,7	78	——	Naturelle
1946	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	1,9	139	——	Naturelle
1953	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	1,9	139	——	Naturelle
1964	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	2	120	——	Naturelle
1971	4-mai	Saint-Jean-Vianney	Rivière Petit Bras	30	584	31	Naturelle
1970-1975(?)	——	Shipshaw	Rivière aux Vases	0,6	75	——	Naturelle
1970-1975(?)	——	Shipshaw	Rivière aux Vases	0,8	90	——	Naturelle
1970-1975(?)	——	La Baie	Ruisseau Benjamin	0,3	60	——	Naturelle
1981	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,2	38	——	Naturelle
1983	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,3	35	——	Naturelle
1983	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,5	60	——	Naturelle
1983	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,8	80	——	Naturelle
1989	——	Desbiens	Bord du lac Saint-Jean	0,9	450	——	Naturelle

Tableau II : Localisation des dossiers enregistrés au SGG (1/4)

No	Localisation	Municipalité
1	Rue Henry-McNicol	La Baie
2	Rue Arthur-Beaulieu	La Baie
3	8e Rue	La Baie
4	Rue John-Kane	La Baie
5	Auberge des Battures	La Baie
6	6965 boul. Grande-Baie Sud	La Baie
7	Route 170	La Baie
8	Domaine des Cervidés	La Baie
9	2223 avenue du Parc	La Baie
10	Secteur rue des Tournesols	La Baie
11	1282, 1302 et 1262 rue des Mélèzes	La Baie
12	Secteurs des ruisseaux Benjamin et de la Commission	La Baie
13	Secteur du canyon de la rivière des Ha! Ha!	La Baie
14	Ruisseau Roy	La Baie
15	Rue des Bouleaux	La Baie
16	2803 rue Roy	La Baie
17	1141 rue des Mélèzes	La Baie
18	1155 rue Saint-Stanislas	La Baie
19	4023 chemin Saint-Louis	La Baie
20	1463 rue des Rosiers	La Baie
21	1522 rue de Lasalle (stabilité de talus)	La Baie
22	2300 avenue du Parc	La Baie
23	2111 8e Avenue	La Baie
24	1281 rue des Mélèzes	La Baie
25	Côte du chemin Saint-Bruno	La Baie
26	2373 boul. Grande-Baie Sud	La Baie
27	1522 rue de Lasalle (fondation)	La Baie
28	Secteur du pont de la 6e Rue	La Baie
29	Secteur en aval du pont de la 6e Rue	La Baie
30	5465 boul. Grande-Baie	La Baie
31	3182 rue Meridée-Tremblay	La Baie
32	2735 avenue du Parc	La Baie
33	3223 rue Meridée-Tremblay	La Baie
34	Ruisseau Rouge (près de la route 170)	La Baie
35	Ruisseau Dufour	La Baie
36	Ruisseau Benjamin	La Baie
37	Ruisseaux Morissette, Bras-Droit et Rouge	La Baie
38	Ruisseaux Beauchemin et Bluteau	La Baie
39	Rivière des Ha! Ha!	La Baie
40	8e Avenue	La Baie
41	Limites municipales	La Baie

Tableau II : Localisation des dossiers enregistrés au SGG (2/4)

No	Localisation	Municipalité
42	Chemin d'accès au parc	Rivière-Éternité
43	177,179,183 et 185 rue Saint-Jean-Baptiste	L'Anse-Saint-Jean
44	303 rue Saint-Jean-Baptiste et 3 rue du Faubourg	L'Anse-Saint-Jean
45	Route 381	Ferland et Boilleau
46	Rang Saint-Jean-Baptiste (presbytère)	L'Anse-Saint-Jean
47	Barrage sur la rivière St-Jean	L'Anse-Saint-Jean
48	Rang Saint-Louis	Saint-Fulgence
49	129 rue Saguenay	Saint-Fulgence
50	31 rue de la Liberté	Chicoutimi
51	3840 à 3844 rang Saint-Paul	Chicoutimi
52	393 chemin de la Réserve	Chicoutimi
53	429 Côte Fortin	Chicoutimi
54	1245 rue Adélarde-Plourde	Chicoutimi
55	1949 à 2093 rue Belvédère	Chicoutimi
56	Rue Dréans en aval de la vieille pulperie	Chicoutimi
57	Secteur de la rue Marie-Rollet	Chicoutimi
58	71 rue de la Victoire	Chicoutimi
59	711 rue de Gascogne	Chicoutimi
60	Coin rue Duvernay et boul. du Royaume	Jonquière
61	4016 rue des Saules	Jonquière
62	3931-3933 rue Saint-Damase	Jonquière
63	1789-1793-1797-1801 rue Fay	Jonquière
64	Rue Powell (4 sites)	Jonquière
65	Secteur rue Deschênes	Jonquière
66	Secteur de la rue Coudrier	Jonquière
67	Secteur de la rue des Groseillers	Jonquière
68	3180 rue Saint-Patrick	Jonquière
69	2361 rue Hébert	Jonquière
70	Rivière aux Sables entre l'usine et le boulevard du Royaume	Jonquière
71	Ruisseau Lahoud	Jonquière
72	Limites municipales	L'Anse-Saint-Jean
73	18 rue du Quai	Petit-Saguenay
74	149 route 170	Petit-Saguenay
75	4481-4520 chemin de la Rive	Shipshaw
76	1080 de la Sablière	Shipshaw
77	Lot 15 rang IV (canton Simard)	Shipshaw
78	Lot 14 rang V (canton Simard)	Shipshaw
79	Rue Eugène-Morin	Petit-Saguenay
80	111 rue des Cascades	Laterrière
81	1751 rue des Bouleaux	Laterrière
82	2258 chemin du Portage-des-Roches Sud	Laterrière

Tableau II : Localisation des dossiers enregistrés au SGG (3/4)

No	Localisation	Municipalité
83	4050 chemin Saint-Paul	Laterrière
84	5987 chemin Saint-Pierre	Laterrière
85	6185 chemin du Portage-des-Roches Nord	Laterrière
86	4391 rang Saint-Pierre	Laterrière
87	4129 rang Saint-Pierre	Laterrière
88	Route 175 (km 225,3)	Laterrière
89	Route 175 (km 189,5)	Réserve faunique des Laurentides
90	Site touristique « Le trou de la Fée »	Chambord
91	Limites municipales	Desbiens
92	Bord du lac St-Jean (stabilité des berges)	Desbiens
93	Limites municipales	Métabetchouan
94	Route 169 (rivière Couchepaganiche)	Métabetchouan
95	2e Rang (rivière Couchepaganiche)	Métabetchouan
96	4e Rang	Métabetchouan
97	896 route 169	Hebertville
98	Rang du Lac-Vert	Hebertville
99	348 rang du Lac-Vert	Hebertville
100	346 rang du Lac-Vert	Hebertville
101	342-103 rang du Lac-Vert	Hebertville
102	3e rang et rang du Lac-Vert	Hebertville
103	210-135 rang du Lac-Vert	Hebertville
104	Rang Saint-Isidore	Hebertville
105	Limites municipales	Hebertville
106	880 5e Rang Ouest (rivière Bédard)	Saint-Bruno
107	Route Dorval	Larouche
108	Route Dorval (site 8)	Larouche
109	1371 route Dorval (auberge)	Larouche
110	Route 170	Larouche
111	Route 171	Larouche
112	514 rue des Outardes	Kénogami
113	Générale	Saguenay-Lac-Saint-Jean
114	Rivière Petit-Saguenay (passe à saumon)	Petit-Saguenay
115	Berges de la rivière Mistassibi	Mistassini
116	1611,1633,1637,1687,1757 rang Saint-Eugène	Saint-Félicien
117A	Route 169 (km 32,2) côté sud-ouest	Réserve faunique des Laurentides
117B	Route 169 (km 27,8) côté sud-ouest	Réserve faunique des Laurentides
117C	Route 169 (km 25,3) côté est	Réserve faunique des Laurentides
117D	Route 169 (km 23,5) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides
117F	Route 169 (km 21 à 23) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides
117G	Route 169 (km 19,2) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides
117H	Route 169 (km 18,0) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides
117I	Route 169 (km 16,1) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides

Tableau II : Localisation des dossiers enregistrés au SGG (4/4)

No	Localisation	Municipalité
117J	Route 169 (km 14,9) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides
117K	Route 169 (km 13,9) côté ouest	Réserve faunique des Laurentides
117L	Route 169 (km 10,4) côté nord-est	Réserve faunique des Laurentides
118A	Route 169 (km 17)	Réserve faunique des Laurentides
118B	Route 169 (km 22)	Réserve faunique des Laurentides
118C	Route 169 (km 23)	Réserve faunique des Laurentides
119	Route 170 (lac Long)	L'Anse-Saint-Jean
120	Route 169 (rivière Ouiatchouaniche)	Roberval
121	Rang Saint-Alphonse (rivière Mistassibi)	Saint-Stanilas
122A	Route 172	Canton Durocher
122B	Route 172	Canton Champigny
122C	Route 172	Canton Champigny
122D	Route 172	Canton Champigny
122E	Route 172	Canton Labrosse
122F	Route 172	Canton Labrosse
122H	Route 172	Canton Durocher
122I	Route 172	Canton Champigny
122J	Route 172	Canton Labrosse

Tableau III : Dossiers ayant nécessité des études géotechniques (1/3)

N° site	Municipalité	Site	Problème	Éléments vulnérables	Travaux	Mandataire de l'étude
1	La Baie	Rue Henry-McNicoll	Coulée de boue	12 résidences et 2 rues	Digue de retenue de débris, stabilisation de la cicatrice et 9 résidences déménagées	Techmat inc.
3	La Baie	8 ^e rue	Présence de fissure	10 résidences et une rue	Stabilisation par contrepoids et 3 résidences déménagées	Techmat inc.
5	La Baie	Auberge des Battures	Glissements de terrain et présence de fissure	Un bâtiment et la route 170	Stabilisation par contrepoids	MTQ
10	La Baie	Rue des Tournesols	Présence de fissure	3 résidences et une rue	Aucun (risque trop faible)	Techmat inc.
15	La Baie	Rue des Bouleaux	Présence de fissure	3 résidences et une rue	Stabilisation par adoucissement	MTQ
24	La Baie	Rue des Mélèzes	Présence de fissure	6 résidences et une rue	Stabilisation par adoucissement	Laboratoires S.L. (1981) inc.
27	La Baie	Rue de Lasalle	Fissures aux fondations	Une résidence	Reprise en sous-œuvre (micro-pieux)	Laboratoires S.L. (1981) inc.
34	La Baie	Ruisseau Rouge	Érosion et risque de coulée argileuse	7 bâtiments résidentiels et un bâtiment commercial	Aucun (risque trop faible)	MTQ
35	La Baie	Ruisseau Dufour	Érosion et risque de coulée argileuse	52 bâtiments résidentiels	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
36	La Baie	Ruisseau Benjamin	Érosion et risque de coulée argileuse	16 bâtiments résidentiels, 6 bâtiments agricoles et un bâtiment commercial	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
N° site	Municipalité	Site	Problème	Éléments vulnérables	Travaux	Mandataire de l'étude

*: dossier traité non enregistré

Tableau III : Dossiers ayant nécessité des études géotechniques (2/3)

37	La Baie	Ruisseaux Rouge, Bras-Droit et Morissette	Érosion et risque de coulée argileuse	11 bâtiments résidentiels et 14 bâtiments agricoles	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
38	La Baie	Ruisseaux Beauchemin et Bluteau	Érosion et risque de coulées argileuses	95 bâtiments résidentiels	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
*	La Baie	Rue des Frênes	Rupture de remblai	Une rue	Nouveau design de remblai	Techmat inc.
43	L'Anse-St-Jean	Rue Saint-Jean-Baptiste	Érosion - glissement	3 résidences et une route locale	Stabilisation et protection contre érosion	Laboratoires S.L. (1981) inc.
46	L'Anse-St-Jean	Rue Saint-Jean-Baptiste	Coulée de boue	2 bâtiments et une route locale	Digue de retenue de débris	MTQ
47	L'Anse-St-Jean	Rivière Saint-Jean	Risque d'érosion	Un barrage et le cours d'eau en aval	Aucun (risque trop faible)	Laboratoires S.L. (1981) inc.
50	Chicoutimi	Rue de La Liberté	Glissement superficiel	Une résidence, une rue et la route 172	Stabilisation par contrepoids	Laboratoires S.L. (1981) inc.
58	Chicoutimi	Rue de la Victoire	Glissement de terrain et présence de fissure	9 résidences et une rue	Stabilisation par contrepoids et 3 bâtiments déménagés	Laboratoires S.L. (1981) inc.
94	Métabetchouan	Rivière Couchepaganiche (route 169)	Érosion et risque de coulée argileuse	4 bâtiments résidentiels et 6 bâtiments agricoles	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
95	Métabetchouan	Rivière Couchepaganiche (2 ^e Rang)	Érosion et risque de coulée argileuse	4 bâtiments résidentiels et 5 bâtiments agricoles	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
96	Métabetchouan	4 ^e Rang	Glissement rotationnel	Route locale	Stabilisation par adoucissement	Laboratoires S.L. (1981) inc.
N° site	Municipalité	Site	Problème	Éléments vulnérables	Travaux	Mandataire de l'étude
115	Mistassini	Rivière Mistassibi	Glissement superficiel et érosion	19 résidences et une rue	Protection contre l'érosion	Laboratoires S.L. (1981) inc.

*: dossier traité non enregistré

Tableau III : Dossiers ayant nécessité des études géotechniques (3/3)

118A	Parc des Laurentides	Route 169 (km 17)	Risque de chute de blocs	Route 169	Clôture de captage	MTQ
118B	Parc des Laurentides	Route 169 (km 22)	Risque de chute de blocs	Route 169	Clôture de captage	MTQ
118C	Parc des Laurentides	Route 169 (km 23)	Risque de chute de blocs	Route 169	Clôture de captage	MTQ
119	L'Anse-Saint-Jean	Route 170 (lac Long)	Risque de chute de blocs	Route 170	Clôture de captage (recommandé, non réalisé)	MTQ
120	Roberval (route 169)	Rivière Ouiatchouaniche	Présence de fissure et amorce de glissement	3 résidences et la route 169	Stabilisation par contrepoids et protection contre l'érosion	MTQ
122A	Canton Durocher	Route 172	Risque de chute de blocs	Route 172	Clôture de captage (recommandé, non réalisé)	MTQ

*: dossier traité non enregistré

Tableau IV : Débit des cours d'eau confortés

Municipalité	Cours d'eau	Débit instantané (T=25 ans) (m ³ /s)
La Baie	Beauchemin	4,2
	Benjamin	19,0
	Bluteau	2,9
	Bras Droit	2,1
	Dufour	3,2
	Morissette	3,1
	Rouge	1,6
Métabetchouan	Couchepaganiche	51,0
	Affluent 4B	0,5
	Affluent 7	0,8

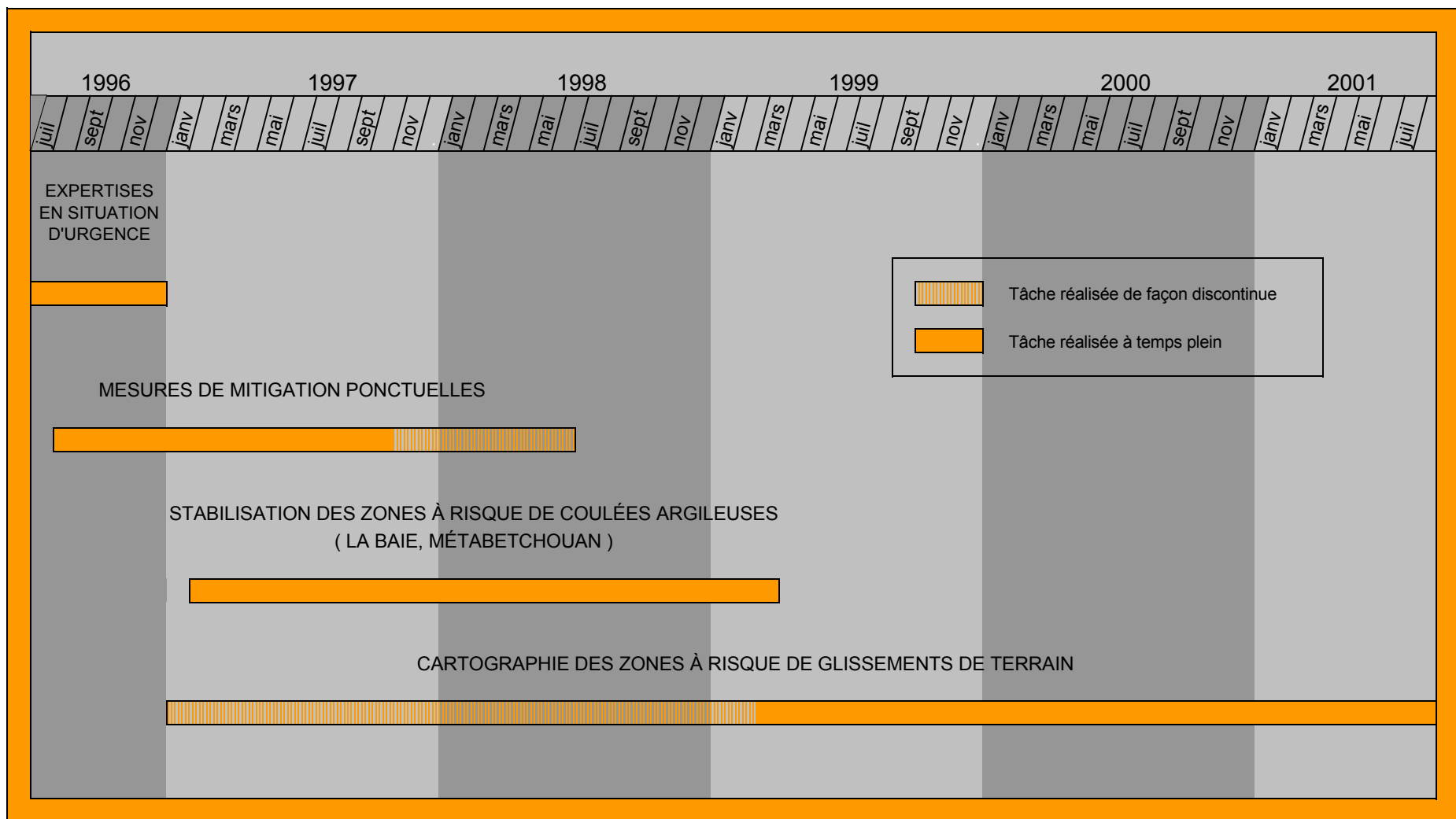


Figure 1 : Calendrier sommaire des activités du Service de la géotechnique et de la géologie (SGG) liées au sinistre de juillet 1996.

