Stabilisation de talus riverain le long de la rivière Richelieu entre la rue Bernard-Pilon et l'autoroute 20 à Beloeil

Étude d'impact sur l'environnement
Addenda II – Réponses aux questions et commentaires du 31 mars 2017

Ville de Beloeil

Dossier MDDELCC : 3211-02-292
159200036-200-EN-R-0004-00 | Juillet 2017

Étude d'impact sur l'environnement
Addenda II – Réponses aux questions et commentaires du 31 mars 2017

Stabilisation de talus riverain le long de la rivière Richelieu entre la rue Bernard-Pilon et l'autoroute 20 à Beloeil

Stantec

Préparé pour :
Ville de Beloeil

Préparé par :
Stantec Experts-conseils ltée

N/Réf. : 159200036

Juillet 2017

Propriété et confidentialité

Le présent document, intitulé Étude d'impact sur l'environnement, Addenda II – Réponses aux questions et commentaires du 31 mars 2017, a été préparé par Stantec Experts-conseils ltée (« Stantec ») pour le compte de la Ville de Beloeil (le « Client »). Toute utilisation de ce document par une tierce partie est strictement défendue. Le contenu de ce document illustre le jugement professionnel de Stantec à la lumière de la portée, de l'échéancier et d'autres facteurs limitatifs énoncés dans le document ainsi que dans le contrat entre Stantec et le Client. Les opinions exprimées dans ce document sont fondées sur les conditions et les renseignements qui existaient au moment de sa préparation et ne sauraient tenir compte des changements subséquents. Dans la préparation de ce document, Stantec n'a pas vérifié les renseignements fournis par d'autres. Toute utilisation de ce document par un tiers engage la responsabilité de ce dernier. Ce tiers reconnaît que Stantec ne pourra être tenue responsable des coûts ou des dommages, peu importe leur nature, le cas échéant, engagés ou subis par ce tiers ou par tout autre tiers en raison des décisions ou des mesures prises en fonction de ce document.

Table des matières

1.0 INTRODUCTION 1.1

2.0 COMMENTAIRES GÉNÉRAUX 2.1

3.0 QUESTIONS ET COMMENTAIRES 3.1
3.1 MISE EN CONTEXTE (CHAPITRE 3) 3.1
3.2 CONSULTATION DU PUBLIC (CHAPITRE 5) 3.1
3.3 DESCRIPTION DU MILIEU RÉCEPTEUR (CHAPITRE 6) 3.1
3.3.1 Milieu biophysique (Chapitre 6.2) 3.1
3.3.2 Milieu biologique (Chapitre 6.3) 3.2
3.3.3 Milieu humain (Chapitre 6.4) 3.3
3.4 DESCRIPTION DU PROJET ET DES VARIANTES DE RÉALISATION (CHAPITRE 7) 3.6
3.4.1 Approche proposée (Chapitre 7.1) 3.6
3.4.2 Variante retenue (Chapitre 7.3) 3.7
3.4.3 Description des travaux (Chapitre 7.4) 3.10
3.4.4 Calendrier de réalisation et budget (Chapitre 7.5) 3.11
3.5 ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES D'ATTÉNUATION (CHAPITRE 9) 3.11
3.5.1 Évaluation des impacts (Chapitre 9.3) 3.11
3.5.2 Mesures d'atténuation (Chapitre 9.4) 3.18
3.6 ANNEXE A 3.19

4.0 RÉFÉRENCES 4.1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 Identification des lots dans la zone d'étude 3.3
Tableau 2 Liste d'espèces arbustives indigènes adaptées à la zone d'inondation 0-2 ans 3.8
Tableau 3 Résumé des pertes d'habitats dans les secteurs avec enrochements (arrondie à l'unité) 3.13
Tableau 4 Emplacement des photos de l'annexe B de l'étude d'impact 3.19

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A ADDENDA I AU RAPPORT DE LABO S.M. (1999)

ANNEXE B ÉTUDE HYDRAULIQUE

ANNEXE C AVIS TECHNIQUE FINAL DU MTMDET

1.0 INTRODUCTION

La Ville de Belœil entend procéder à la stabilisation d'une portion du talus riverain le long de la rivière Richelieu, entre les rues Bernard-Pilon et l'autoroute 20. Compte tenu de la nature des sols en place généralement constitués, soit de sable fin brun silteux à sable et silt brun, soit d'argile silteuse grise contenant des traces de sable fin, les berges de la rivière sont très susceptibles aux effets de l'érosion fluviale. Selon les résultats d'inspection visuelle de 2012, 300 m linéaires de berge en érosion répartis en sept sites ont été identifiés comme nécessitant des travaux de stabilisation d'urgence tandis qu'environ 2 215 m linéaires de berge répartis en 16 sites ont été identifiés à surveiller et feront l'objet consolidation par l'utilisation du génie végétal.

Compte tenu de son envergure, le projet est soumis à l'article 31.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (LQE) (L.R.Q., c. Q-2) et devra faire l'objet d'un décret gouvernemental en vertu de l'article 31.5 de cette loi.

Dans ce contexte, la Ville de Belœil a déposé son étude d'impact sur l'environnement en janvier 2016 en réponse à la directive du ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) transmise en septembre 2014. À la suite de son analyse, le MDDELCC a émis une série de questions et commentaires le 26 avril 2016 et un addenda à l'étude d'impact a été déposé 16 février 2017.

Une deuxième série de questions et de commentaires a été émise par la suite par le MDDELCC, le 31 mars 2017. Le présent rapport constitue le second addenda à l'étude d'impact du projet et apporte les réponses à ces questions et commentaires.

2.0 COMMENTAIRES GÉNÉRAUX

La Direction des projets hydriques et industriels (DÉEPHI) tient à souligner que la dynamique des berges est complexe et nécessite la prise en compte de multiples facteurs. Compte tenu du dynamisme et l'imprévisibilité du processus, il est primordial qu'un programme de stabilisation des berges tienne compte des changements possibles dans le temps. Pour faciliter la gestion des berges, la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (PPRLPI) recommande d'ailleurs de mettre en place un plan de gestion à une échelle globale, normalement associé aux municipalités régionales de comté. Un plan de gestion des rives, du littoral et des plaines inondables permet de ne pas attendre une situation critique avant d'agir et de prévoir une série de mécanismes à mettre en place advenant l'observation d'érosion pouvant devenir problématique.

Le projet de stabilisation de talus riverain le long de la rivière Richelieu entre la rue Bernard-Pilon et l'autoroute 20 à Belœil ne vise que la gestion de la rive gauche de la rivière Richelieu. Or, le phénomène d'érosion fluviale est systémique et devrait comprendre la caractérisation des berges soumises à l'érosion de part et d'autre de la rivière. L'initiateur doit préciser, dans le contexte global du projet, comment il prend en compte que l'érosion des berges est un processus systémique dont les rives gauche et droite sont intimement liées. L'initiateur doit expliquer comment son projet s'intègre dans la gestion des berges sur le territoire de la municipalité régionale de comté (MRC) de la Vallée-du-Richelieu.

Le projet s'insère dans le schéma d'aménagement de la MRC de la Vallée-du-Richelieu, notamment parce qu'il vise le même objectif en matière de protection contre l'érosion des berges. En effet, l'article 3.9.2 du schéma d'aménagement stipule qu'il faut *prévoir des mesures permettant de limiter les effets liés aux évènements climatiques extrêmes*. Pour ce faire, il faut *améliorer la stabilité des talus en bordure des rives des cours d'eau, afin de contrer les risques de mouvement du sol* (MRC de la Vallée-du-Richelieu, 2007), ce qui est précisément visé par le projet.

3.0 QUESTIONS ET COMMENTAIRES

3.1 MISE EN CONTEXTE (CHAPITRE 3)

QC-88 En complément à sa réponse à la QC-3, l'initiateur doit compléter le tableau 1 en ajoutant la largeur du replat et la nature de l'infrastructure menacée pour chacun des tronçons de chacun des secteurs incluant les tronçons à surveiller et stables. Cette information sera celle de base pour les interventions à moyen et long terme. Elle permettra d'établir la situation actuelle de la berge, ce qui est nécessaire pour faire le suivi des différents tronçons.

Les informations sur les tronçons à surveiller figurent au tableau 1 de l'addenda 1. Les informations pour les tronçons stables seront précisées lors du dépôt des demandes de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE pour la réalisation des travaux à moyen et à long terme.

3.2 CONSULTATION DU PUBLIC (CHAPITRE 5)

QC-89 Une des préoccupations soulevées par le public, lors de la consultation du 17 février 2016, est l'érosion des berges générée par le passage à grande vitesse des bateaux sur la rivière Richelieu (réponse à la QC-9). La DÉEPHI considère également que le batillage est une des principales sources d'érosion fluviale dans le secteur. Bien que la navigation soit de compétence fédérale, l'initiateur doit détailler les mesures qu'il compte mettre en œuvre pour minimiser l'impact du batillage et ainsi réduire une partie de la problématique d'érosion à la source.

Puisque la navigation est de compétence fédérale, la Ville de Belœil ne peut pas initier de son propre chef des démarches pour faire adopter des mesures pour minimiser l'impact du batillage. Toutefois, l'initiateur s'engage à collaborer activement avec le gouvernement fédéral et les autres partenaires, dont le COVABAR à ce sujet.

3.3 DESCRIPTION DU MILIEU RÉCEPTEUR (CHAPITRE 6)

3.3.1 Milieu biophysique (Chapitre 6.2)

QC-90 La réponse à la question QC-11 est considérée comme incomplète. La DÉEPHI considère que les éléments demandés à la QC-11 sont essentiels au choix de la technique d'intervention et à la calibration des ouvrages. Les données utilisées pour répondre à la question doivent être le plus à jour possible.

L'initiateur doit compléter la section Régime hydrologique et hydraulique à l'emplacement des travaux en réalisant une caractérisation des paramètres hydrauliques permettant de déterminer les vitesses de courant moyennes et en période de crue, les niveaux d'eau en crue, en étiage et

en condition moyenne, le régime des glaces et les paramètres de vagues (naturelles et de batillage) et de marnage à l'emplacement des travaux.

L'initiateur doit compléter la section Dynamique d'érosion et régime sédimentologique en décrivant, de façon détaillée, les facteurs d'érosion pour chacun des secteurs (vagues, glaces, niveaux d'eau, drainage, batillage, etc.) et les mécanismes d'érosion (érosion fluviale, glissement, etc.).

Dans son *Avis relatif à recevabilité du « Projet de stabilisation des talus de berge de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours » - Volet Milieux humides* du 19 mars 2009, le MDDEP expliquait que de réaliser une étude du régime sédimentologique afin d'éviter la stabilisation à certains endroits en agissant directement sur la cause de l'érosion n'était pas nécessaire puisque la principale cause d'érosion identifiée est le batillage causé par les bateaux de plaisance et qu'il n'est pas possible de contrôler cet élément (BAPE, 2009). L'initiateur est d'avis que ce raisonnement s'applique également pour les tronçons touchés de la Ville de Belœil.

QC-91 En complément de sa réponse à la QC-17, l'initiateur doit modifier l'engagement H11 prévu à la page 85 de l'étude d'impact de façon à ce que les percées visuelles sur les tronçons à stabiliser s'appliquent uniquement dans les cas où les propriétaires en auront fait expressément la demande. L'initiateur doit aussi préciser s'il compte adopter une approche de sensibilisation envers les propriétaires qui auront exprimé l'intention de réaliser des travaux de coupe de végétation riveraine.

L'initiateur s'engage à réaliser des percées visuelles uniquement dans les cas où des propriétaires en auront fait la demande.

Tel que présenté à la réponse à QC-10, une campagne de sensibilisation sur la protection des berges est prévue dans le cadre des démarches de consultation amorcée par la Ville. L'initiateur s'engage à ce que les propriétaires qui auront exprimé l'intention de réaliser des travaux de coupe de végétation riveraine soient visés par cette campagne.

3.3.2 Milieu biologique (Chapitre 6.3)

QC-92 L'initiateur doit répondre à la partie de la QC-26 suivante : *L'initiateur devra présenter les méthodes d'inventaires appliquées pour chaque groupe d'espèces (mammifères, herpétofaune et avifaune)*. S'il n'y a pas eu d'inventaire, l'initiateur doit le signifier et le justifier.

Dans le cadre de l'étude d'impact, il n'y a pas eu d'inventaire pour chaque groupe d'espèces. En effet, puisque le programme de stabilisation s'échelonne sur 10 ans, il est préférable d'attendre à la dernière minute pour réaliser l'inventaire de chaque groupe d'espèces afin d'avoir le portrait le plus fidèle possible au moment de faire les travaux et ainsi mettre en place les mesures d'atténuation les mieux adaptées.

Tel que présenté à la réponse QC-26, l'initiateur s'engage à réaliser un inventaire herpétologique préalablement à la réalisation des travaux pour chaque site d'intervention et d'en présenter les résultats dans la demande de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE. L'initiateur s'engage également à faire des inventaires pour les espèces à statut particulier dont le potentiel de se retrouver dans la zone d'étude aura été démontré. Les protocoles d'échantillonnage utilisés auront été préalablement approuvés par le MFFP.

Rappelons que pour la protection de la nidification de l'avifaune, l'initiateur s'est engagé à ce qu'aucun déboisement n'ait lieu entre le 16 mars et le 1er octobre.

3.3.3 Milieu humain (Chapitre 6.4)

QC-93 En réponse à la QC-31, l'initiateur mentionne que le rapport de potentiel archéologique présenté dans l'étude d'impact est le rapport final. Ce rapport recommande la réalisation d'inventaires archéologiques. À ce niveau, l'initiateur s'est engagé à réaliser un inventaire archéologique préalable aux travaux de stabilisation envisagés dans les secteurs où il existe un potentiel archéologique. L'initiateur doit justifier pourquoi cet inventaire archéologique ne peut être réalisé dès maintenant. Advenant que sa justification soit jugée adéquate, l'initiateur doit présenter sa stratégie d'inventaire archéologique.

Puisque le programme de stabilisation des berges s'étend sur 10 ans, il n'est pas urgent de réaliser les inventaires archéologiques dans tous les secteurs d'intervention. Un seul secteur prioritaire (zone rouge au chaînage 0+400 et 0+440) est situé dans une zone de potentiel archéologique et l'initiateur s'engage à y réaliser, avant tout travail, l'inventaire dans le cadre de la demande de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE.

La stratégie d'inventaire archéologique est présentée en détail dans la section 7 – *Recommandations* du rapport d'Arkéos, à l'annexe I de l'étude d'impact.

QC-94 En complément à la QC-33, l'initiateur doit fournir une carte du zonage municipal et du statut de propriété des terrains et nous exposer les contraintes d'aménagement (s'il y a lieu).

Le tableau suivant présente tous les lots où l'on retrouve des interventions, leur statut de propriété ainsi que le zonage municipal. La Ville de Belœil confirme qu'il n'y a pas de contrainte d'aménagement pour les zones *Conservation* et *Publique et institutionnelle*.

Tableau 1 Identification des lots dans la zone d'étude

Lot	Propriété	Zone
4 493 354	Privée	Conservation
4 493 453	Ville de Belœil	Conservation
4 493 456	Ville de Belœil	Conservation
4 493 463	Privée	Conservation
4 493 464	Privée	Conservation

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Lot	Propriété	Zone
4 493 465	Privée	Conservation
4 493 466	Privée	Conservation
4 493 467	Privée	Conservation
4 493 468	Privée	Conservation
4 493 469	Privée	Conservation
4 493 653	Privée	Conservation
4 493 654	Privée	Conservation
4 493 655	Privée	Conservation
4 493 656	Privée	Conservation
4 493 657	Privée	Conservation
4 493 696	Privée	Conservation
4 493 697	Privée	Conservation
4 493 698	Privée	Conservation
4 493 700	Ville de Belœil	Conservation
4 496 595	Ville de Belœil	Conservation
4 496 836	ch. de Fer	Conservation
4 554 029	Privée	Conservation
4 554 030	Privée	Conservation
4 554 031	Privée	Conservation
4 554 033	Ville de Belœil	Conservation
4 554 034	Privée	Conservation
4 554 035	Privée	Conservation
4 554 036	Ville de Belœil	Conservation
4 554 038	Privée	Conservation
4 554 039	Privée	Conservation
4 554 040	Privée	Conservation
4 554 041	Privée	Conservation
4 554 042	Privée	Conservation
4 554 043	Privée	Conservation
4 554 045	Privée	Conservation
4 554 078	Privée	Conservation
4 554 079	Privée	Conservation
4 554 080	Ville de Belœil	Publique et institutionnelle
45 540	Ville de Belœil	Publique et institutionnelle
4 554 082	Ville de Belœil	Publique et institutionnelle
4 554 083	Privée	Conservation
4 554 085	Privée	Conservation
4 554 100	Privée	Conservation

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Lot	Propriété	Zone
4 554 364	Privée	Conservation
4 554 398	Ville de Belœil	Conservation
4 554 399	Privée	Conservation
4 554 400	Privée	Conservation
4 554 401	Privée	Conservation
4 554 403	Privée	Conservation
4 556 017	Privée	Conservation
4 626 427	Privée	Conservation
4 626 428	Ville de Belœil	Conservation
4 626 429	Privée	Conservation
4 262 430	Privée	Conservation
4 626 431	Privée	Conservation
4 626 432	Privée	Conservation
4 626 433	Privée	Conservation
4 626 434	Privée	Conservation
4 626 435	Privée	Conservation
4 626 436	Privée	Conservation
4 626 437	Ville de Belœil	Conservation
4 626 438	Privée	Conservation
4 626 439	Privée	Conservation
4 626 440	Ville de Belœil	Conservation
4 626 550	Ville de Belœil	Conservation
4 626 551	Privée	Conservation
4 626 554	Privée	Conservation
4 626 555	Ville de Belœil	Conservation
4 626 556	Privée	Conservation
4 626 557	Privée	Conservation
4 626 558	Ville de Belœil	Conservation
4 627 509	Ville de Belœil	Conservation
4 627 511	Privée	Conservation
4 627 512	Privée	Conservation
4 627 550	Privée	Conservation
4 627 551	Privée	Conservation
4 627 552	Privée	Conservation
4 627 621	Privée	Conservation
4 627 622	Privée	Conservation
4 629 185	Ville de Belœil	Conservation
4 629 186	Privée	Conservation