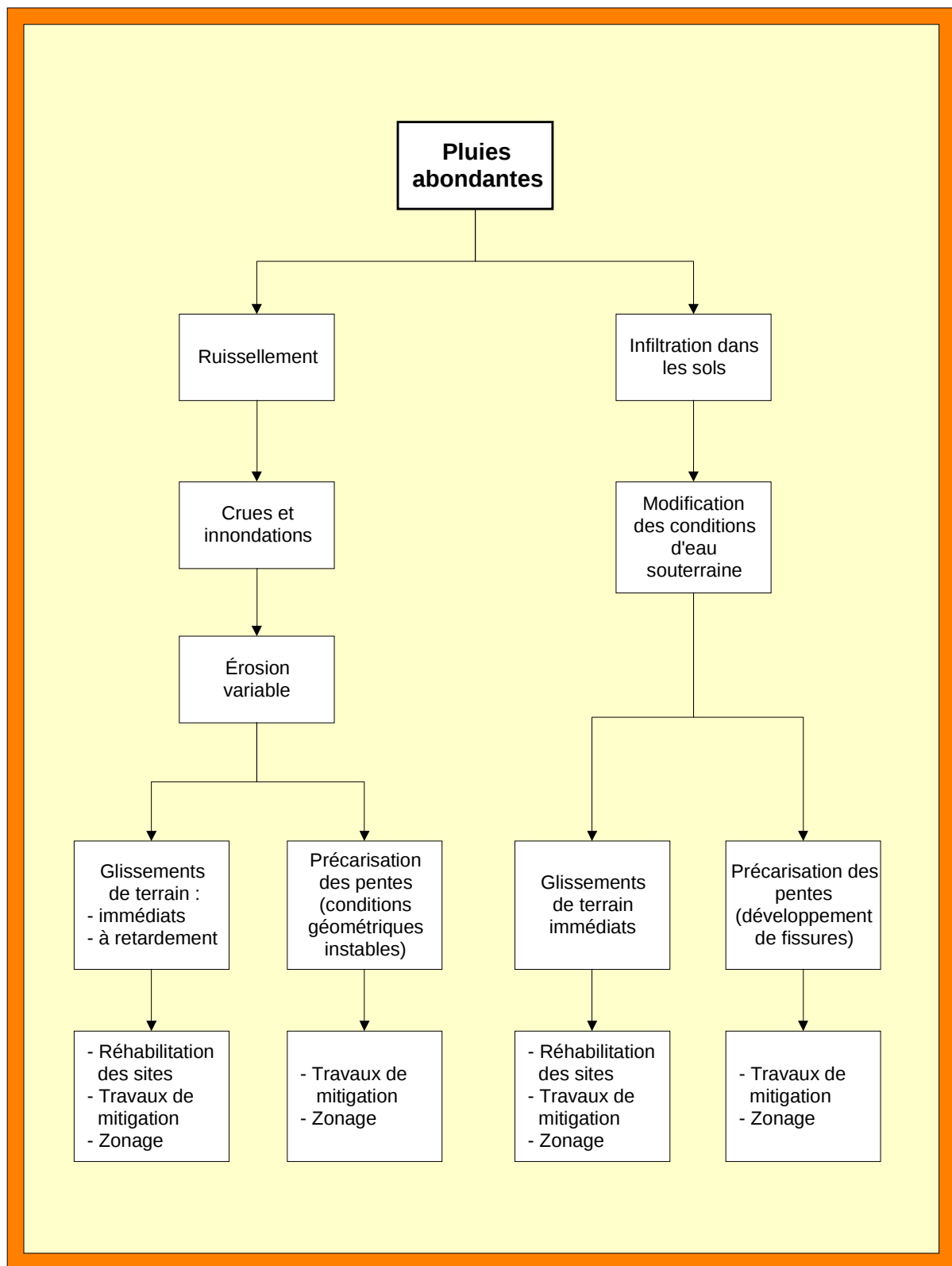


Figure 2 : Diagramme résumant les effets des pluies sur la stabilité des talus lors du sinistre de juillet 1996.



Figure 3 : Secteur du barrage de la chute Garneau (rivière Chicoutimi) avant (A) et après (B) les événements de juillet 1996.

(Source : Hydro-Québec, Photographies aériennes TransEnergie 443 5082)

Commentaire : Le barrage était construit sur un verrou rocheux. À la suite de l'encombrement des vannes par des débris, la rivière a débordé et, profitant de la topographie irrégulière du roc, s'est creusée un nouveau lit adjacent. Les nouvelles berges argileuses ainsi formées présentaient des conditions très instables.



Figure 4 : Secteur du barrage Pont-Arnaud (rivière Chicoutimi) avant (A) et après (B) les événements de juillet 1996.

(Source : Hydro-Québec, Photographies aériennes TransEnergie 443 5082)

Commentaire : Le contexte est similaire à celui de la figure 3. À cause de la dénivelée entre l'amont et l'aval du verrou rocheux, l'érosion régressive s'est étendue sur une distance de 1,2 km vers l'amont, menaçant ainsi les éléments situés dans le secteur (voir figures 5 et 6).



A : Vue vers l'amont en direction du pont de l'autoroute 70. Les piliers ont dû être protégés par empierrement contre l'affouillement.



B : Vue vers l'aval à partir du pont de l'autoroute 70. Le nouveau lit situé au centre de l'ancien a environ 7 m de profondeur de plus.

Figure 5 : Vue de l'érosion régressive entre le barrage Pont-Arnaud et le pont de l'autoroute 70, rivière Chicoutimi.



23-07-96



23-08-96

Figure 6 : Nouvelle falaises instables sur la rivière Chicoutimi, en amont du barrage Pont-Arnaud, avant (A) et après (B) l'apparition d'un glissement de terrain majeur survenu quelques jours après le retrait des eaux d'inondation.



Figure 7 : Falaises instables provoquées par l'érosion; site du barrage d'Abitibi-Price, rivière aux Sables, Jonquière, secteur Kénogami.



Figure 8 : Nouveau chenal de la rivière aux Sables creusé à la suite du débordement du barrage d'Abitibi-Price formant ainsi de nouvelles falaises instables, Jonquière.

Note : La flèche pointe les cicatrices de glissements sur les berges, près des habitations.



A : Photographie aérienne datant de 1976, montrant le méandre déjà en voie d'être coupé (flèche).



B : Vue du changement du cours de la rivière et du méandre abandonné. À cause de l'érosion régressive, les falaises d'argile sensible en amont ont dû être

Figure 9 : Méandre coupé lors des pluies de juillet 1996; site du parc de la rivière du Moulin, Chicoutimi.



Figure 10 : Nouveau lit de la rivière des Ha! Ha!, creusé environ 10 mètres plus bas que l'ancien dont le niveau était contrôlé par le roc affleurant aux



Figure 11 : Glissement majeur dans un talus de sable s'étant produit pendant la Crue; rivière à Mars, La Baie.

Note : La voie ferrée est demeurée suspendue dans le vide.



A : Talus affecté par un glissement superficiel et par de nombreuses fissures avec affaissement délimitant une zone de stabilité marginale (rang Saint-Wilbrod, Jonquière).



B : Talus sans érosion à la base montrant une fissure majeure avec un affaissement, délimitant une zone de stabilité marginale (rang Dorval, Larouche).

Figure 12 : Exemples de précarisation des talus.

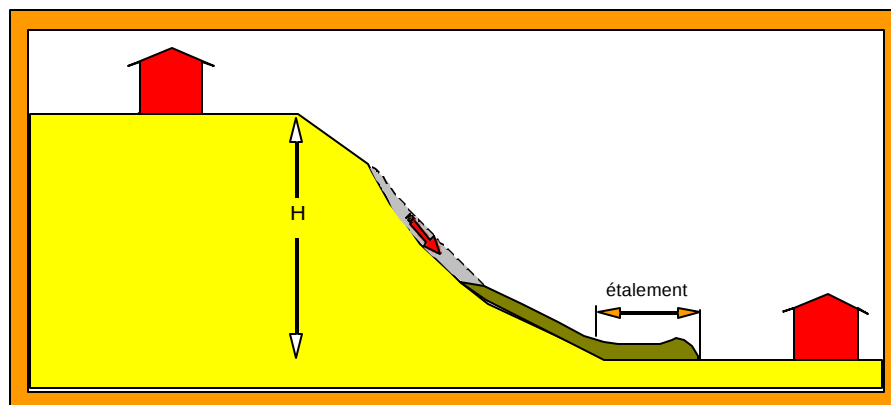


Figure 13 : Croquis illustrant les caractéristiques d'un glissement superficiel.



Figure 14 : Glissement superficiel où pratiquement seul le couvert végétal a été impliqué; affluent du ruisseau Rouge, La Baie.



Figure 15 : Talus sans érosion à la base ayant été affecté par un glissement superficiel à Hébertville.



Figure 16 : Exemple d'un glissement superficiel dont les débris ont percuté une maison après avoir traversé la route; Saint-Fulgence, avril 1995.

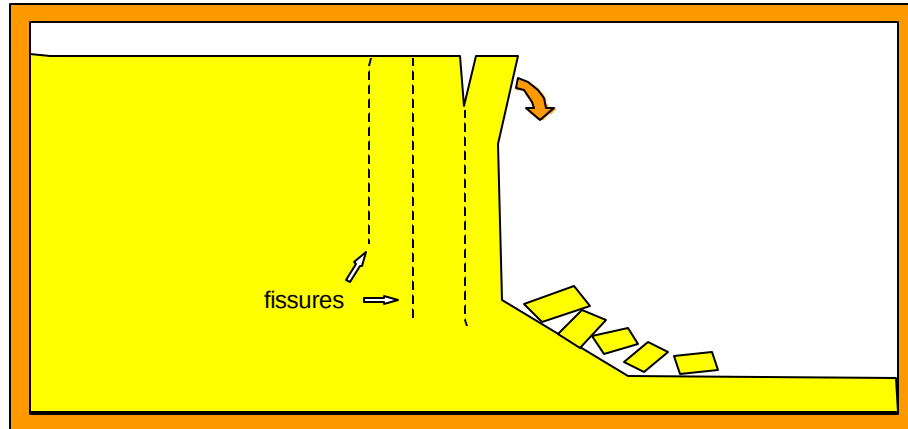


Figure 17 : Croquis illustrant le processus de basculement.



Figure 18 : Exemple de basculement dans une falaise argileuse nouvellement formée sur la rivière Chicoutimi en amont du pont Arnaud.

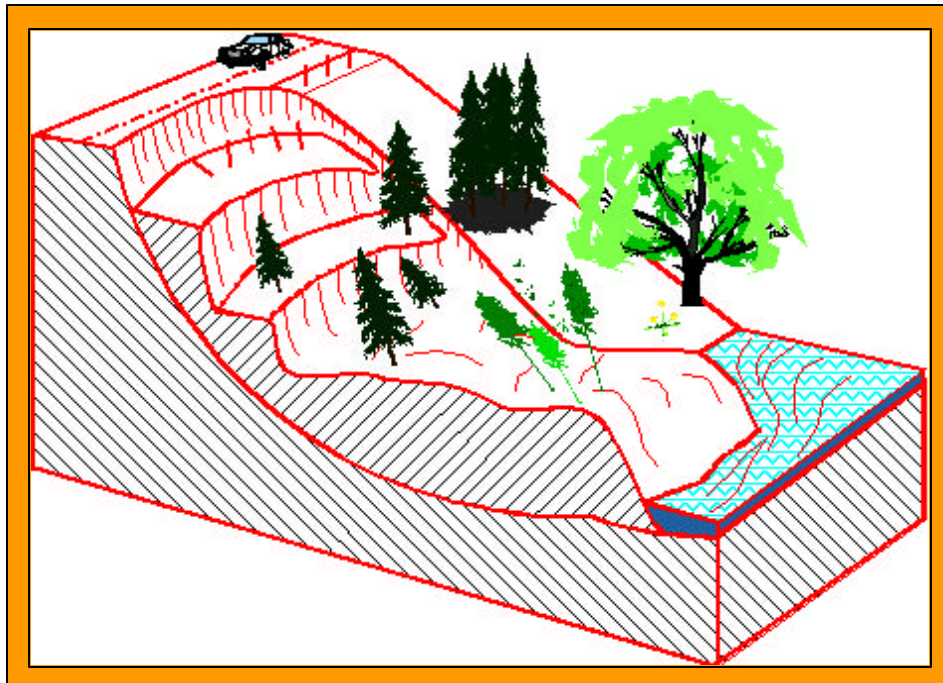


Figure 19 : Croquis illustrant les caractéristiques d'un glissement rotationnel.

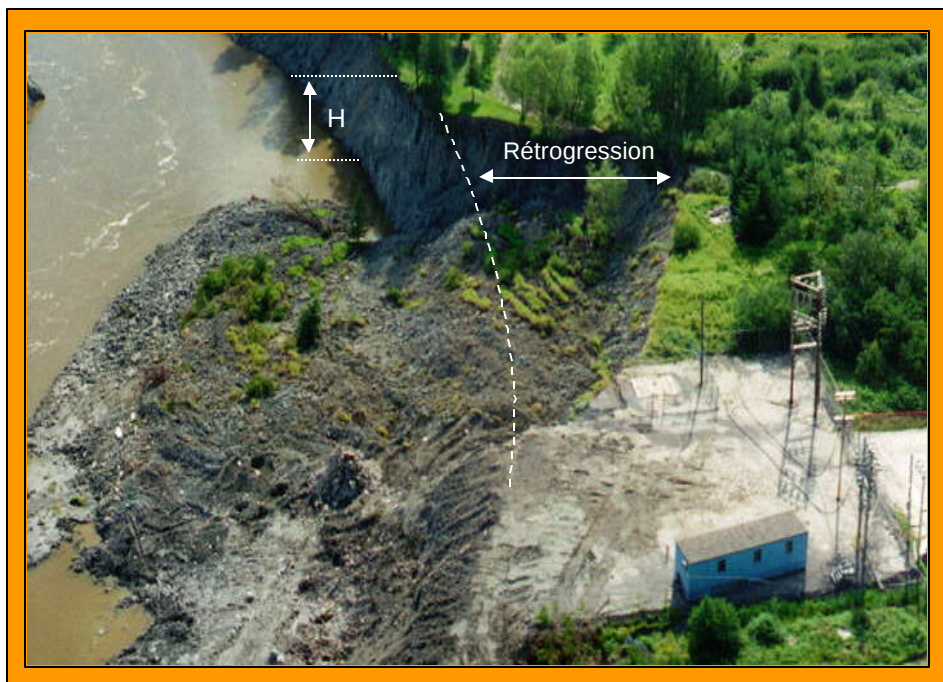


Figure 20 : Exemple de rétrogression d'un glissement rotationnel multiple en bordure de la rivière Chicoutimi.



Figure 21 : Exemple de décrochement; rang Dorval, Larouche.

Note : À remarquer l'absence d'érosion dans le ruisseau.



Figure 22 : Exemple de glissement rotationnel multiple en bordure de la rivière aux Vases, Shipshaw.



Figure 23 : Exemple de coulée de boue en terrain non boisé; boulevard Grande-Baie Sud, La Baie.



Figure 24 : Exemple de coulée de boue en terrain boisé; rue Henry-McNicoll, La Baie.

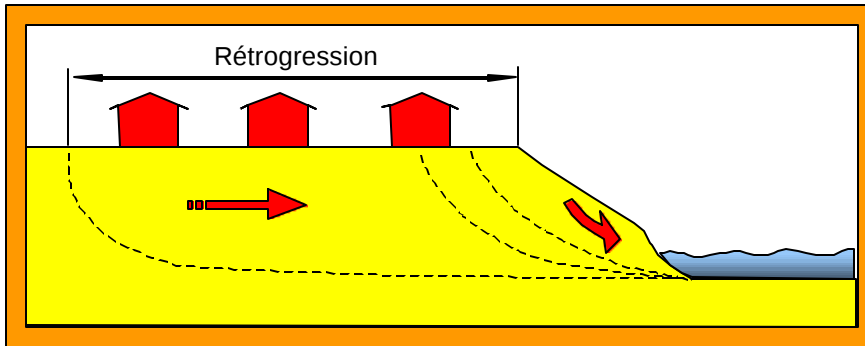


Figure 25 : Croquis illustrant le développement d'une coulée argileuse en bordure d'un cours d'eau.