Lot	Propriété	Zone
4 629 187	Privée	Conservation
4 629 191	Privée	Conservation
4 629 192	Privée	Conservation
4 629 193	Ville de Belœil	Publique et institutionnelle
4 629 194	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 195	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 196	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 197	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 199	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 200	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 201	Privée	Publique et institutionnelle
4 629 204	Privée	Conservation
4 629 205	Privée	Conservation
4 629 206	Privée	Conservation
4 629 207	Privée	Conservation
4 629 425	Ville de Belœil	Conservation
4 629 445	Ville de Belœil	Conservation
4 629 747	Privée	Conservation
5 246 448	Privée	Conservation
5 246 449	Ville de Belœil	Conservation
4 493 353-P	Régie d'assainissement des eaux de la vallée du Richelieu (RAEVR)	Conservation

Source : Ville de Belœil, 2012

3.4 DESCRIPTION DU PROJET ET DES VARIANTES DE RÉALISATION (CHAPITRE 7)

3.4.1 Approche proposée (Chapitre 7.1)

QC-95 Dans sa réponse à la QC-37, l'initiateur précise qu'une inspection des berges sera faite tous les cinq ans ou après un évènement de crue exceptionnelle qui pourrait laisser croire à une accélération accrue de la dégradation des berges. Cette fréquence est nettement insuffisante pour assurer des interventions préventives et adéquates le long des berges. L'initiateur doit s'engager à réaliser un suivi annuel des berges. L'initiateur doit décrire dès maintenant les paramètres qui seront notés dans le suivi de façon à s'assurer d'une uniformité dans les observations. Le suivi doit notamment inclure un suivi des infrastructures menacées par les mouvements de sols causés par l'érosion des rives. La chaussée et les conduites souterraines peuvent présenter des signes de détérioration observables par la présence de fissures par

exemple. Les mécanismes qui seront déployés advenant que le rapport d'inspection conclut sur la nécessité d'une intervention doivent aussi être présentés.

L'initiateur s'engage à réaliser un suivi annuel des berges et à produire un rapport d'inspection à la suite de chaque visite. Dans un souci d'uniformiser les données recueillies, les paramètres suivants seront notés à tous les 100 mètres le long des rives visées lors des visites annuelles :

- Hauteur du talus ;
- Largeur du haut de talus ;
- Angle de la pente mesurée à l'inclinomètre à partir du haut de talus ;
- Inspection visuelle de la berge ;

Des photos du haut de talus et du bas de talus seront également prises à chaque 100 mètres. Il est à noter qu'advenant le cas où des changements significatifs de la rive sont notés, ils seront indiqués sur les figures, en plus des tableaux de compilation de chaque secteur.

À ces activités annuelles de suivi des berges s'ajouteront celles visant à vérifier l'état des infrastructures menacées par le mouvement des sols. À cet effet, la chaussée et les conduites souterraines adjacentes à la berge feront l'objet d'inspections visuelles chaque année. Par exemple, la présence de fissures et d'usure prématurée des installations sera notée et photographiée. L'ensemble des données recueillies seront compilées à l'intérieur d'un rapport d'inspection qui conclura de la nécessité, ou non, d'intervenir pour corriger des situations problématiques. Un plan d'intervention sera développé par la suite, si jugé nécessaire.

3.4.2 Variante retenue (Chapitre 7.3)

QC-96 Dans sa réponse à la QC-43 l'initiateur s'engage à envisager la possibilité d'ensemencer les sections catégorisées comme stables afin de prévenir l'érosion. L'initiateur doit plutôt prendre un engagement ferme en ce sens. Il doit aussi considérer la mise en place de plantations.

L'initiateur s'engage à ensemencer les sections catégorisées comme stables lui appartenant et à sensibiliser les propriétaires de l'importance de végétaliser les berges pour en assurer leur stabilité. Selon les conditions sur le terrain, des plantations d'arbustes et d'arbres seront considérées.

QC-97 À la QC-44, l'initiateur réfère au rapport de LABO S.M. inc.de septembre 1999 pour justifier la calibration des enrochements (300-500 mm). L'initiateur doit plutôt présenter des données hydrauliques à jour et les méthodes de calcul utilisées pour calibrer l'enrochement.

Le rapport de LABO S.M inc. de septembre 1999 est présenté à l'annexe D de l'addenda 1. On y retrouve les données hydrauliques et le dimensionnement des enrochements pour le même secteur de Belœil. L'addenda I à ce rapport est présenté à l'annexe A du présent rapport. L'annexe B contient l'étude hydraulique réalisée par le MTQ en 2010 pour la stabilisation des

berges entre Belœil et Saint-Ours. L'initiateur considère que ces données sont toujours applicables au projet.

QC-98 L'initiateur affirme, en réponse à la QC-45, que recouvrir la clé d'enrochement avec le matériel excavé et planter des plantes aquatiques au pied de l'enrochement a un taux de réussite limité. L'initiateur doit justifier cette affirmation. L'initiateur doit prendre note que le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) a effectué un tel recouvrement dans le cadre de la phase I du programme de stabilisation des berges le long des routes 133 et 223 et que les résultats ont été jugés suffisamment satisfaisants pour être répétés dans le cadre de la phase II.

L'initiateur mentionne aussi qu'il effectuera l'installation de pochettes de géotextiles ancrées dans l'enrochement et que des vignes de rivage seraient plantées dans la zone 0-2 ans. Il est à noter que cette espèce n'est pas à préconiser à cet endroit, car elle ne permet pas de constituer des abris intéressants pour la faune ni de fournir un système racinaire suffisant pour la stabilisation. Les saules et le cornouiller, par exemple, sont beaucoup plus intéressants pour la faune et possèdent des caractéristiques qui leur assurent un meilleur succès pour la reprise végétale. De l'information sur les techniques de génie végétale est disponible à l'adresse suivante : http://www.env.gov.bc.ca/wld/documents/wrp/wrpr_2.pdf (Bioengineering techniques for streambank restoration).

Pour que la clé d'enrochement soit acceptable, l'initiateur doit proposer des espèces végétales adaptées pour les pochettes de plantations dans l'enrochement qui le surplombe. Les plantations visent à redonner un caractère naturel au milieu, mais aussi à créer un milieu plus favorable pour la faune. L'initiateur doit considérer l'utilisation de matelas de branches avec la mise en place de fagots au pied de l'enrochement.

L'initiateur s'engage à recouvrir la clé d'enrochement avec le matériel excavé et à planter des espèces végétales adaptées pour les pochettes de plantations dans l'enrochement qui le surplombe. Le tableau suivant propose des espèces végétales indigènes adaptées aux conditions du site.

Tableau 2 Liste d'espèces arbustives indigènes adaptées à la zone d'inondation 0-2 ans

Nom français	Nom latin
Cornouiller stolonifère	*Cornus sericea*
Myrique baumier	*Myrica gale*
Physocarpe à feuilles d'aubier	*Physocarpus opulifolius*
Saule discolore	*Salix discolor*
Saule à long pétiole	*Salix petiolaris*
Spirée à larges feuilles	*Spiraea latifolia*
Spirée tomenteuse	*Spiraea tomentosa*

Une variété de ces espèces arbustives devraient être plantées en quinconce, à 0,5 m de distance.
Bien qu'elles n'aient pas un fort potentiel d'enracinement pour stabiliser la berge, les plantes grimpantes que sont la vigne des rivages (*Vitis riparia*) et la vigne vierge (*Parthenocissus quinquefolia*) ont tout de même un potentiel faunique et esthétique, en plus de recouvrir rapidement la roche (ombre et refroidissement). Ces deux espèces pourraient être mélangées aux autres.

QC-99 La notion d'urgence ne devrait pas être invoquée pour justifier une stabilisation en enrochement. La technique de stabilisation doit plutôt être choisie selon la morphologie de la berge, les contraintes d'aménagement et les forces hydrauliques applicables. Dans sa réponse à la QC-46, l'initiateur doit ainsi considérer le génie végétal aussi dans les secteurs pour les travaux urgents. S'il ne retient pas cette option, il doit le justifier en fonction de critères énumérés précédemment.

L'initiateur doit prendre en considération que des techniques de génie végétal peuvent être effectives dès le départ, même si leur résistance augmente avec le temps. De plus, ces techniques sont applicables sur des pentes très fortes, voire verticales. L'initiateur peut notamment consulter les présentations suivantes pour plus d'information : http://qcbs.ca/fr/evenements/evenements-en-collaboration-avec-csbq/colloque-sur-la-stabilisation-de-berges-de-rivieres-et-les-phytotechnologies/.

Tel que présenté à QC-46, le génie végétal nécessite de l'espace (plus de 6 m) pour abaisser la pente, ce que la configuration des secteurs urgents n'offre pas. C'est également ce qui a été conclu dans l'avis du MDDEP de mars 2009. En effet, «*il s'avère que des contraintes dues à la proximité de la route par rapport au cours d'eau et la présence de pentes abruptes ne permettent pas de moduler le profil de la pente afin d'augmenter l'utilisation des techniques végétales. Comme discuté, cette approche nécessiterait un empiétement dans le cours d'eau et aurait des répercussions négatives sur le littoral*» (BAPE, 2009).

QC-100 En réponse à la QC-49, l'initiateur réfère au rapport du LABO S.M. inc. de septembre 1999. Or, le document fait brièvement référence au muret et mentionne qu'ils sont en bon état dans certains cas et montrent des signes de faiblesse dans d'autres. Aucune solution n'est proposée pour ces secteurs. La DÉEPHI réitère donc sa question : *L'initiateur doit considérer de détruire les murets et remettre ces secteurs à l'état naturel ou de modifier la structure en place afin d'adopter une technique de stabilisation plus douce et mieux intégrée au paysage* (ex. : caissons végétalisés).

L'enlèvement des murets, dans les endroits opportuns, est considéré comme un gain au sens de la PPRLPI. Ce gain pourrait permettre de pallier l'empiétement généré par les enrochements dans d'autres secteurs. La superficie redonnée à la rivière de cette façon pourrait compenser pour les pertes causées par les enrochements nécessaires en zone urgente.

Si l'initiateur n'est pas en mesure de retirer les murets, l'initiateur doit justifier son choix et présenter une méthode d'intervention adaptée advenant que leur état de dégradation s'amplifie et qu'une intervention soit nécessaire à plus long terme. À noter que la reconstruction de murs de béton va à l'encontre des recommandations de la PPRLPI.

Puisque ces murets sont présents en majorité sur des terrains privés, l'initiateur n'a pas l'autorité pour en exiger leur destruction. Sur les terrains appartenant à la Ville de Belœil, l'initiateur, s'engage à considérer, lorsque possible, le retrait des murets au moment de la planification des travaux.

QC-101 En réponse à la QC-50, l'initiateur mentionne que si l'enrochement dépasse un mètre au-delà de la ligne naturelle des hautes eaux, c'est qu'à certains endroits, il est nécessaire de stabiliser également le talus. L'initiateur doit expliquer les critères (facteur de sécurité, risque de glissement de terrain, etc.) qui lui permettent d'établir que le talus doit être stabilisé. Il doit indiquer comment il a évalué les risques de glissement de terrain et si la MRC possède une cartographie des zones de contraintes.

Lorsqu'un secteur rencontre les critères ici-bas, il est nécessaire de procéder à l'enrochement au-delà d'un mètre de la ligne naturelle des hautes eaux :

- Trop grande proximité des infrastructures avec la berge ;
- Faible largeur du replat du talus ;
- Forte pente du talus.

Selon le schéma d'amémagement de la MRC, il n'y a pas de zone de glissement de terrain dans la zone d'étude (MRC de la Vallée-du-Richelieu, 2007).

3.4.3 Description des travaux (Chapitre 7.4)

QC-102 En complément aux réponses des QC-53 et 57, l'initiateur doit expliquer quels sont les critères qui permettront de déterminer s'il est nécessaire d'avoir accès au bas de talus (type de travaux, conditions du site, etc.). Bien que l'initiateur affirme qu'aucun accès en bas de talus n'est envisagé pour le moment, l'initiateur doit présenter dès maintenant les mesures d'atténuation qu'il compte mettre en place, le cas échéant. L'initiateur doit notamment s'engager à remettre en état les zones touchées par ce type d'accès.

L'entrepreneur aura la responsabilité d'évaluer, au moment des travaux, si un accès au bas de talus est requis selon l'état du talus au moment des travaux et le type de travaux. La décision et les mesures d'atténuation additionnelles (outre celles mentionnées durant l'étude d'impact) seront présentées au moment du dépôt de la demande de certificat d'autorisation.

L'initiateur s'engage également à respecter les périodes de restriction pour les travaux sous la ligne des hautes eaux et à remettre en état les zones touchées par ce type d'accès.

3.4.4 Calendrier de réalisation et budget (Chapitre 7.5)

QC-103 L'initiateur mentionne, en réponse à la QC-58 que pour les interventions des secteurs à surveiller, les travaux seront réalisés lorsque requis suite aux recommandations des rapports d'inspection futurs. L'initiateur doit établir un plan d'intervention plus détaillé pour la réalisation des zones à surveiller. Il doit prendre en considération que le temps d'intervention dans les zones actuellement identifiées comme à surveiller, ne doit pas faire en sorte que la stabilisation par génie végétal ne soit plus applicable. Cette question est complémentaire à la QC-95 en regard aux mécanismes qui seront mis en place advenant qu'un rapport d'inspection conclut sur la nécessité d'une intervention.

Tel que mentionné à la réponse de la QC-95, l'initiateur s'engage à réaliser un suivi annuel des berges et à vérifier l'état des infrastructures menacées par le mouvement des sols pour ainsi produire un rapport d'inspection chaque année.

Advenant le cas où un rapport d'inspection annuelle conclut à la nécessité d'une intervention, il sera pris en considération que le temps d'intervention dans les zones identifiées comme à surveiller devra faire en sorte que la stabilisation par génie végétal soit applicable. À cet effet, le plan d'intervention devant être produit comportera, sans s'y limiter :

- Une description détaillée des lieux et des problématiques ;
- L'évaluation de la situation ;
- Des recommandations, incluant le phasage des travaux et les échéanciers.

Le plan d'intervention inclura des figures localisant les zones problématiques, en plus de photographies.

Voir l'avis technique final du MTMDET présenté à l'annexe C du présent addenda à titre d'exemple de mécanisme mis en place par la Ville de Belœil.

3.5 ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES D'ATTÉNUATION (CHAPITRE 9)

3.5.1 Évaluation des impacts (Chapitre 9.3)

QC-104 Les empiétements présentés au tableau 9 correspondent à l'empiétement permanent sous 7 m et entre 7 et 8,82 m. Or, au tableau 3, l'initiateur a établi que la ligne des hautes eaux est égale à 9,8 m. Ainsi, les empiétements présentés au tableau 9 doivent être calculés en fonction de la cote 9,8 m afin de quantifier l'empiétement réel généré par les travaux urgents. Les pertes d'habitats anticipées pour les espèces à statut précaire (chevalier cuivré, dard de sable, fouille roche gris) doivent être estimées par espèce ou groupe d'espèces. L'initiateur doit aussi évaluer les superficies d'intervention par génie végétal sous la cote 9,8 m.

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Le tableau 9 fait aussi état des pertes de végétation aquatique temporaire. L'initiateur doit prendre note que s'il y a enrochement, la perte de végétation est considérée comme permanente. Ainsi, une colonne « Perte de végétation permanente » doit être ajoutée au tableau. L'initiateur doit présenter la méthode de calcul utilisé et valider si ces superficies sont incluses ou additionnelles aux superficies d'empiétements permanents sous la cote 9,8 m.

Le tableau suivant présente les empiétements demandés. Les superficies ont été calculées l'aide d'ArcGIS en utiliser les plans présentés à l'annexe C du rapport principal de l'étude d'impact et les données collectées sur le terrain. L'habitat des fouilles-roches et des dards correspond aux superficies sous la LNHE dont le substrat est composé de gravier ou de sable. L'habitat du chevalier cuivré comprend toutes les superficies sous 7 mètres. L'empiétement permanent correspond à la superficie sous la LNHE (9,8 m) qui ne sera pas restaurée. Les pertes d'herbiers ont été calculées pour les tronçons où des herbiers ont été relevés lors de la caractérisation du milieu aquatique ; les herbiers sont localisés sous l'élévation 6,9 m et jusqu'à 2 m de profondeur. Peu de travaux seront réalisés sous 7 m. Puisque la zone entre 8,82 m et 9,8 m sera revégétalisée, nous l'avons considérée comme une perte temporaire. Considérant que l'enrochement sans ensemencement se termine à la cote 8,82 m et non à 9,8 m, la superficie de 370,5 m^2 entre ces deux valeurs est perdue *temporairement* puisqu'il y aura reprise de la végétation à la suite de l'ensemencement hydraulique.

La superficie de milieu terrestre située au-dessus de la LNHE (9,8 m), sera entièrement ensemencé (valeur de 532,2 m^2 présentée à la réponse à QC-66) est ainsi remis disponible pour la faune terrestre.

Tableau 3 Résumé des pertes d'habitats dans les secteurs avec enrochements (arrondie à l'unité)

Chaînage	Présence d'herbier	Nature du substrat	Perte d'habitat du poisson (m²)		Empiétement permanent (incluant les habitats spécifiques) sous la LNHE (9,8 m) (m²)	Perte de végétation aquatique (herbier) permanente (m²)	Perte de végétation riveraine temporaire entre 8,82 m et 9,8 m (m²)	Perte de végétation terrestre temporaire au-delà de 9,8 m (m²)
			Fouilles-roches et dards (moins de 9,8 m)	Chevalier cuivré (moins que 7 m)				
0+400 0+450	Non	Galet	0	31,5	130	31,5	55	109
0+470 0+505	Oui	Caillou / Gravier Galet	0	0	117	57	62	199
0+630 0+700	Oui	Bloc Sable/Gravier	204	57	204	Négligeable	0	0
0+947 1+015	Non	Gravier / Caillou Caillou	354	Négligeable	354	0	111	84
1+470 1+500	Non	Bloc /Galet / Sable	182	0	182	0	50	134
4+420 4+430	Non	Caillou / Galet Gravier	0	0	75	0	23	Négligeable
4+900 4+947	Oui	Gravier/ Caillou / Sable	328	0	328	Négligeable	69	6
Total			1 068	88,5	1498	88,5	370	532

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

QC-105 En réponse à la QC-60, l'initiateur affirme qu'il n'y aura aucun impact sur le milieu physique pour les zones à surveiller et stable puisqu'aucun empiétement n'est prévu. Il affirme aussi que le dimensionnement des zones urgentes fera en sorte qu'aucun impact additionnel n'est appréhendé. La DÉEPHI réitère que l'initiateur doit évaluer les impacts de la présence des ouvrages sur le milieu physique en regard à la dynamique d'érosion, aux régimes hydrologiques et hydrauliques et au régime sédimentologique. L'initiateur doit notamment discuter de l'impact de la mise en place d'une structure rigide sur la dynamique de la berge (effet de bout, apport en sédiments, vitesses de l'eau, etc.).