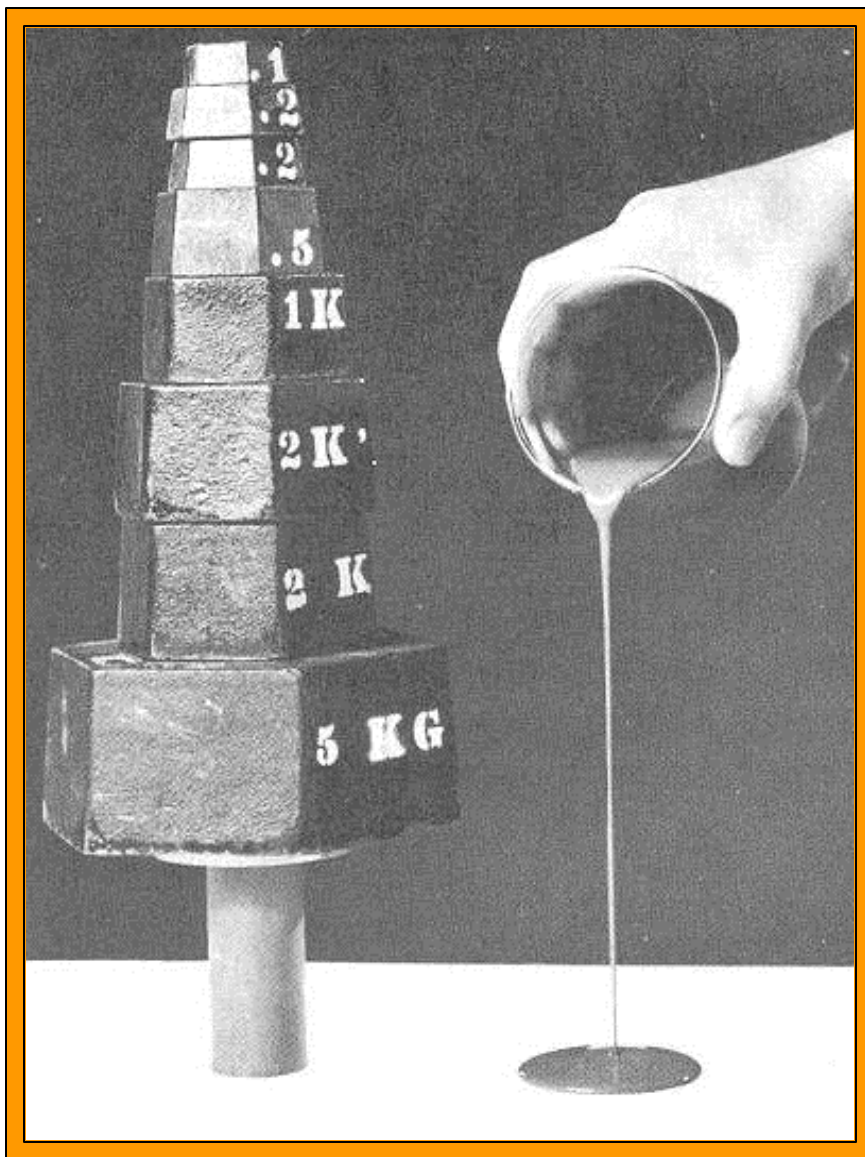


Figure 26 : Exemple d'un échantillon d'argile extra sensible.

(Source : Conseil national de la recherche du Canada)

Note : Le sol intact (côté gauche de la photo) peut supporter un poids considérable. Après trituration sans aucun ajout, le sol remanié se comporte comme un liquide (côté droit de la photo). La sensibilité de l'argile est le rapport entre la valeur de la résistance du sol à l'état intact et celle à l'état remanié.



Figure 27 : Coulée argileuse survenue en bordure du lac Saint-Jean, à Desbiens, en 1983.

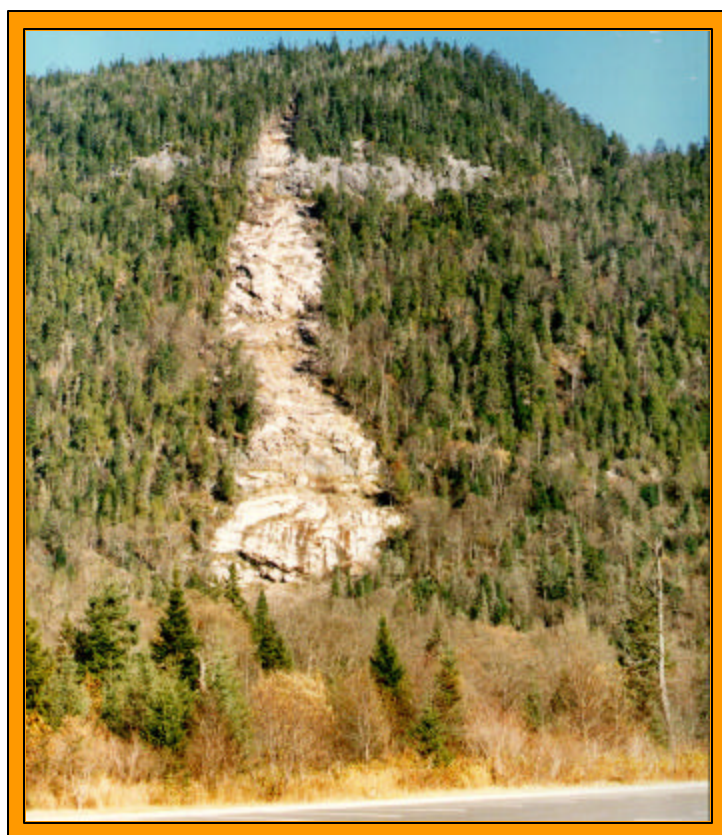


Figure 28 : Vue d'ensemble d'une coulée de débris où la paroi rocheuse a été complètement dénudée.



Figure 29 : Couloir formé par la descente de débris.

Note : À remarquer le sillon jonché de blocs rocheux (flèche no.1) et les levées de débris sur chaque flanc (flèches no. 2).



Figure 30 : Photographie aérienne montrant les couloirs laissées par des coulées de débris de juillet 1996; route 169, parc des Laurentides.

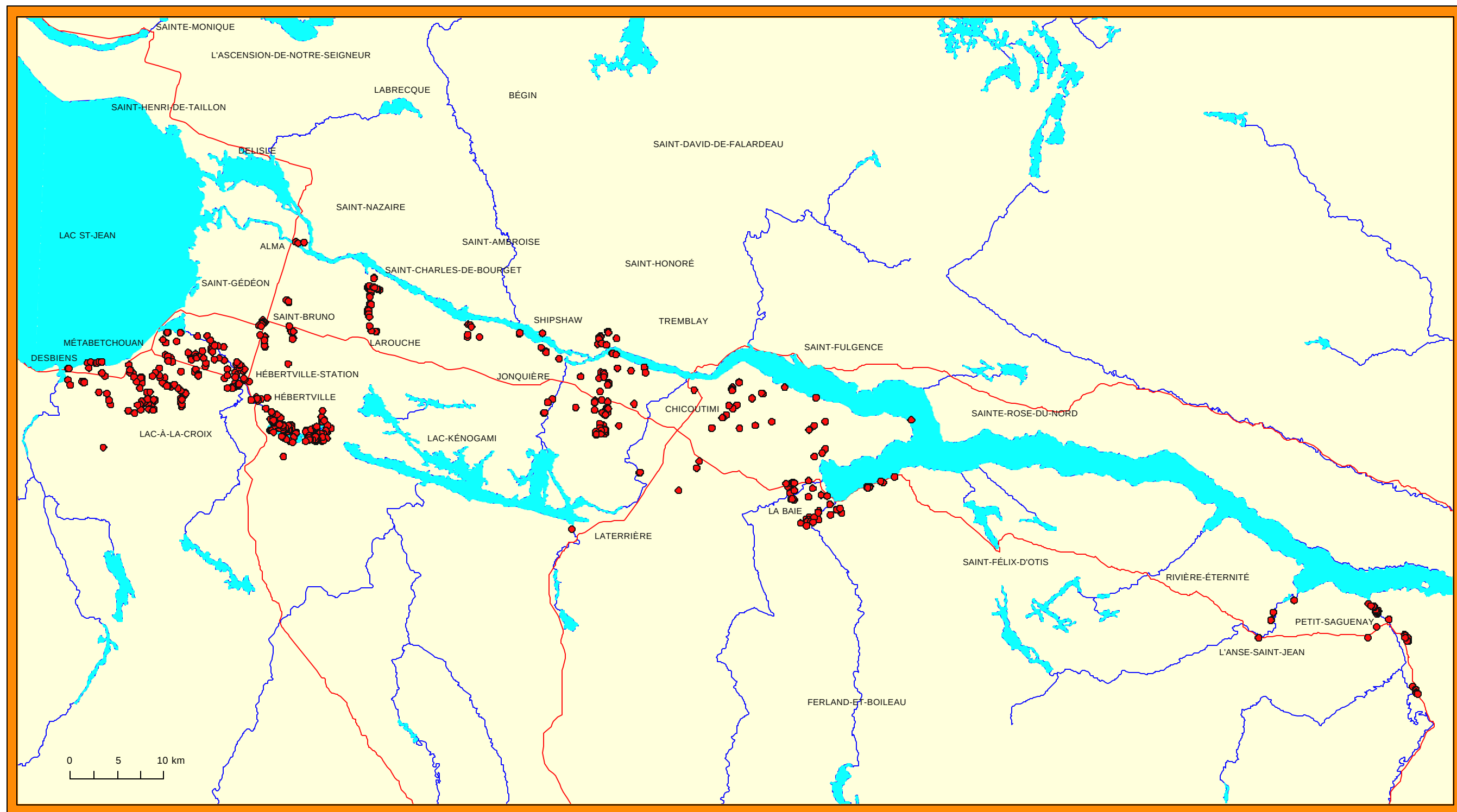


Figure 31 : Localisation des glissements de terrain inventoriés par le Centre géoscientifique de Québec à la suite des pluies de juillet 1996 au Saguenay– Lac-Saint-Jean.



Figure 32 : Route coupée par un glissement de terrain à Rivière-Éternité.



Figure 33 : Route obstruée par les débris d'un glissement de terrain.



Figure 34 : Coulée de débris dont les matériaux glissés ont encombré entièrement la route 170.

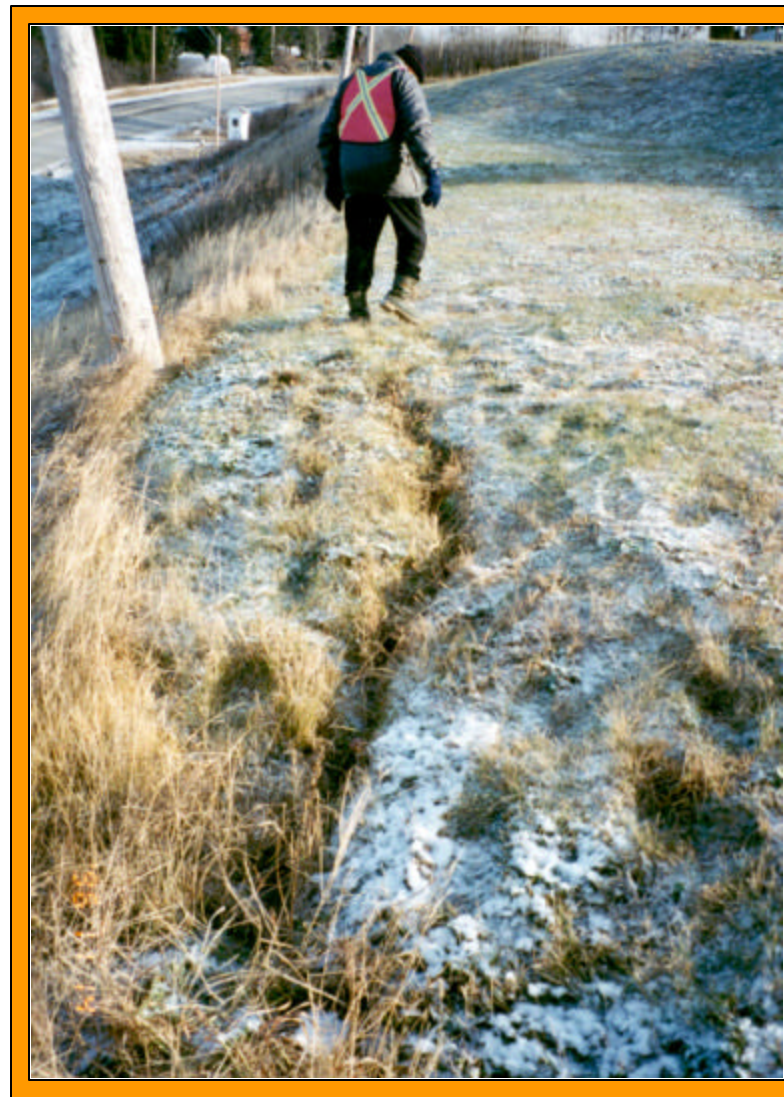


Figure 35 : Exemple d'une fissure dans un talus instable; Auberge des Battures, route 170, La Baie.

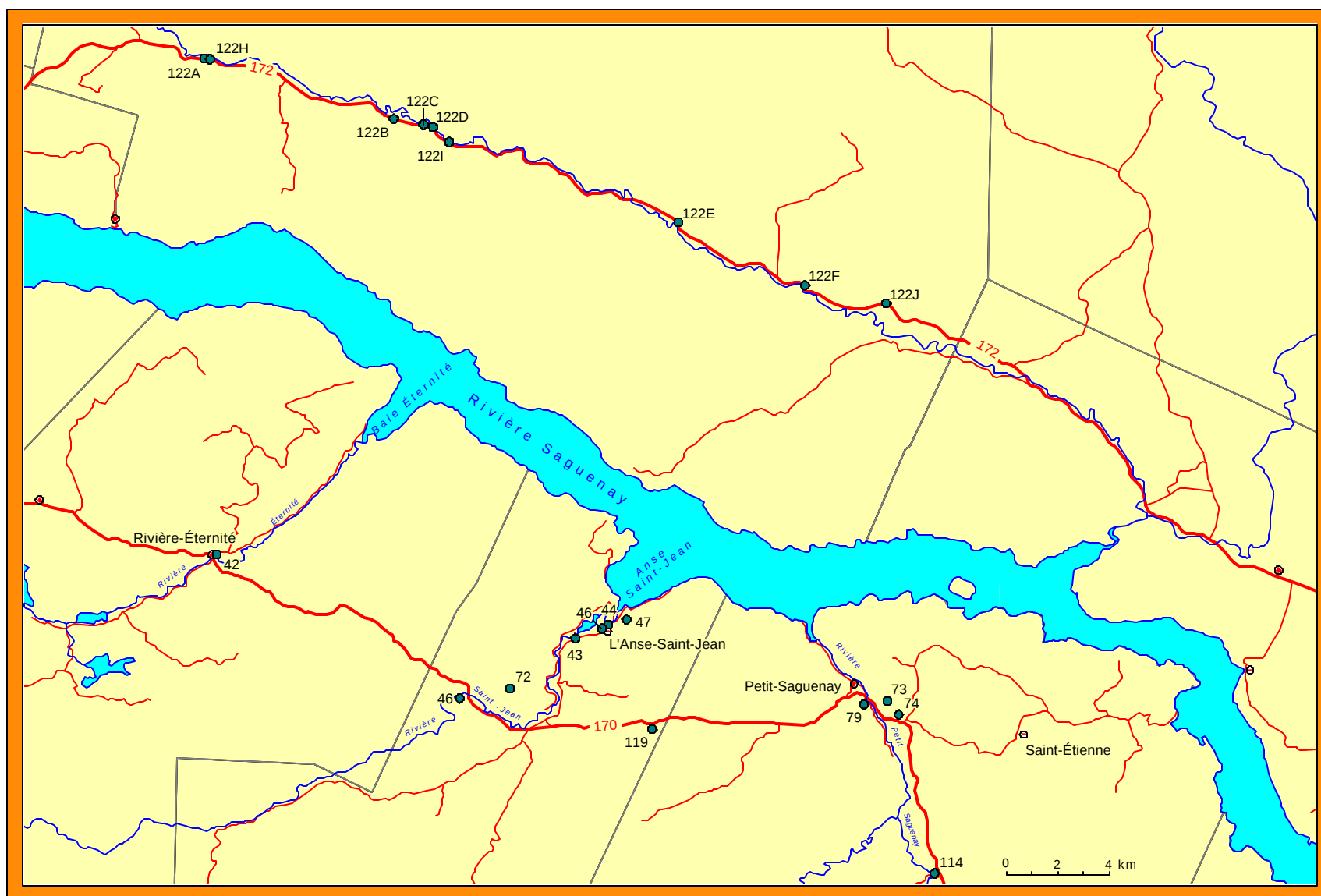


Figure 36 : Localisation des dossiers traités par le SGG, de Rivière-Éternité à Petit-Saguenay et incluant la route 172.

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.

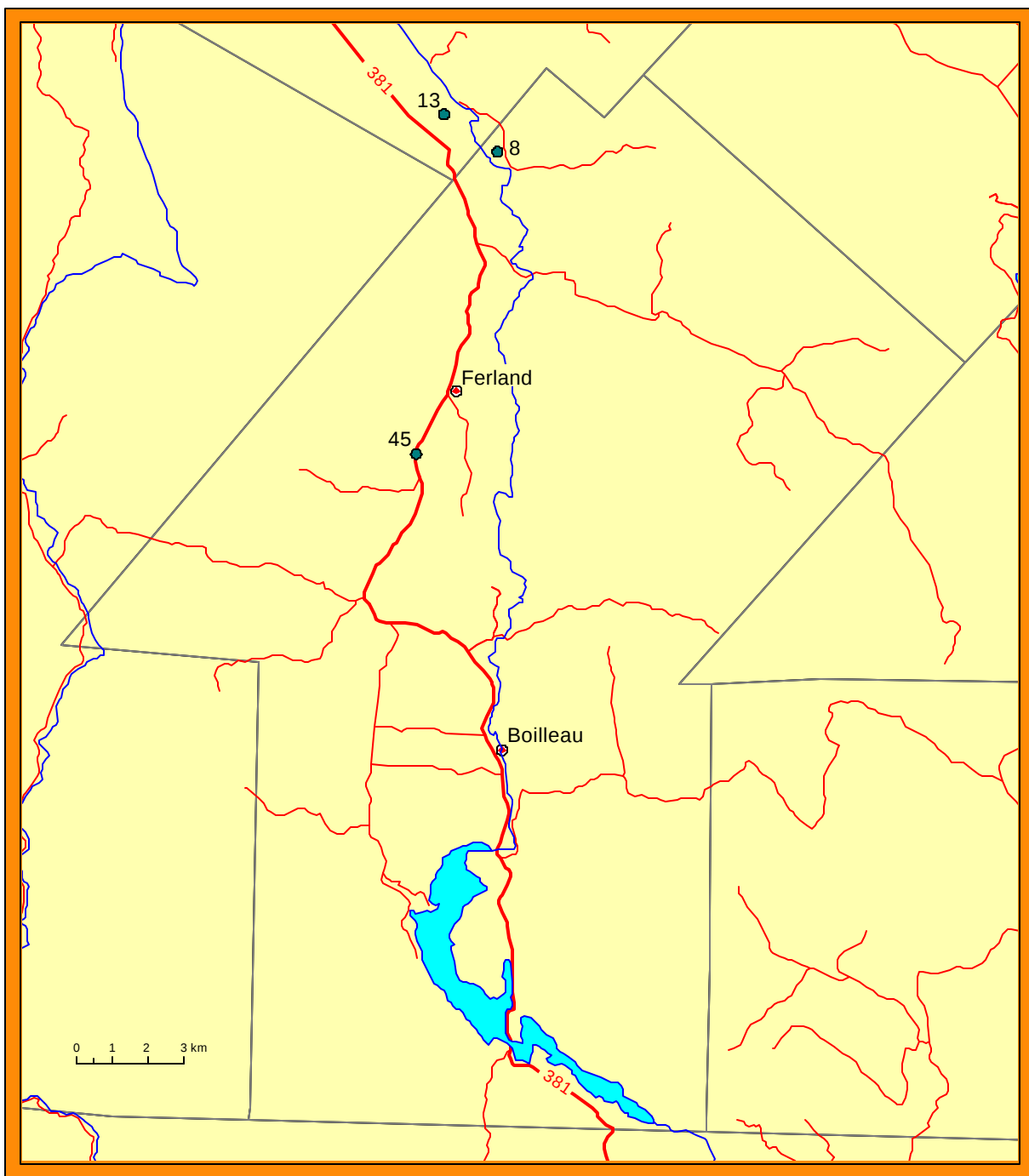


Figure 37 : Localisation des dossiers traités par le SGG à Ferland-et-Boilleau et le long de la route 381.

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.

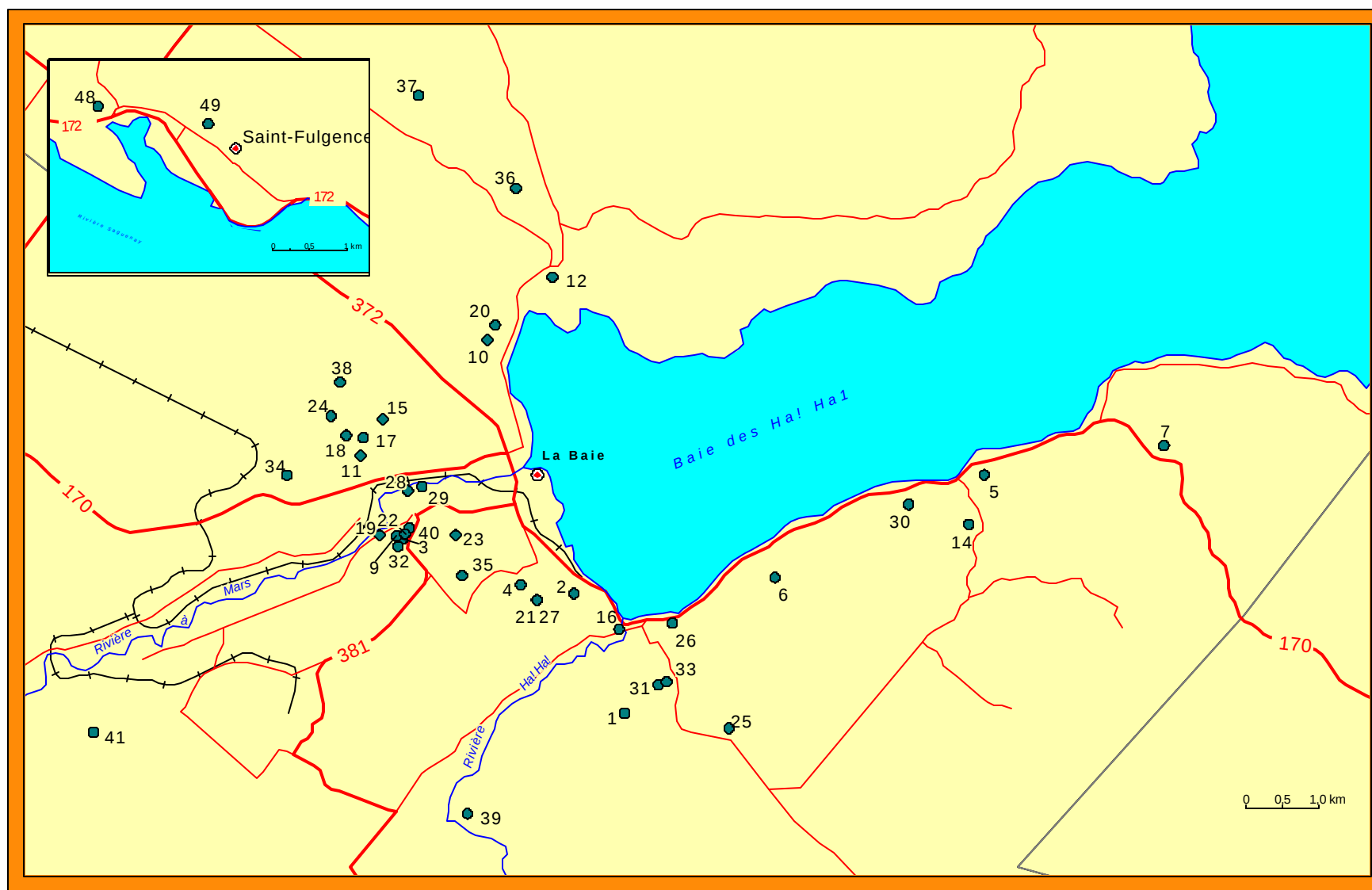


Figure 38 : Localisation des dossiers traités par le SGG à La Baie et à Saint-Fulgence.

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.

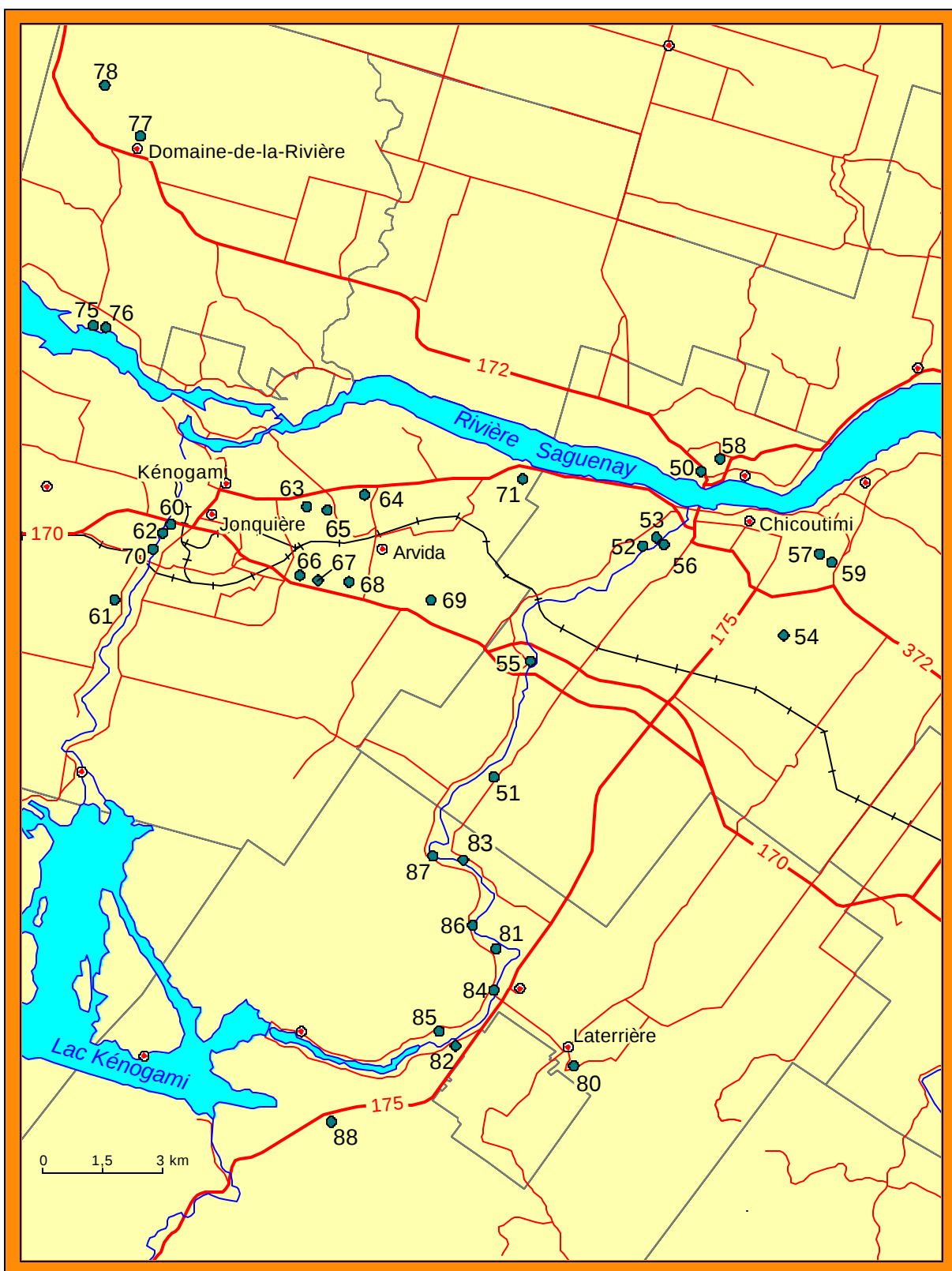


Figure 39 : Localisation des dossiers traités par le SGG, dans les secteurs de Chicoutimi et de Jonquière.

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.

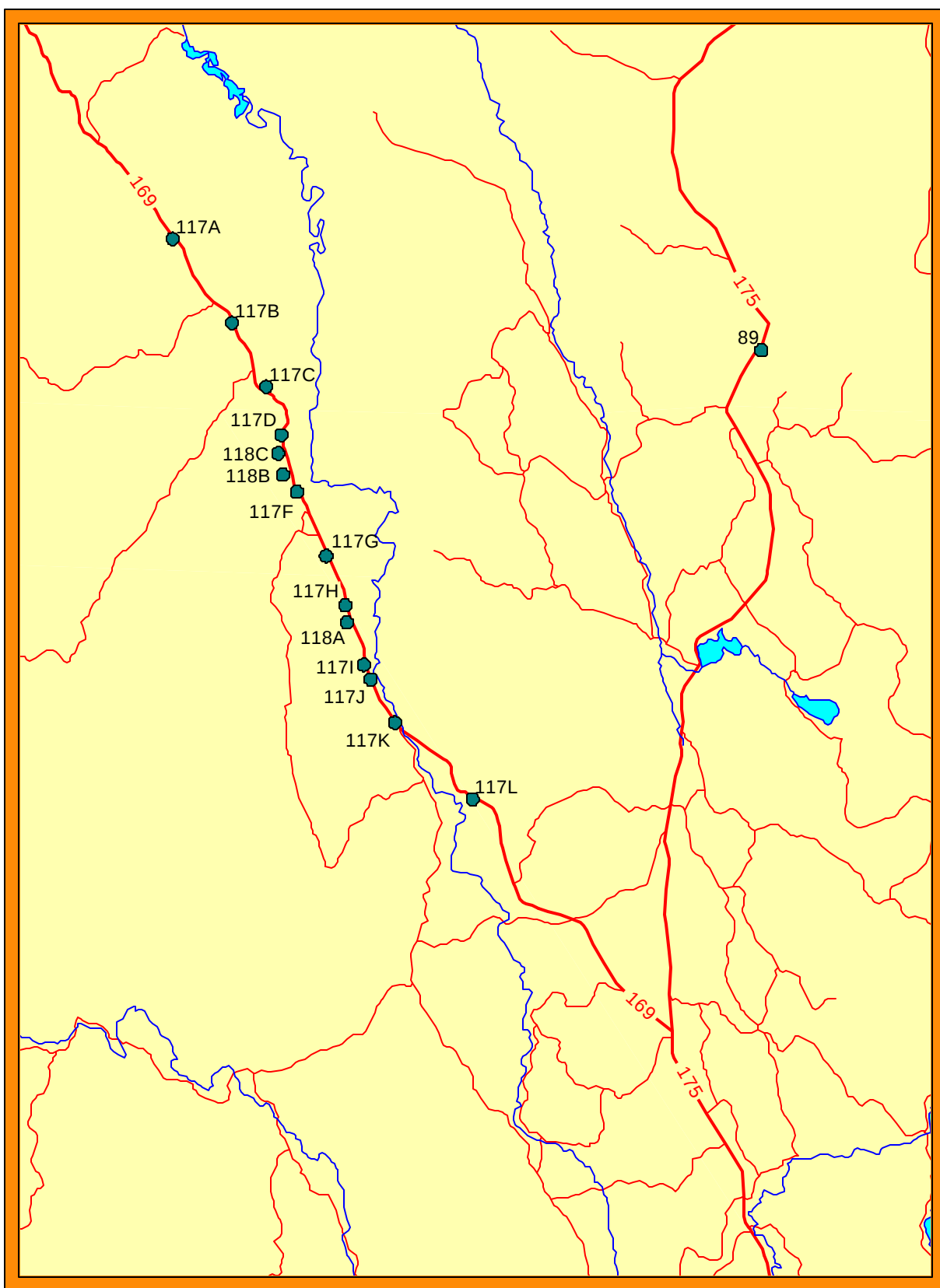


Figure 40 : Localisation des dossiers traités par le SGG, dans le secteur de la réserve faunique des Laurentides.

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.



Figure 41 : Localisation des dossiers traités par le SGG, dans le secteur du Lac-Saint-Jean-Est

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.



Figure 42 : Localisation des dossiers traités par le SGG, dans le secteur du Lac-Saint-Jean-Ouest.

Note : Les dossiers n'ayant pas fait l'objet de rapport écrit n'apparaissent pas sur la carte.



Figure 43 : Glissement superficiel avec étalement des débris à proximité d'une résidence située au pied du talus; rue Eugène-Morin, Petit-Saguenay.



Figure 44 : Bloc rocheux instable dans la cicatrice d'une coulée de débris survenue lors des pluies de juillet 1996 en bordure de la route 172.



Figure 45: Clôture de captage servant à retenir les blocs rocheux éboulés; route 169, kilomètre 22, parc des Laurentides.



A : Fissure de traction, au sommet du talus (près du calepin de notes)



B : Fissure de chevauchement à la base du talus (près du calepin de notes).

Figure 46 : Fissures dans le talus ; rue des Bouleaux, La Baie.



Figure 47 : Adoucissement du sommet de la pente pour stabiliser le talus; rue des Bouleaux, La Baie.



Figure 48 : Fissure de traction avec affaissement de 50 cm, au sommet du talus; rue Henry-McNicoll, La Baie.

Note : Le calepin de notes donne l'échelle de la photo.



Figure 49 : Vue au sol de la digue en enrochement et fosse de captage; rue Henry-McNicoll, La Baie.



Figure 50 : Vue en hélicoptère de la digue en enrochement et de la cicatrice régalee du glissement de la rue Henry-McNicoll, La Baie.

Note : La flèche indique le sens de prise de vue de la photographie précédente.



Figure 51 : Glissement de type décrochement ; rue de la Victoire, Chicoutimi.
 Note : Les débris avaient heurté la galerie et s'étaient étalés dans le stationnement.



Figure 52 : Vue du contrepoids (flèche n° 1) servant à stabiliser le talus;
 rue de la Victoire, Chicoutimi.

Note : Des bâtiments au pied du talus ont été déménagés pour la construction du contrepoids qui fut recouvert de terre végétale et ensemencé. La flèche no. 2 indique l'emplacement du glissement montré à la figure 51.