L'étude hydraulique du projet de stabilisation des talus de berge de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours à l'annexe C du présent addenda montre que les vitesses près de la rive sont faibles même en période de crue de l'ordre de moins de 0,02 m/s à 0,22 m/s. Ces valeurs sont du même ordre de grandeur que les mesures relevées lors de la caractérisation du milieu aquatique du présent projet. Dans ces conditions, l'enrochement aura un effet négligeable sur les vitesses d'écoulement en rive et les effets de bouts. Les faibles vitesses font également en sorte que les sédiments en suspension pourront se déposer dans les interstices de l'enrochement créant un environnement propice pour la présence d'herbier. Les mesures d'atténuation décrites dans le rapport principal seront mises en place lors des travaux.

QC-106 À la QC-61, l'initiateur conclut que l'effet cumulatif sur l'habitat du poisson est négligeable. Or, l'analyse sur les impacts cumulatifs demeure peu documentée pour permettre une telle affirmation. Les explications fournies sont insuffisantes pour évaluer l'impact cumulatif du projet dans l'habitat du poisson, dont celui du chevalier cuivré. L'initiateur doit donc rectifier sa conclusion et consentir à ce que cette question reste peu documentée. L'initiateur doit prendre note qu'à l'étape de l'acceptabilité environnementale du projet, il sera amené à documenter davantage l'effet cumulatif des projets de stabilisation de rives à l'aide d'enrochement dans la rivière Richelieu et à évaluer l'impact de son projet sur cette problématique.

L'initiateur consent que la question soit peu documentée. Il s'engage à participer à documenter davantage l'effet cumulatif des projets de stabilisation des rives du Richelieu et à évaluer l'importance de ces effets en lien avec son projet.

QC-107 Dans le contexte de la faible quantité de boisement en Montérégie, notamment à Belœil (2 %), il est important de rappeler que les arbres en rive jouent plusieurs rôles importants, dont la stabilisation des sols. Ils assurent une protection naturelle du terrain en plus de constituer un habitat important pour la faune aviaire. En complément de la réponse à la QC-62, l'initiateur doit quantifier la superficie d'arbres qui pourraient être perdus notamment en fournissant les fichiers de forme des zones d'intervention prévues vis-à-vis des secteurs urgents. Cette information permettra de comparer les zones potentiellement touchées avec les données écoforestières.

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Une copie des fichiers de formes des zones d'intervention prévues vis-à-vis des secteurs urgents est transmise sur un CD.

L'initiateur doit aussi s'engager à déposer, au plus tard lors des demandes de certificat d'autorisation, un plan de reboisement comprenant notamment les éléments suivants :

- **description des superficies perdues ;**
- **description du reboisement prévu (forme de plantation, ratio, essences indigènes choisies, types de plants, densité de plantation, moment de plantation, type de plantation, etc.) ;**
- **représentation cartographique du projet ;**
- **protection contre les rongeurs et usagers en rive ;**
- **suivi (année 1-5-10) incluant les mesures pour remplacer les individus morts ou moribonds.**

L'initiateur s'engage à déposer au plus tard lors des demandes de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE, un plan de reboisement comprenant notamment les éléments présentés plus haut pour les terrains appartenant à la Ville de Beloeil.

QC-108 Dans la réponse à la QC-62, au dernier paragraphe, l'initiateur décrit brièvement la séquence éviter-minimiser-compenser. L'initiateur doit expliquer en détail comment cette séquence a été appliquée au projet pour les travaux urgents.

La stratégie d'intervention de type enrochement en pied de talus pour les travaux urgents représente un empiétement important dans le milieu hydrique et une détérioration de l'habitat du poisson, particulièrement dans les herbiers aquatiques. L'artificialisation des rives occasionnée par cette technique pourrait affecter l'intégrité des herbiers, l'habitat du poisson et potentiellement la faune riveraine.

À titre de rappel, la séquence doit être appliquée comme suit :

éviter : prévenir les effets négatifs d'un projet en adaptant la conception du projet pour éviter l'empiétement ;

minimiser : mettre en œuvre des mesures visant à réduire les effets ou à limiter les impacts négatifs d'une intervention qui n'a pu être évitée ;

compenser : ensemble de mesures permettant, dans certains cas, de contrebalancer, en dernier recours, les dommages causés à l'environnement par des impacts d'un projet qui n'ont pu être évités ou limités.

(Les milieux humides et l'autorisation environnementale, juillet 2012)

L'initiateur doit expliquer les raisons pour lesquelles l'enrochement est inévitable, le cas échéant. La réponse doit permettre de valider que les empiétements dans l'habitat du poisson sont minimaux, et ce, pour chaque section présentée à l'annexe A et au tableau 9. L'initiateur doit

aussi envisager comme mesure d'atténuation, la plantation de végétation herbacée et arbustive (cornouillers, aulnes, saules) sur l'ensemble de la zone remaniée incluant la portion du talus situé dans la zone 0-2 ans.

La réponse QC-99 documente le raisonnement pour le choix de l'enrochement pour les secteurs urgents. Comme mentionné précédemment, l'initiateur a, lors de la surveillance des berges de 2012, classifié ces berges en trois catégories selon le risque. Pour les travaux urgents, la séquence Éviter – Minimiser – Compenser s'applique de la façon suivante :

Éviter : Considérant les conditions des sites, il est difficile d'éviter un empiétement dans le milieu. En effet, la superficie des sites ne serait pas optimale pour réaliser des travaux de génie végétal dans les secteurs urgents et les infrastructures en haut de talus doivent être protégées.

Minimiser : La superficie d'enrochement sera limitée aux secteurs nécessitant des travaux. Dans tous les cas, les mesures d'atténuation identifiées dans l'étude d'impact seront mises en place. L'enrochement sera végétalisé (plantation et ensemencement) dans la section au-dessus de la zone 0-2 ans.

Compenser : un programme de compensation sera développé au moment de la demande de certificat d'autorisation pour compenser les pertes permanentes d'habitat du poisson.

QC-109 L'initiateur prend l'engagement, en réponse à la QC-64, de restaurer les herbiers aquatiques advenant que ceux-ci soient affectés par les travaux. L'initiateur doit décrire les grandes lignes du programme de surveillance qui sera mis en place au niveau des herbiers afin de déterminer s'ils sont affectés ou non par les travaux. Ce programme doit comprendre les mesures d'atténuation nécessaires pour minimiser les impacts. L'initiateur doit aussi fournir des exemples possibles de restauration. Ces exemples doivent être basés sur des projets de restauration d'herbiers réalisés dans des conditions d'habitats similaires. La proposition retenue doit démontrer qu'il y aura un retour des herbiers aquatiques à l'état d'origine.

L'initiateur s'engage à présenter, lors des demandes de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE, le programme de surveillance qui sera mis en place pour les herbiers afin de déterminer s'ils sont affectés ou non par les travaux. Les demandes de certificat d'autorisation comprendront les mesures d'atténuation et la compensation/restauration en cas de perte d'herbier aquatique.

Le programme de surveillance comprendra la caractérisation complémentaire des herbiers adjacents à la zone des travaux en eau avant d'entamer le projet afin de bien établir les conditions initiales. Cette caractérisation comprendra la délimitation des herbiers, un inventaire des espèces présentes et leur taux de recouvrement ainsi que le type de substrat.

Des mesures d'atténuation seront mises en œuvre pendant les travaux pour la protection des herbiers. Ces mesures comprendront notamment le balisage de la zone des travaux afin d'éviter l'empiétement dans les herbiers adjacents. Des rideaux à sédiment seront installés afin de limiter

la mise en suspension de sédiment dans les zones d'herbier. Une surveillance environnementale sera effectuée pour s'assurer de la mise en place des mesures d'atténuation et s'assurer que des matériaux n'ont pas été déposés accidentellement dans ces milieux. Advenant le cas, ces matériaux devront être retirés.

Un suivi environnemental sera également effectué tout au long de la validité du programme de stabilisation, c'est-à-dire sur une période de cinq ans (aux années 1, 3 et 5 à la suite des travaux). Ce suivi sera effectué sur l'ensemble des travaux qui seront effectués, notamment la reprise des herbiers aquatiques perturbés. Les suivis viseront notamment à vérifier s'il y a des modifications dans l'abondance relative des espèces, de la superficie et la densité de l'herbier et de l'apparition d'espèces exotiques envahissantes.

Advenant que des herbiers aquatiques soient affectés par les travaux, ceux-ci seront restaurés par la plantation de plantes aquatiques indigènes.

QC-110 L'initiateur doit revoir les superficies présentées en réponse à la QC-66 en fonction de la nouvelle ligne des hautes eaux (9,8 m). L'initiateur doit aussi expliquer en quoi les ensemencements hydrauliques au-dessus de la cote 9,8 et dans le milieu aquatique permettent d'autocompenser les pertes d'habitats pour les mammifères, l'avifaune, l'herpétofaune et les mulettes. Pour ce faire, il doit évaluer les conditions actuelles et les comparer avec celles projetées.

L'initiateur doit définir les pertes d'habitats permanentes et temporaires pour les mammifères, l'avifaune et l'herpétofaune dans les secteurs urgents et nommer les mesures d'atténuation qui seront mises en place, le cas échéant. Advenant qu'il y ait des pertes d'habitats, l'initiateur doit s'engager à les compenser.

Relativement aux mulettes, l'initiateur doit s'engager à réaliser un programme de relocalisation avant tous travaux sous la cote 9,8 m. Le protocole de relocalisation doit être présenté au plus tard, lors des demandes de certificat d'autorisation.

1) La réponse au deuxième paragraphe de la QC-66 de l'Addenda – Réponses aux questions et commentaires du 26 avril 2016 se lit maintenant comme suit :

« Dans le cas des secteurs dits urgents, l'enrochement nécessitera une superficie d'environ 2 029,9 m^2. De cette superficie, 532,2 m^2 au-dessus de la LNHE seront autocompensés par l'ensemencement hydraulique du milieu terrestre et 370,5 m^2 entre la LNHE et 8,82 m seront autocompensés par l'ensemencement hydraulique du milieu aquatique. De la superficie totale d'enrochement nécessaire, seuls 1 127,2 m^2 seront perdus définitivement et devront être compensés ultérieurement. Cette estimation a été calculée à partir des plans de l'annexe A en considérant la ligne des hautes eaux comme démarcation entre le milieu terrestre et le milieu aquatique. Les superficies sont présentées au tableau 9. »

Il est considéré que les ensemencements hydrauliques au-dessus de la cote 9,8 m et dans le milieu aquatique permettront d'autocompenser les pertes d'habitats pour les mammifères, l'avifaune, l'herpétofaune et les mulettes. À cet effet, une évaluation des conditions actuelles et une comparaison avec celles projetées sera réalisée.

2) Tel que mentionné précédemment, de la superficie totale d'enrochement nécessaire dans les secteurs urgents, seuls 1 128 m^2 seront perdus de façon permanente pour les mammifères, l'avifaune et l'herpétofaune et seront compensés ultérieurement. Ainsi, une superficie totalisant 370 m2 est considérée comme étant une perte d'habitat faunique temporaire.

Les mesures d'atténuation appropriées seront décrites dans la demande de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE avant le début des travaux. Les mesures d'atténuation suivantes en plus de celles citées dans l'étude d'impact sur l'environnement seront entre autres appliquées :

- Évitement de certaines zones où l'habitat est très sensible ;
- Instauration de périodes de restriction pour les travaux pour permettre la ponte des tortues ;
- Relocalisation de l'herpétofaune et installation d'exclos pour limiter l'accès aux zones de chantiers.

3.5.2 Mesures d'atténuation (Chapitre 9.4)

QC-111 En complément à la mesure d'atténuation P4, l'initiateur doit prendre l'engagement à ce que tout site d'entreposage de matériaux non consolidés, même pour une période inférieure à 24 heures, soit situé à une distance suffisante du cours d'eau pour prévenir les risques de sédimentation et que ce site soit ceinturé d'une barrière à sédiments.

L'initiateur s'engage à ce que tout site d'entreposage de matériaux non consolidés, même pour une période inférieure à 24 heures, soit situé à une distance suffisante du cours d'eau pour prévenir les risques de sédimentation et que ce site soit ceinturé d'une barrière à sédiments.

QC-112 La mesure d'atténuation B6 mentionne que les sols excavés où des espèces exotiques envahissantes (EEE) étaient présentes ne seront pas réutilisés sur place. La mesure d'atténuation B7 indique les résidus d'EEE seront éliminés dans un site autorisé. Afin d'éviter toute ambiguïté, l'initiateur doit prendre l'engagement d'éliminer les résidus d'EEE et les sols touchés par des EEE dans un lieu d'enfouissement technique.

L'initiateur s'engage à éliminer les résidus d'EEE et les sols touchés par des EEE dans un lieu d'enfouissement technique.

3.6 ANNEXE A

QC-113 L'initiateur doit compléter l'annexe A en ajoutant les éléments suivants :

- **La ligne des hautes (0-2 ans) pour l'ensemble du secteur (la ligne n'apparaît qu'à quelques endroits) ;**

La ligne des hautes eaux pour les secteurs catégorisés jaune et vert sera arpentée au moment des demandes de certificat d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE pour la réalisation des travaux à moyen et à long terme.

- **L'emplacement où les photographies de la rive et du littoral présentés à l'annexe B de l'étude d'impact ont été prises ;**

Le tableau suivant fournit l'emplacement des photos présentées à l'annexe B de l'étude d'impact.

Tableau 4 Emplacement des photos de l'annexe B de l'étude d'impact

Photo	Tronçon	Référence cartographique Annexe A de l'addenda 1	Coordonnées décimales	
Photo 1	0+400 – 0+440	2	455 485	- 732 117
Photo 2	0+100 – 0+150	J1	455 466	- 732 146
Photo 3	0+700 – 0+800	6	455 485	- 732 117
Photo 4	0+700 – 0+800	J3-2	455 512	- 732 099
Photo 5	0+947 – 1+015	8	455 531	- 732 085
Photo 6	0+947 – 1+015	R4	455 526	- 732 084
Photo 7	1+500 – 1+700	11	455 572	- 732 060
Photo 8	1+800 – 2+015	J7-3	455 609	- 732 038
Photo 9	2+575 – 2+700	14	455 681	- 732 000
Photo 10	2+575 – 2+700	J9	455 658	- 732 009
Photo 11	3+200 – 3+300	15	455 730	- 731 969
Photo 12	3+700 – 3+800	J12	455 759	- 731 951
Photo 13	4+350 – 4+400	18	455 813	- 731 938
Photo 14	4+00 – 4+200	J13	455 793	- 731 940
Photo 15	4+600 – 4+900	20	455 840	- 731 928
Photo 16	4+600 – 4+900	J15-2	455 850	- 731 920
Photo 17	5+000 – 5+600	22	455 867	- 731 918
Photo 18	5+000 – 5+600	J17-5	455 901	- 731 906

- **Les sites de capture d'espèces rares pour le fouille-roche gris (s'il n'y a pas eu de capture d'espèces rares lors des inventaires de 2015, le signifier).**

QUESTIONS ET COMMENTAIRES

Tel que présenté au tableau 10 des résultats de pêche de 2015, neuf fouilles-roche gris ont été capturés lors des inventaires de 2015, soit un à la station R4-S1, un à la station J5-S1 et sept à la station R5-S1. La localisation de cette station est présentée à la figure *Caractérisation des zones d'intervention* à l'annexe A de l'addenda I.

4.0 RÉFÉRENCES

BAPE. 2009. *Recueil des avis issus de la consultation auprès des ministères et organismes*. En ligne : http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/berges_richelieu/documents/PR6.pdf (consulté le 16 mai 2017).

MRC DE LA VALLÉE-DU-RICHELIEU. 2007. *Règlement du schéma d'aménagement révisé*. En ligne : http://www.mrcvr.ca/images_upload/file/Amenagement-pdf/Mises-a-jour-Schema/Parti_1.pdf (consulté le 16 mai 2017).

VILLE DE BELŒIL. 2012. *Refonte réglementaire – Règlement de zonage numéro 1667-00-2011.*

Annexe A ADDENDA I AU RAPPORT DE LABO S.M. (1999)

SM | **Labo S.M. inc.**

VILLE DE BELOEIL

ADDENDA NO. 1 - RAPPORT PROTECTION DE LA BERGE DE LA RIVIÈRE RICHELIEU AU SUD DE L'AUTOROUTE 20

PRÉSENTÉ À :

Monsieur Jean-Luc Comeau, ing.
VILLE DE BELOEIL
1010, rue Dupré
Beloeil (Québec)
J3G 4A9

PRÉPARÉ PAR:

LABO S.M. INC.
2111, boul. Fernand Lafontaine
Longueuil (Québec)
J4G 2J4

Claude R. Ferland, ing.

INGÉNIEUR Claude R. Ferland 11872 QUÉBEC

Charles Simard, ing.
Vice-président
Laboratoire des sols, matériaux et géotechnique

NOVEMBRE 1999

N/D: 98F5204001

SM

Table des matières

1.0 PRIORITÉS D'EXÉCUTION 1

1.1 CRITÈRES D'ÉVALUATION 1
1.2 ZONES DE PRIORITÉ (1) (IMMÉDIAT) : 2
1.3 ZONES DE PRIORITÉ (2) (<5 ANS) : 3
1.4 ZONES DE PRIORITÉ (3) (<15 ANS) : 3
1.5 ZONES DE PRIORITÉ (4) (MONITORING) : 4

2.0 PROTECTION EN ENROCHEMENT 4

3.0 VARIANTES DE PROTECTION 6

ANNEXE :

A. CARACTÉRISTIQUES DES MURS PRÉQUALITIÉS

SM

1.0 Priorités d'exécution

Les travaux de stabilisation de la berge de la rivière Richelieu pourraient être réalisés par étapes. Vous trouverez dans cette section le schéma d'intervention proposé en terme de priorités à court terme (1), moyen terme (2), long terme (3) et plus long terme (4).