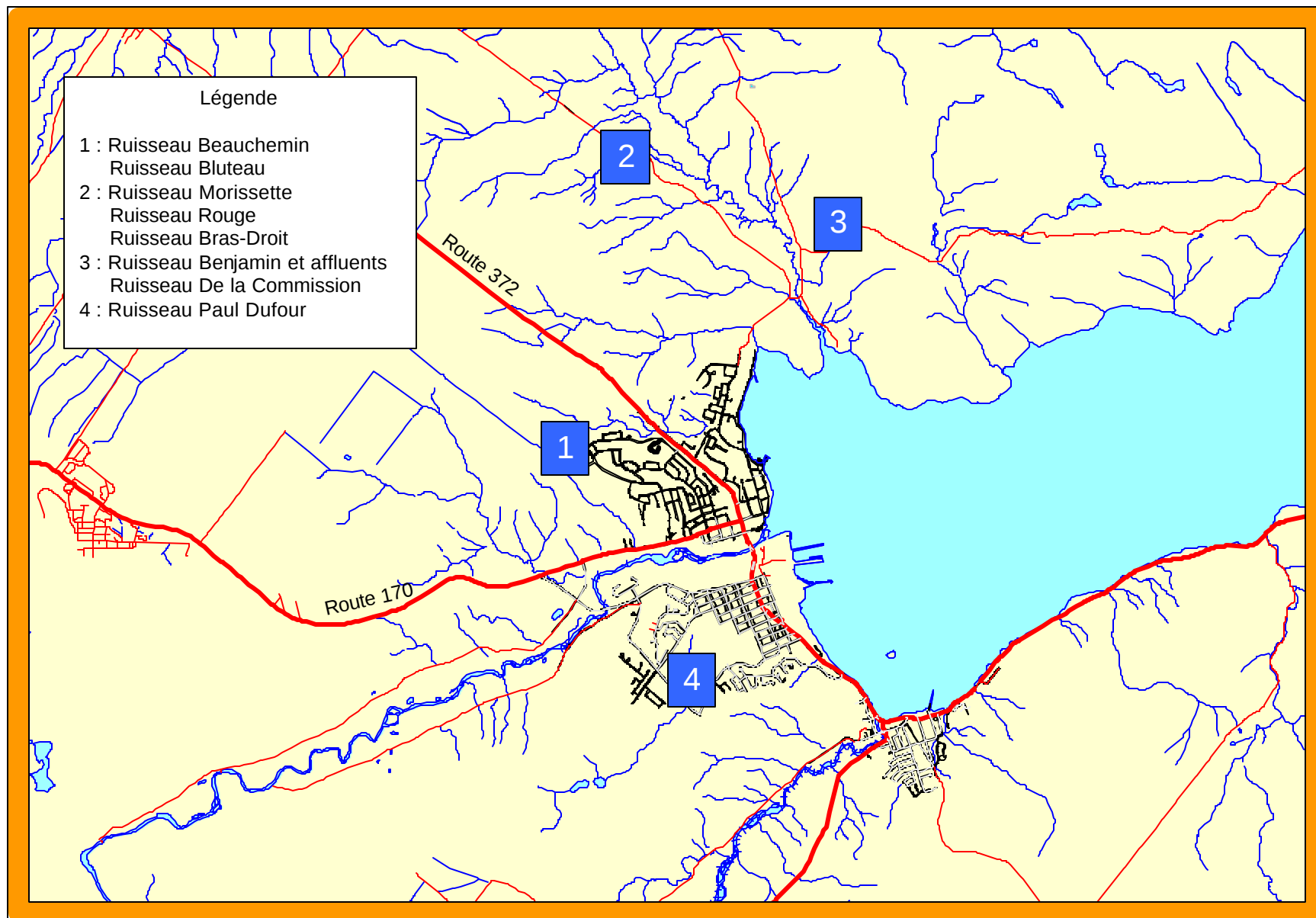


Figure 53 : Plan de localisation des secteurs confortés contre les risques de coulée argileuse à La Baie.

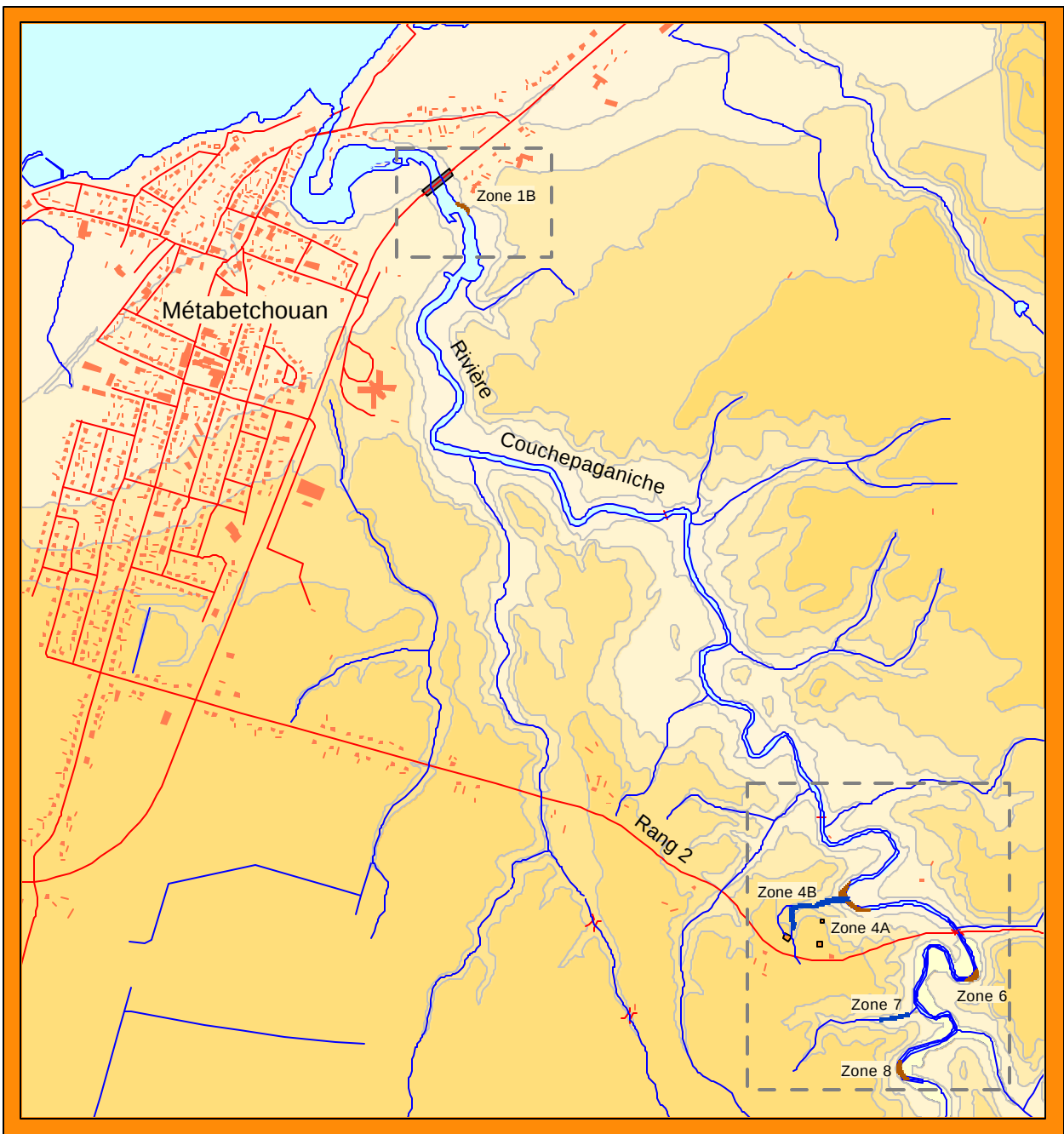


Figure 54 : Plan de localisation des secteurs confortés contre les risques de coulée argileuse, Métabetchouan.



Figure 55 : Exemple d'un ruisseau de type ravin en forme de « V »; ruisseau Rouge, La Baie, (fig. 56).



Figure 56 : Photographie aérienne illustrant un bassin de drainage de forme dendritique, typique des cours d'eau qui se développent sur une plaine argileuse (secteur 2, fig. 53.).



Figure 57 : Photographie aérienne montrant des cicatrices de coulées argileuses dont une immense (flèche) amorcée à la tête d'un ruisseau adjacent au ruisseau Bluteau, La Baie.

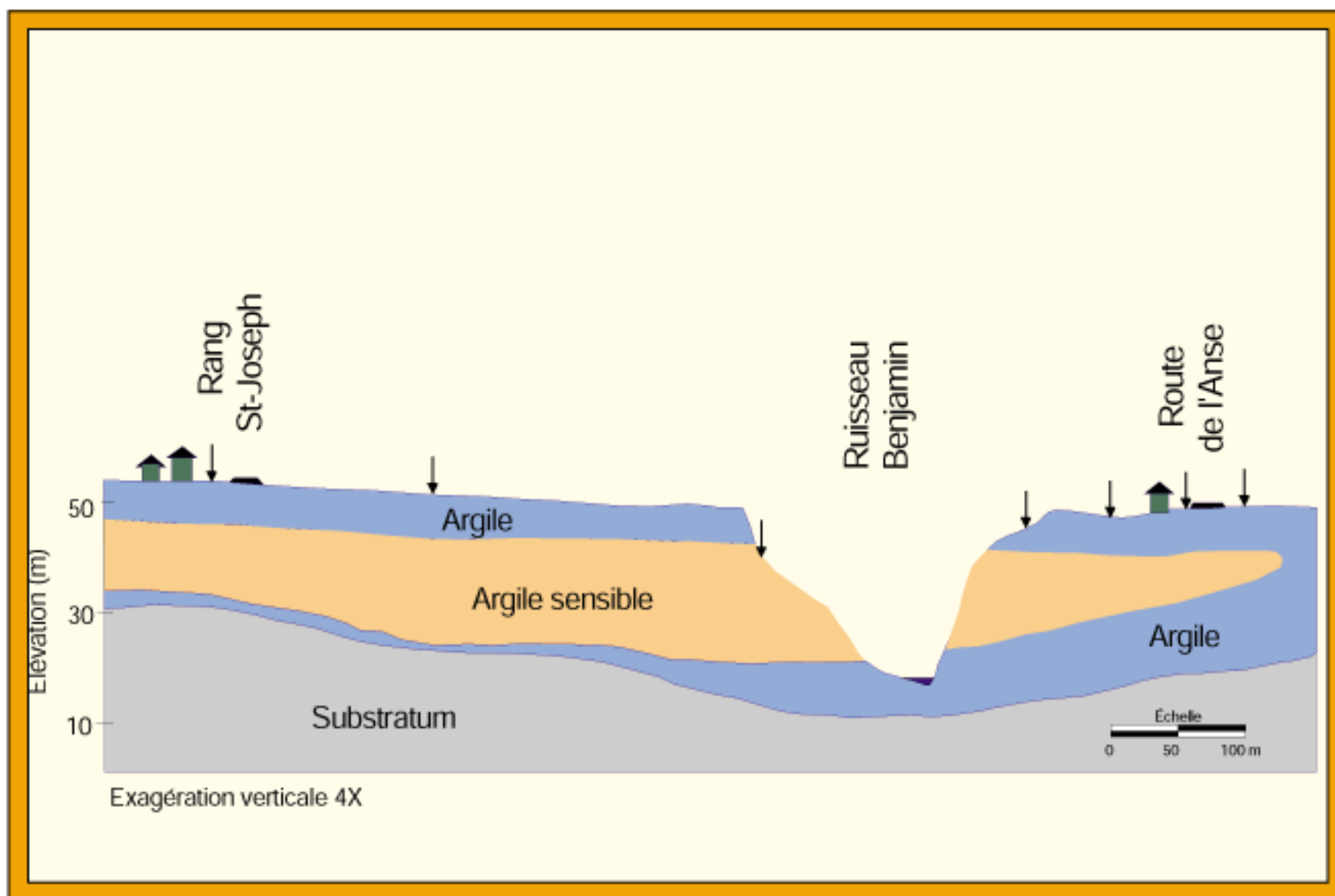


Figure 58: Exemple des caractéristiques d'un secteur à risque de coulée argileuse à La Baie.

Note : Les flèches indiquent la localisation des sondages et de l'instrumentation nécessaires à l'étude géotechnique.

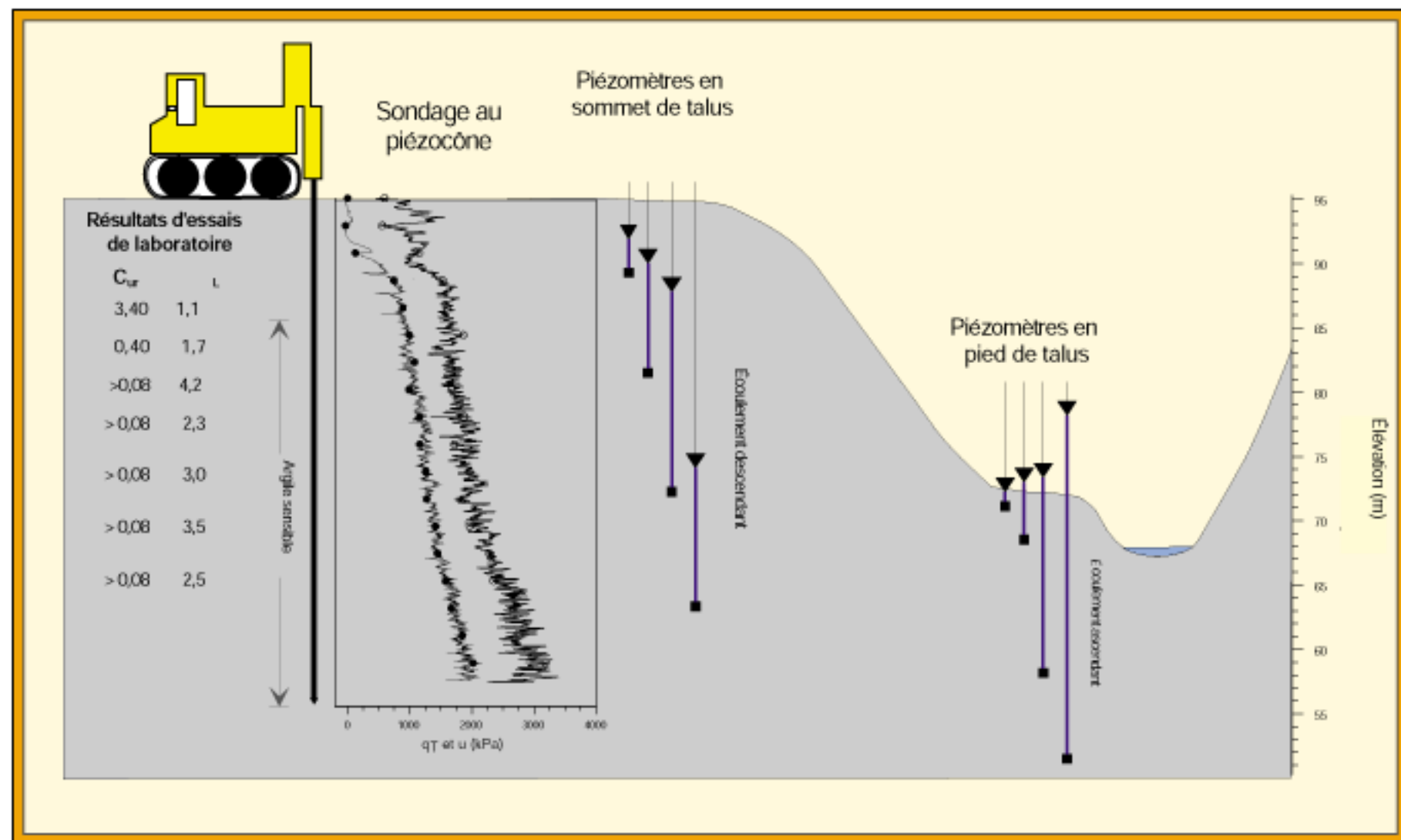
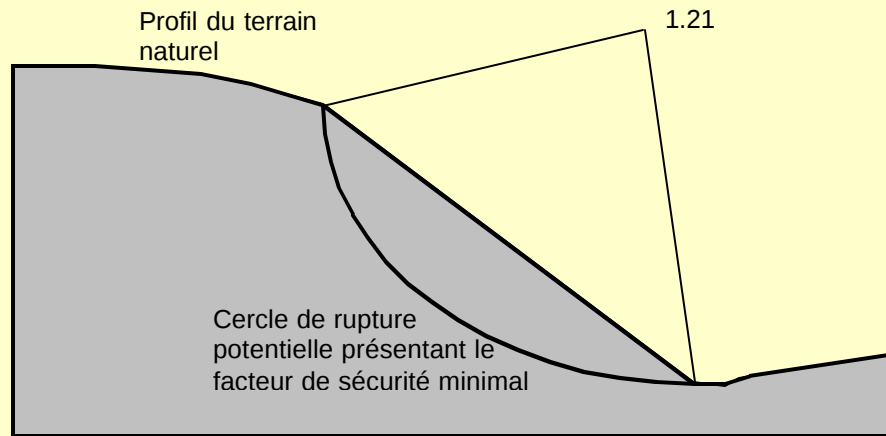


Figure 59 : Exemple de données géotechniques, ruisseau Beauchemin, La Baie.