Toutefois, nonobstant l'ordre de priorité établi ici, l'érosion de la berge va toujours progresser et les zones à moyen et long terme deviendront éventuellement des zones de grandes priorités, si on tarde trop. D'ailleurs, des évaluations fréquentes devraient être faites pour vérifier la situation et au besoin réviser les zones de priorité.

1.1 Critères d'évaluation

Zones de priorité (1) : Intervention requise dans l'immédiat; en général la largeur en tête de talus (entre la bordure et l'escarpement) est inférieure à 3 et 3,5 m.

Zones de priorité (2) : Intervention à moyen terme, c'est-à-dire pas plus de cinq (5) ans environ de la date d'aujourd'hui; la largeur en tête est de 3 à 6 m.

Zones de priorité (3) : Intervention à long terme c'est-à-dire, pas plus de quinze (15) ans de la date d'aujourd'hui; la largeur en tête est généralement plus gande que 6 m et si elle est moindre c'est que la stabilité est assurée pour le moment par des artifices quelconques.

Zones de priorité (4) : Zones dites de non intervention, requérant un suivi pouvant dicter des corrections localement, suivant les besoins.

Après intervention dans les zones (1), (2) et (3), celles-ci deviendront automatiquement des zones de priorité (4), c'est-à-dire qu'elles devront faire l'objet d'inspections périodiques et de corrections suivant les résultats de ce monitoring.

SM

1.2 Zones de priorité (1) (immédiat) :

Chaînage (nos civiques)	Hauteur du talus au-dessus des basses-eaux (m)	Longueur (m)	Remarques
0 + 025 @ 0 + 060 (#12)	≈7,2	35	
0 + 450 @ 0 + 765 (#154 @ #240)	5 à 7,2	315	Entre 0 + 600 et 0 + 675 : déjà traité en partie (palplanches d'acier), la base du talus reste à protéger.
0 + 800 @ 1 + 700 (#274 @ #552)	4 à 7	900	Quelques endroits : largeur en tête > 3,5 m (situations très ponctuelles). Quelques endroits : protection en bas de talus (mur de béton au #392; enrochement aux #430/434. Érosion active localement.
1 + 930 @ 2 + 100 (#630 @ #680)	5,4 à 6,4	170	Jusqu'au mur de protection du ruisseau de la marina.
2 + 220 @ 2 + 340 (#730 @ 764)	6 à 7	120	De la rue Brunelle jusqu'au pont de la rte 116.
2 + 570 @ 2 + 640 (#840 à 864)	6,6 à 7	70	Dans le secteur 2 où la protection est assurée par des murs, zone située au sud de la rue Hubert et non protégée du tout.
3 + 970 @ 4 + 020	≈4	50	Tout juste au sud de la rue Larose.
4 + 250 @ 4 + 325 (#1400 @ #1430)	≈3,8	75	Enrochement sommaire.
4 + 425 @ 5 + 050 (#1460 @ #1660)	3,5 à 4,4	625	Du sud de la rue Deslauriers à la rue Michel.
5 + 100 @ 5 + 560 (#1690 @ autoroute 20)	3,9 à 4,4	550	De la rue Michel (tout juste au nord) à l'autoroute 20.
		2 910 m	(52%)

SM

1.3 Zones de priorité (2) (<5 ans) :

Chaînage (nos civiques)	Hauteur du talus au-dessus des basses-eaux (m)	Longueur (m)	Remarques
1 + 700 @ 1 + 850 (#556 @ #600)	6,6 à 7	150	4,5 à 5 m entre la bordure et l'escarpement en tête de talus.
2 + 340 @ 2 + 425 (sud Rte 116 @ rue Jeannotte)	6 à 7	85	4 à 5 m entre la bordure et l'escarpement en tête de talus.
4 + 020 @ 4 + 130 (rue Larose à rue Lalonde)	3,7 à 4,1	110	De 3,5 à 4,5 m entre la bordure et l'escarpement en tête de talus.
		345 m	(6%)

1.4 Zones de priorité (3) (<15 ans) :

Chaînage (nos civiques)	Hauteur du talus au-dessus des basses-eaux (m)	Longueur (m)	Remarques
0 + 000 @ 0 + 025 (#0 @ #6)	≈7,2	25	Station de pompage à Bernard-Pilon.
0 + 060 @ 0 + 450 (#24 @ nord Choquette)	6,2 à 8	390	Descente à la rivière (service des incendies) à 0 + 125 environ (face au #48).
0 + 765 @ 0 + 800 #260	5	35	Mur de soutènement de 1,5 m de hauteur au sommet de l'escarpement assure la stabilité.
1 + 850 @ 1 + 930 (#600 @ #630)	6,6 à 6,8	80	Descente à la rivière (service des incendies).
3 + 688 @ 3 + 970 (#1234 @ #1312)	3,4 à 4	282	Largeur de 7 à 12 m en tête de talus entre la bordure et l'escarpement.
4 + 130 @ 4 + 250 (rue Lalonde @ #1400)	3,8 à 4,2	120	Tête de talus en pente douce sur une largeur allant jusqu'à 13,5 m; soutènement avec empilement de morceaux de béton.
4 + 325 @ 4 + 425 (#1440 @ #1460)	4 à 4,4	100	Soutènement assuré partiellement par empilement de dalles de trottoir; secteur rue Gagnon.
5 + 050 @ 5 + 100 (#1660 @ #1690)	≈4	50	Rue Michel
		1 082 m	(19%)

SM

1.5 *Zones de priorité (4) (Monitoring) :*

Chaînage (nos civiques)	Hauteur du talus au-dessus des basses-eaux (m)	Longueur (m)	Remarques
2 + 100 @ 2 + 220	6 à 7	120	Marina
2 + 425 @ 2 + 570 (#806 @ #830)	≈7	145	Murs de maçonnerie en général. À partir de la rue Jeannotte.
2 + 640 @ 3 + 688 (rue Hubert @ #1200)	3,5 à 6,6	1 048	Murs de béton et de maçonnerie jusqu'à 100 m au sud de la rue Noiseux.
		1 313 m	(23%)

RÉCAPITULATIF			
	Longueur (m)	%	% cumul.
Priorité 1	2 910	52	52
Priorité 2	345	6	58
Priorité 3	1 082	19	77
Priorité 4	1 313	23	100
Total	5 650		

2.0 Protection en enrochement

Dans notre rapport daté de septembre 99, on réfère à la vitesse de l'eau de la rivière Richelieu à la hauteur de Beloeil pour définir la géométrie du perré proposé. Les informations recueillies à cet effet, sont les suivantes :

- Station fédérale en aval de Chambly;
  - Crue maximale en 1995 : 1 250 m^3/s sans excéder 1 300 m^3/s;
  - Débit moyen : 361,6 m^3;
- Station fédérale, Beloeil, (données sur 3 ans);
  - Niveau d'eau moyen:
    - 7,28 m/9 mois en 91;
    - 7,16 m/ en 92;
    - 7,31/11 mois en 93;
  - Niveau maximum des eaux (hautes eaux) : 9,8 m;
  - Niveau minimum des eaux (basses eaux) : 6,8 m.
- Coupes bathymétriques au sud du pont de l'autoroute 20 (rapport M-93450 de Géophysique GPR, septembre 1993).
- Vitesses ponctuelles du courant mesurées en juillet 1993 dans le sens de l'écoulement du Richelieu au sud du pont de l'autoroute 20 : 10 @ 80 cm/sec. (rapport M-93450 de Géophysique GPR, septembre 1993).

À partir des données précédentes, nous avons évalué que la vitesse moyenne annuelle sur la section totale de la rivière est de l'ordre de 0,3 à 0,35 m/s et que la vitesse maximale sur la section totale en période de crue est de l'ordre de 1 m/s.

Après examen des vitesses obtenues, nous avons retenu pour fin de dimensionnement une vitesse de calcul de 2,4 m/s pour tenir compte de la précision des données, des variations locales de géométrie et de l'effet des glaces. Le paramètre « A » de la figure 520L007.dwg, feuille 1 de 1, annexe F, a par la suite été estimé à 200 mm. Ainsi le perré à utiliser aura un D_{50} de 200 mm pour une pente de 2 horizontalement pour 1 verticalement et de 300 ou 400 mm pour les cas où on devra placer le perré sur une pente plus abrupte de 1,5 horizontalement pour 1 verticalement. Cette alternative ne devra toutefois être utilisée qu'en cas d'extrême nécessité.

La granulométrie de la pierre utilisée devra respecter les exigences suivantes :

	D_{50} = A 200 mm	D_{50} = 1,5 A 300 mm	D_{50} = 2A 400 mm
100% plus petit que	300 mm (12 po.)	450 mm (18 po.)	600 mm (24 po.)
20% plus grand que	250 mm (10 po.)	355 mm (14 po.)	500 mm (22 po.)
50% plus grand que	200 mm (8 po.)	300 mm (12 po.)	400 mm (16 po.)
80% plus grand que	150 mm (6 po.)	200 mm (8 po.)	250 mm (10 po.)

3.0 Variantes de protection

La méthode de protection proposée est à notre avis la plus adaptée à la situation et la plus économique à réaliser. Elle ne requiert que le dressage de la pente, la pose d'un géotextile et le placement d'un perré contrôlé.