Avant érosion
 $F.S._{min} = 1.21$



Après érosion
 $F.S._{min} = 1.08$

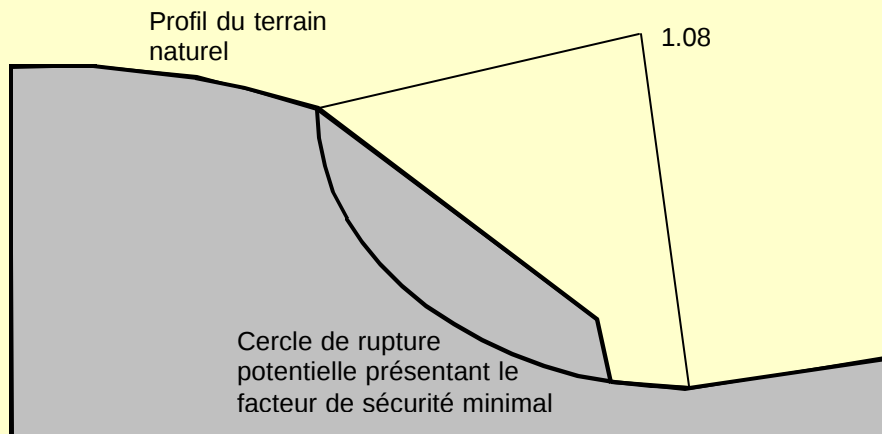


Figure 60 : Exemple de l'effet de l'érosion sur le facteur de sécurité d'un talus.



Figure 61 : Marque d'érosion encore apparente au-dessus de l'enrochement dans le ruisseau Bluteau (zone 1, fig. 53).

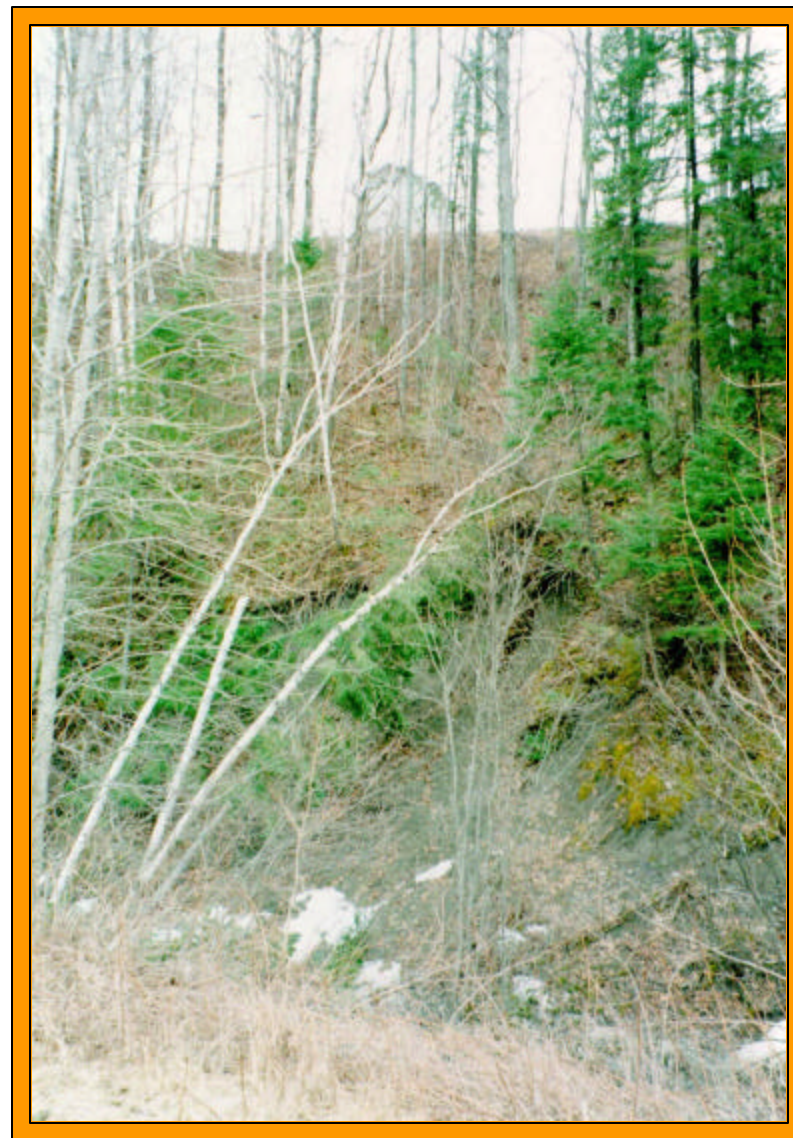
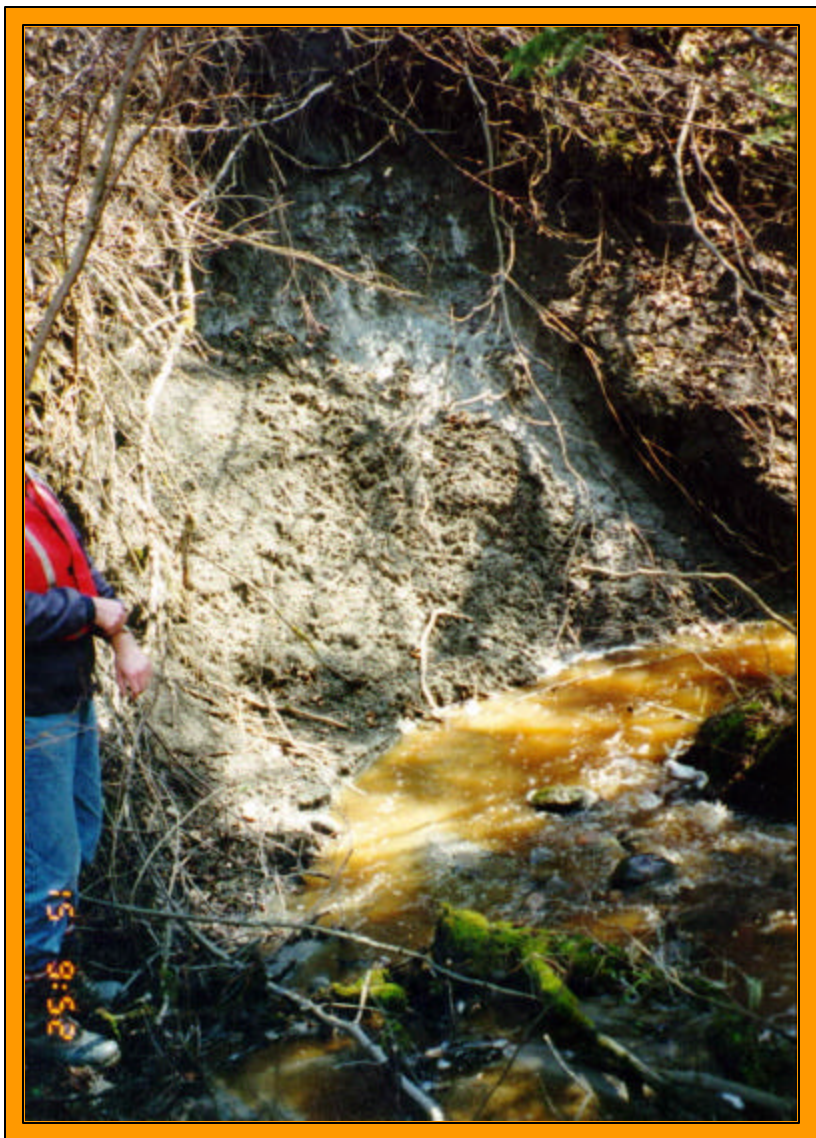


Figure 62 : Érosion au pied des talus dans le ruisseau Beauchemin (zone 1, fig. 53).



Figure 63 : Exemples d'érosion du pied des talus dans le ruisseau Morissette (zone 2, fig. 53).



Figure 64 : Important décrochement survenu le long du ruisseau Morissette en juillet 1996.

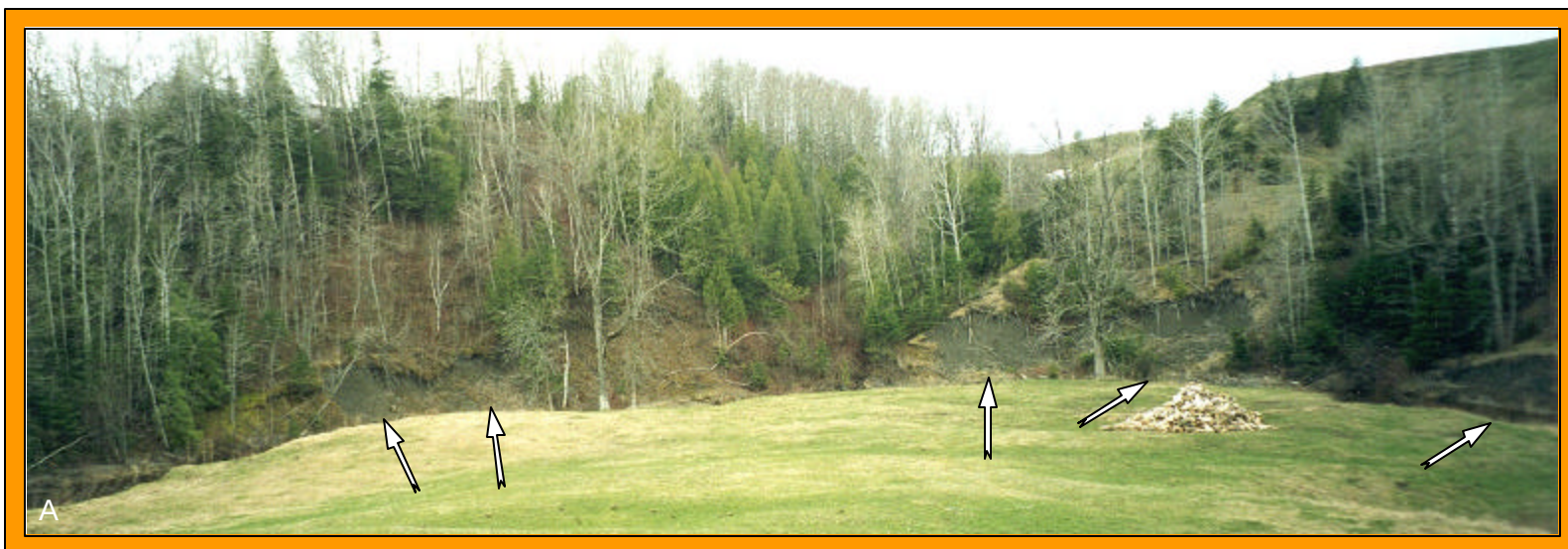
Note : La personne à droite de la cicatrice du glissement donne l'échelle de la photo.



Figure 65 : Exemples d'érosion et de glissements superficiels dans le ruisseau Benjamin (zone 3, fig. 53).



Figure 66 : Exemples d'érosion et de glissements superficiels dans le ruisseau Dufour (zone 4, fig. 53).



À noter l'érosion et les glissements superficiels (flèches). La hauteur totale du talus est de 40 mètres.



Le pied du talus est protégé de l'érosion par un enrochement en pierre. Le contrepoids est constitué de sable et il a été recouvert de terre végétale et ensemencé. (photo prise en janvier 1999, à la fin des travaux)

Figure 67 : Situation avant (A) et après (B) les travaux de stabilisation; rivière Couchepaganiche, Métabetchouan (zones 4A et 4B, fig. 54).

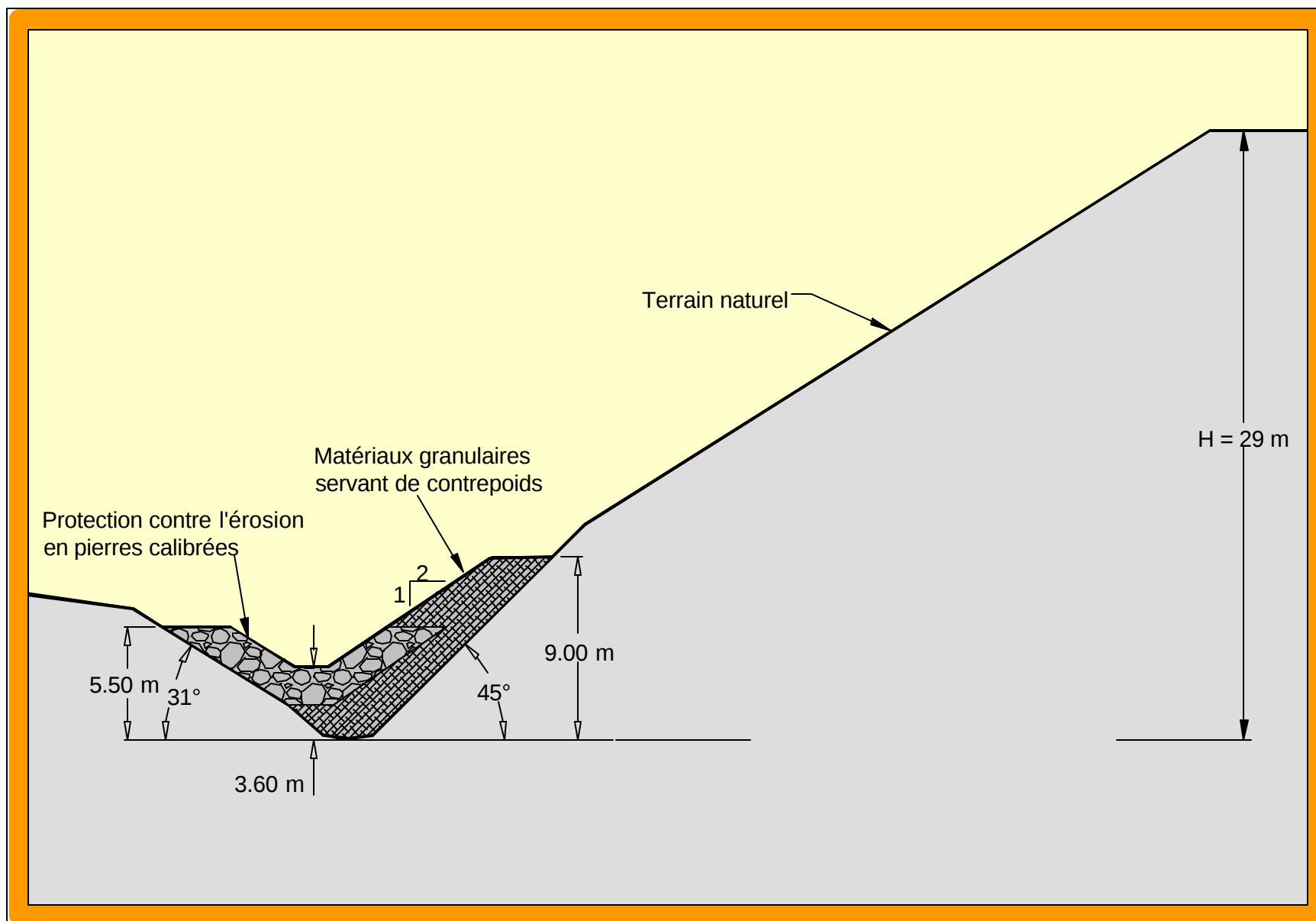


Figure 68 : Croquis illustrant des interventions effectuées dans les ruisseaux en forme de « V ».

Note : la hauteur totale du talus est de 29 mètres.



A : Travaux en cours dans le ruisseau Bluteau. Les flèches pointent les endroits où de la terre végétale a été déposée sur l'enrochement.



B : Photo prise 18 mois après la fin des travaux dans le ruisseau Beauchemin. La végétation a repris sur les contrepoids. L'eau coule à travers l'enrochement et n'est visible en surface que lors des crues.

Figure 69 : Exemples de travaux de stabilisation dans un ruisseau en forme de « V ».

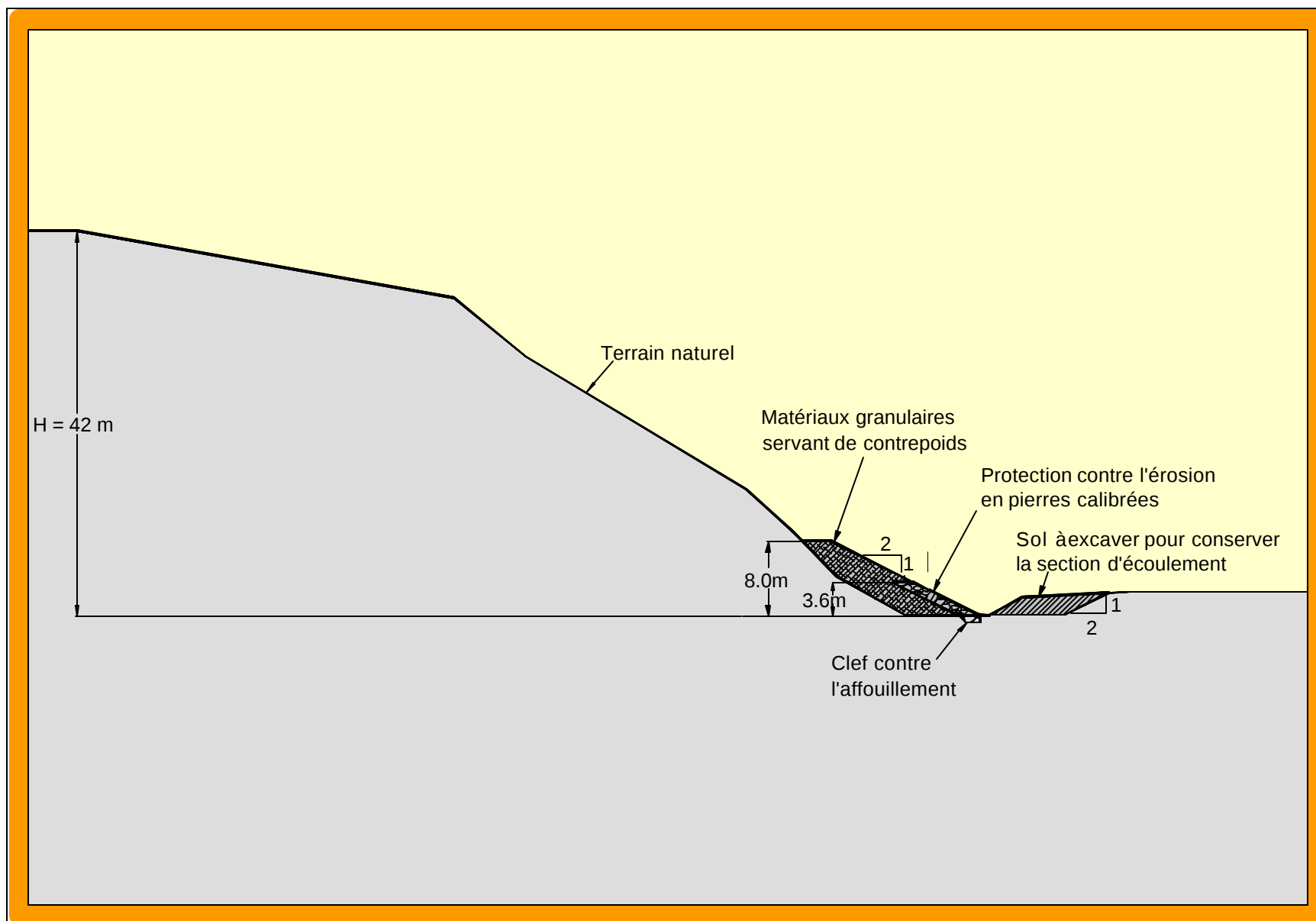


Figure 70 : Croquis illustrant des interventions dans les cours d'eau majeurs (rivière Couchepaganiche, zone 4A, fig. 54).

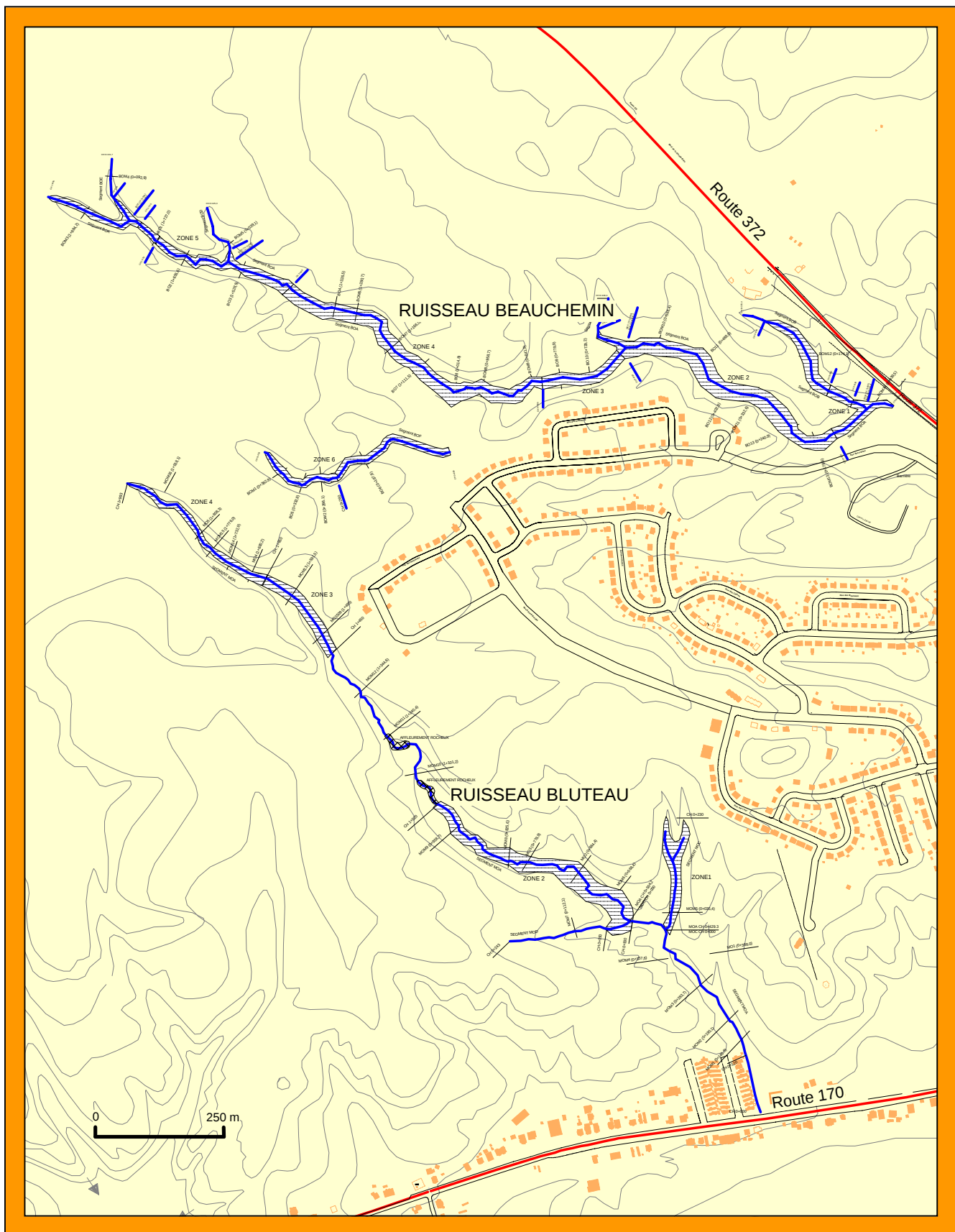


Figure 71 : Vue en plan des zones protégées; ruisseaux Beauchemin et Bluteau, La Baie, (zone 1, fig. 53).

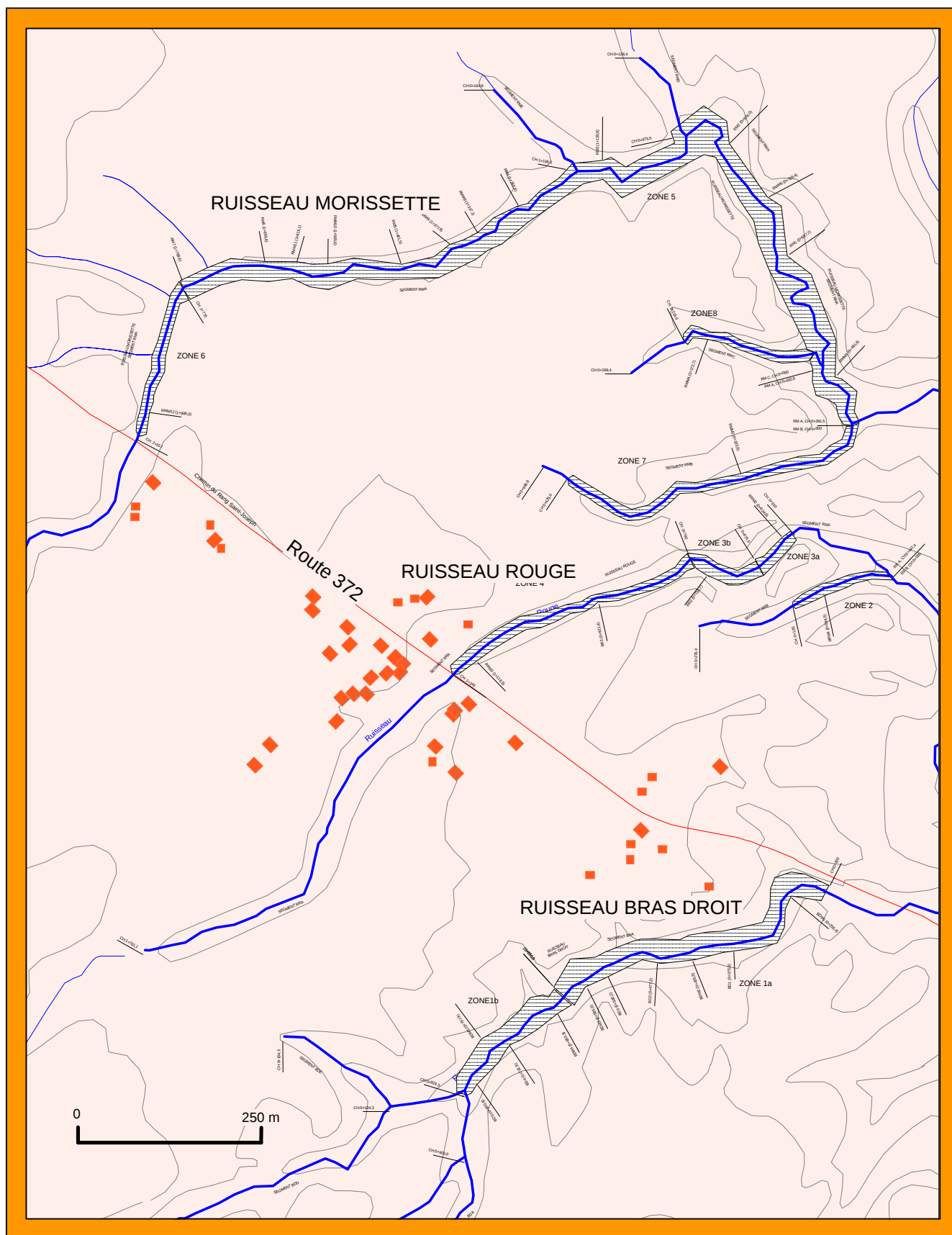


Figure 72 : Vue en plan des zones protégées, ruisseaux Bras Droit, Rouge et Morissette, La Baie (zone 2, fig. 53).

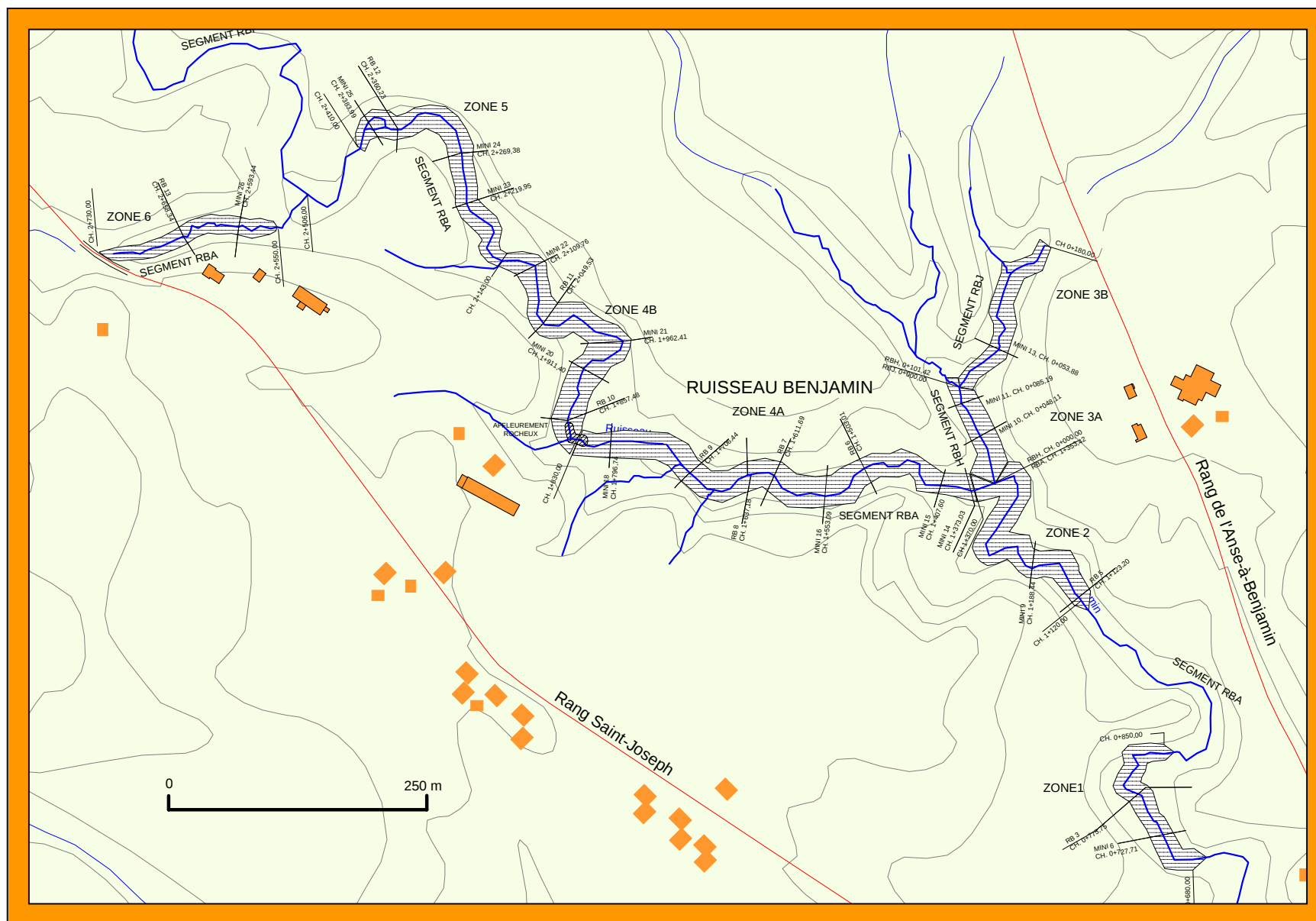


Figure 73 : Vue en plan des zones protégées; ruisseau Benjamin et petits affluents, La Baie (zone 3, fig. 53).

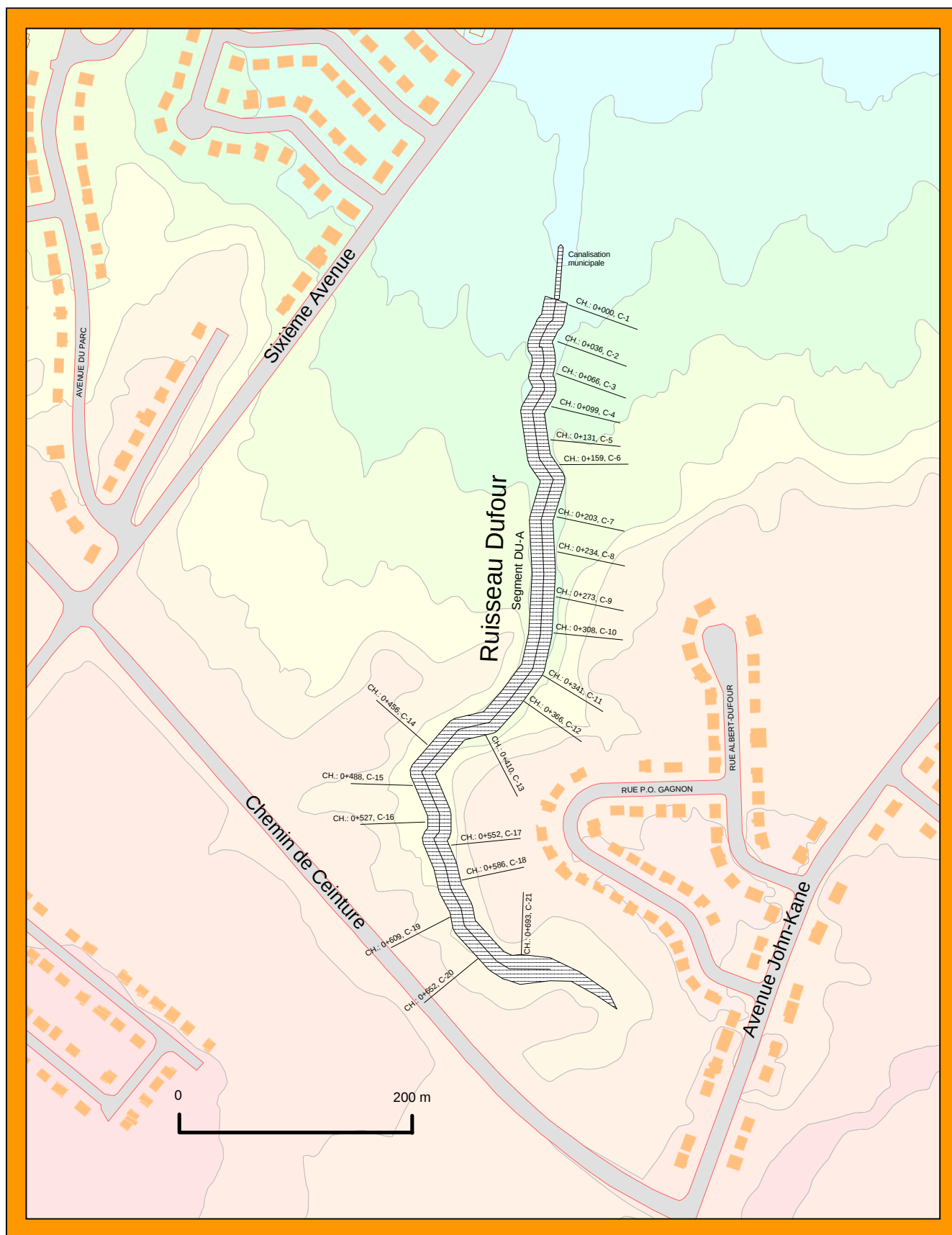


Figure 74 : Vue en plan de la zone protégée; ruisseau Dufour, La Baie (zone 4, fig. 53).

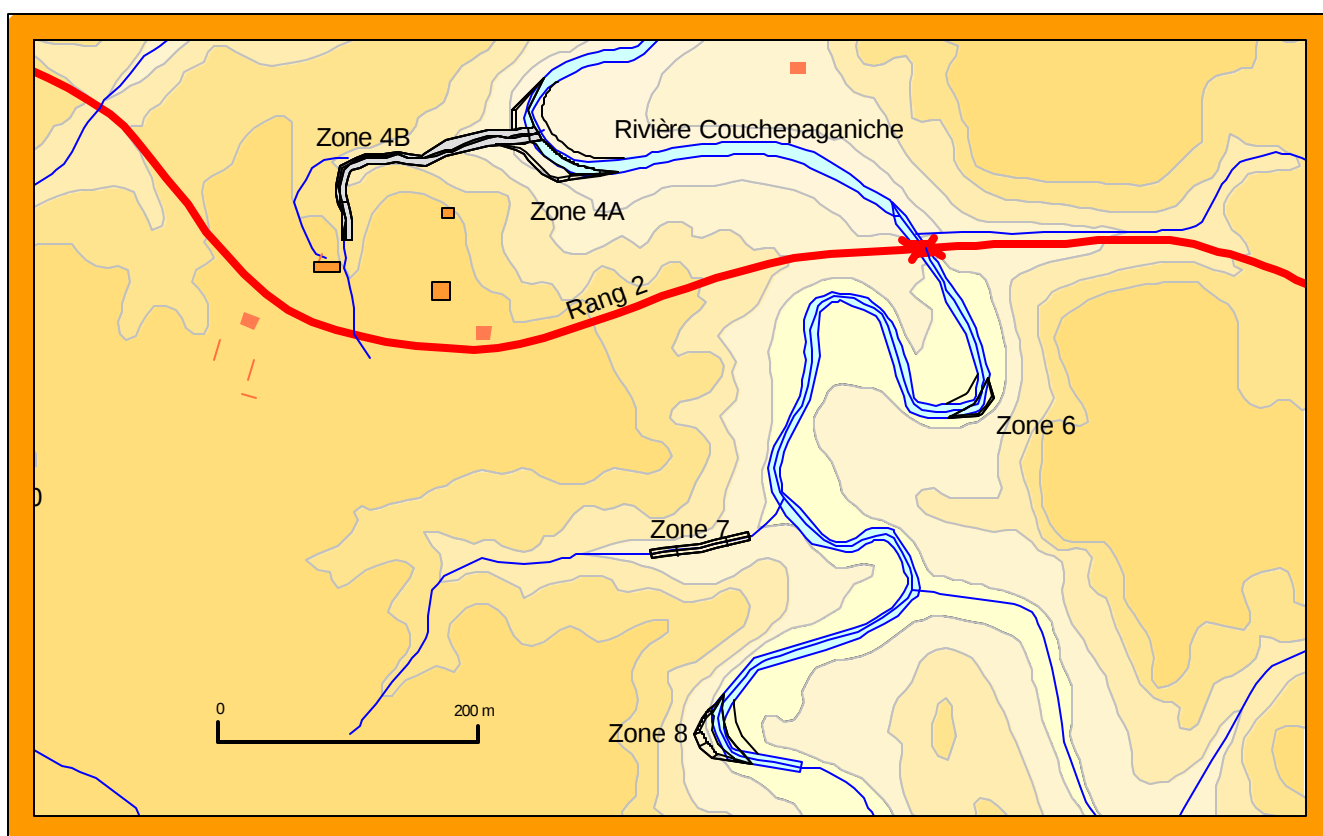
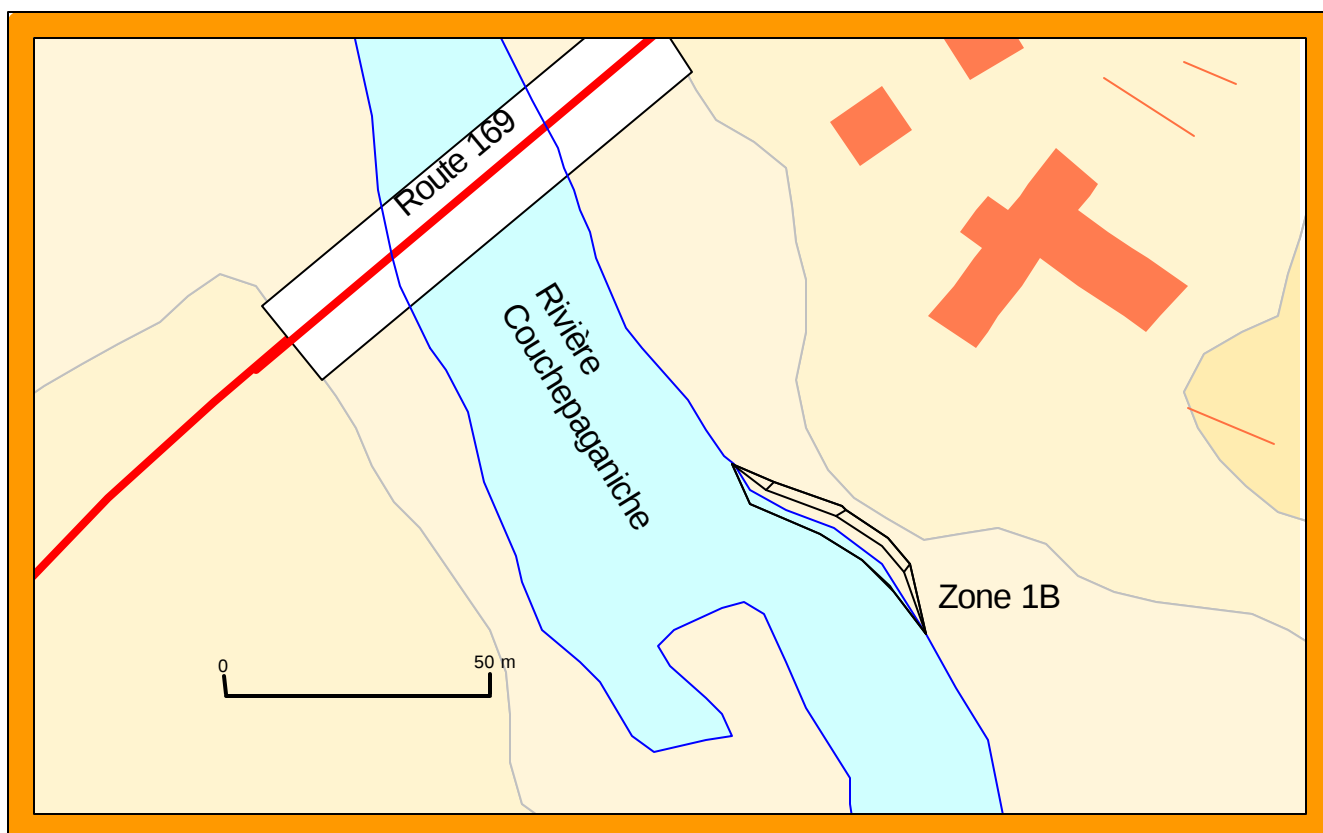


Figure 75 : Vue en plan des zones protégées; rivière Couchepaganiche, Métabetchouan (fig. 54).



Figure 77 : Exemple de zone à probabilité élevée de glissement de terrain avec secteur à risque de coulée argileuse à l'arrière.

Note : Talus subissant de l'érosion continue provoquant des glissements superficiels. Les flèches pointent des cicatrices de glissements rotationnels importants. Ce secteur fait partie des zones confortées.



Figure 78 : Exemple de zone à probabilité élevée de glissement de terrain.

Note : Talus abrupt sans cours d'eau à la base présentant des fissures ouvertes au sommet et à la base. Ce site a été conforté.



Figure 79 : Exemple de zone à probabilité moyenne de glissement de terrain.



Figure 80 : Exemple de zone à probabilité faible de glissement de terrain.

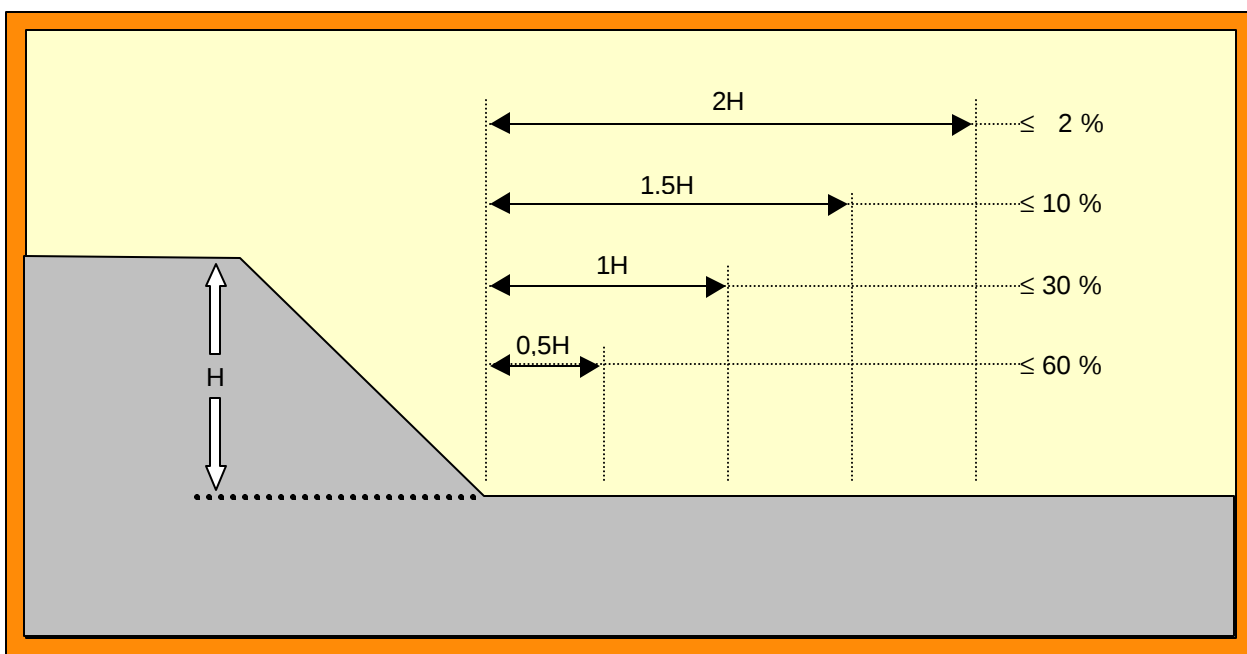
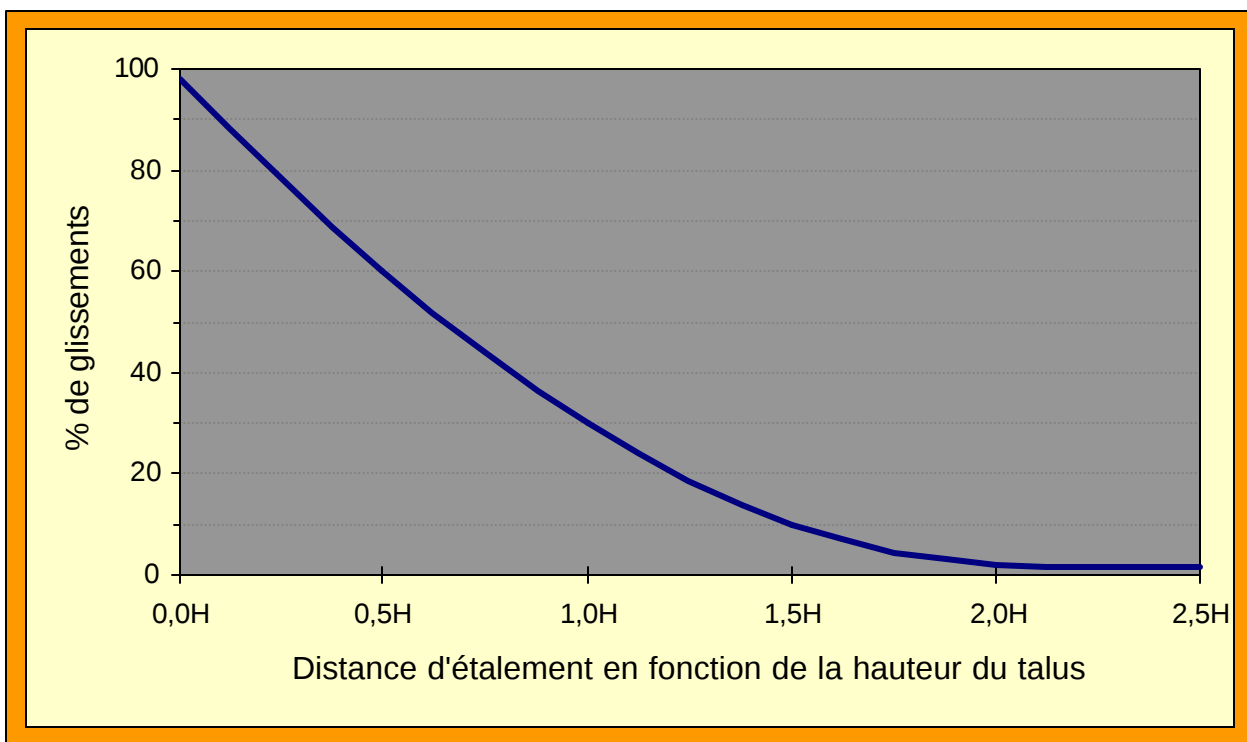


Figure 81 : Graphiques basés sur l'inventaire du CGQ montrant le pourcentage de glissements dont l'étalement des débris a dépassé une distance donnée, en fonction de la hauteur du talus.

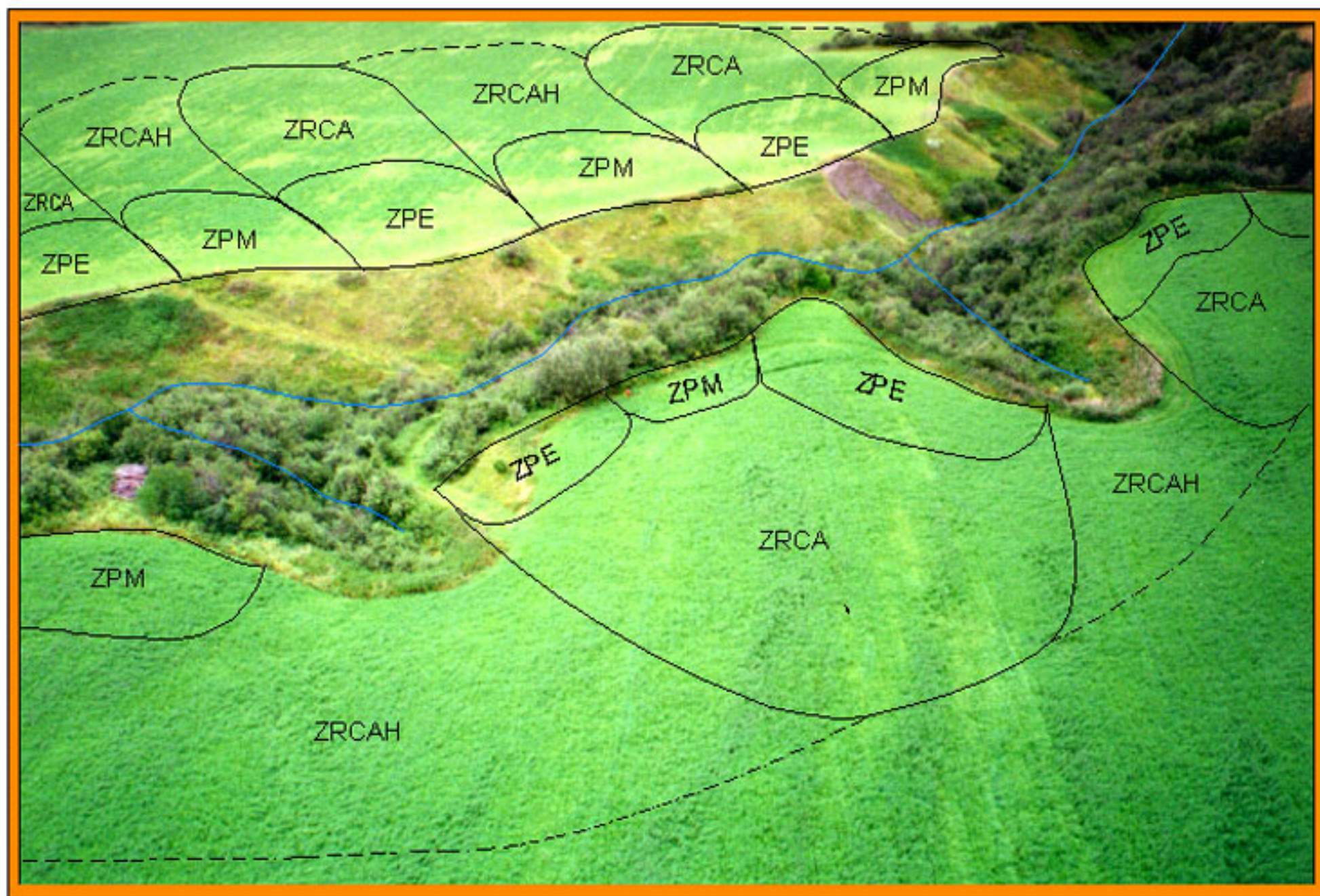


Figure 82 : Exemple de zonage le long d'un ravin avec les bandes de protection au sommet du talus et les zones à risque de coulée argileuse.