Parmi les autres variantes possibles de protection contre l'érosion qui soient efficaces, on retrouve des tapis de blocs de béton emboîtables (très semblables au perré quant à leur installation) et des murs de soutènement. Ces techniques sont toutes plus coûteuses que le perré en enrochement.

Le Ministère des Transports du Québec a fait une évaluation d'un nombre impressionnant de murs de soutènement et a préparé une grille d'évaluation qui est jointe à la fin de ce rapport.

À l'examen de la grille, on constate que seuls quelques types de mur peuvent s'appliquer dans le cas présent (construction sous l'eau et protection glaces et débris). Plusieurs murs ne peuvent s'installer qu'au-dessus de la zone de marnage. Des combinaisons (mur,

enrochement, tapis, etc.) s'avèrent toujours possibles. Toutefois, leur pertinence devra faire l'objet d'une évaluation technique et économique.

Enfin, il demeure possible d'améliorer l'apparence d'un perré en enrochement en y adjoignant des éléments naturels de stabilisation (perré combiné). Pour ce faire, dans le schéma d'installation du perré, on omet la membrane géotextile dans la partie située au-dessus du niveau moyen des eaux, soit élévation 7,5 m. Dans cette partie, on place alors les pierres à la main, en une seule rangée, choisissant des pierres se situant aux environs du D_{50}. Dans les interstices ou vides entre les pierres on plante ensuite des boutures non enracinées de variétés propres à la végétalisation des berges de cours d'eau. On nommera comme exemple, le saule arbustif, le cornouiller, l'aulne ou le myrique. Ces plantations doivent être faites toutefois suivant des règles établies pour assurer le succès de l'entreprise. Ce type de traitement, bien que faisable, apparaît pour le moins fastidieux et pourrait s'avérer passablement onéreux.

Annexe B ÉTUDE HYDRAULIQUE

Ministère des Transports du Québec
Direction de l'Est-de-la-Montérégie

Projet de stabilisation de talus des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours

Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Étude sectorielle – Hydraulique

Date : Septembre 2010
MTQ/Réf. : 154010836 (route 133)
154010853 (route 223)
N/Réf. : 004-P027711-0178-EN-0200-00

DESSAU

DESSAU

Ministère des Transports du Québec
Direction de l'Est-de-la-Montérégie

Projet de stabilisation de talus des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours

Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs

Étude sectorielle – Hydraulique

883, rue Bériault, Longueuil (Québec) Canada J4A 1X7 – T 514.281.5151 | F 450.670.3390 – info@dessau.com – www.dessau.com

TABLE DES MATIÈRES

1 VITESSE D'ÉCOULEMENT 2

1.1 Données disponibles 2
1.1.1 Rapports et études existantes 2
1.1.1.1 Rapports émis dans le cadre de l'étude de stabilisation des berges 2
1.1.1.2 Autres rapports et études 4
1.1.2 Données hydrométriques à la station n° 030401 4
1.1.3 Visite de terrain 4
1.2 Méthodologie 5
1.2.1 Choix des sites retenus pour l'étude hydraulique 5
1.2.2 Description du régime hydrologique de la rivière Richelieu 5
1.2.3 Analyse hydraulique aux sites étudiés 5
1.2.4 Analyse du régime des glaces sur la rivière Richelieu 6
1.3 Analyses et résultats 7
1.3.1 Sites retenus pour l'étude hydraulique 7
1.3.2 Régime hydrologique de la rivière Richelieu 7
1.3.3 Analyse hydraulique des sites étudiés 9
1.3.3.1 Mesure des vitesses d'écoulement 9
1.3.3.2 Niveau d'eau et courbe de tarage 10
1.3.3.3 Détermination des vitesses moyennes aux sites en crue centennale 11
1.3.3.4 Détermination du calibre des enrochements nécessaires 14
1.3.4 Analyse du régime des glaces 14
1.4 Discussion 14

2 DIMENSIONNEMENT DES ENROCHEMENTS 16

3 RÉFÉRENCES 17

TABLE DES MATIÈRES

Tableaux

Tableau 1 : Description des sites retenus pour la mesure des vitesses et des niveaux d'eau 7
Tableau 2 : Vitesses d'écoulement mesurées au droit des sites lors de la crue automnale de 2009 10
Tableau 3 : Vitesses d'écoulement mesurées au droit des sites lors de la crue printanière de 2010 10
Tableau 4 : Niveaux d'eau au droit des sites 3b, 9 et 20 11
Tableau 5 : Diamètre des enrochements stables selon la vitesse d'écoulement 14

Figures

Figure 1 : Courbes de tarage aux sites 3b, 9 et 20 11
Figure 2 : Schéma des profils en travers de la rivière au droit des sites 3b, 9 et 20 13

Annexes

Annexe 1 Cartographie des sites à l'étude
Annexe 2 Découpage du bassin versant du lac Champlain et de la rivière Richelieu
Annexe 3 Photographies des sites prises le 12 avril 2010
Annexe 4 Tableaux et figures de l'analyse hydrologique et climatologique
Annexe 5 Extraits de la carte de navigation du Bas-Richelieu aux trois sites retenus (dans l'ordre, 3b, 9 et 20)

ÉQUIPE DE RÉALISATION

Ministère des Transports du Québec

- Guy Bédard, architecte paysagiste, chargé de projet

Dessau

- Éric Godin, ingénieur et spécialiste en transport, chargé de projet
- Sylvie Côté, géographe et spécialiste en environnement, chargée de discipline étude d'impact
- Marie-Noël Côté, ingénieur, spécialiste en géotechnique
- Adèle Lamarche, biologiste
- Nicolas Sadoch, ingénieur junior – Hydrologie et hydraulique
- Francis Therrien, ingénieur, spécialiste en hydrologie et hydraulique

Propriété et confidentialité

« Ce document d'ingénierie est l'œuvre de Dessau et est protégé par la loi. Ce rapport est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute reproduction ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite de Dessau et de son Client.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants de Dessau qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment qualifiés selon la procédure relative à l'approvisionnement de notre manuel qualité. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

REGISTRE DES RÉVISIONS ET ÉMISSIONS		
No de révision	**Date**	**Description de la modification et/ou de l'émission**
0A	2010-09-16	Version préliminaire pour commentaires
00	2010-09-17	Version finale

PRÉAMBULE

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a mandaté la firme Dessau (anciennement Dessau-Soprin) pour la réalisation de l'étude d'impact sur l'environnement du programme de stabilisation de talus des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre les villes de Saint-Basile-le-Grand et de Saint-Ours. Cette dernière a été présentée au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) en décembre 2004.

Dessau a produit en avril 2010 l'addenda 4 à l'étude d'impact qui venait apporter des réponses à la série de questions et commentaires du MDDEP adressés au MTQ en avril 2009 dans le cadre de l'analyse de recevabilité. Les renseignements demandés portaient notamment sur les composantes hydrauliques. Dans cet addenda, il avait été précisé qu'une étude hydraulique serait complétée au printemps 2010 afin de fournir au MDDEP les précisions demandées sur les vitesses d'écoulement.

Le présent document constitue donc cette étude sectorielle apportant des précisions quant aux vitesses d'écoulement et au dimensionnement des enrochements à utiliser pour la stabilisation des berges.

1 VITESSE D'ÉCOULEMENT

Le MDDEP demandait en avril 2009 :

« QC-1 Les interrogations sur les vitesses d'écoulement aux différents sites d'interventions n'ont pas été adéquatement répondues (QC-1). En plus des vitesses moyennes d'écoulement transmises dans l'addenda 2, il serait pertinent de connaître précisément les vitesses maximales de l'eau au droit des différents sites afin de valider le choix du calibre de l'enrochement.

Le calibre maximal proposé par l'initiateur du projet aura une bonne résistance pour des vitesses inférieures à 3 m/s. Si cette information est inconnue de l'initiateur pour le moment, celui-ci devra fournir cette information au MDDEP avant la prise de décision du gouvernement. La vitesse maximale peut être vérifiée directement sur le terrain en période de crue ou bien estimée selon des calculs théoriques ou un modèle hydraulique.

Les vitesses maximales d'écoulement de l'eau au droit des différents sites permettront à l'initiateur de confirmer ou d'infirmer que les types d'interventions proposées sont adéquats. Si les vitesses maximales d'écoulement démontrent le contraire, l'initiateur devra présenter au MDDEP le type d'intervention adéquat, avec le bon calibre d'enrochement. Cette façon de faire permettra également à l'initiateur de démontrer que son évaluation de l'empiètement dans le milieu aquatique engendré par les travaux est exacte. »

Afin de répondre à cette question, trois sites parmi ceux étudiés pour la stabilisation des berges ont été retenus pour réaliser une mesure des vitesses près des rives en crues automnale et printanière. Une analyse statistique des débits de la rivière Richelieu à la station des rapides Fryers a également été réalisée et, enfin, une relation entre le niveau d'eau et le débit est donnée au droit des trois sites retenus.

1.1 DONNÉES DISPONIBLES

1.1.1 Rapports et études existantes

1.1.1.1 Rapports émis dans le cadre de l'étude de stabilisation des berges

Les études menées par Dessau permettent de caractériser les sites à l'étude (« niveau » d'instabilité, travaux réalisés ou non et position géographique) et de donner des informations sur le diamètre des enrochements proposés, le régime des glaces de la rivière Richelieu et la dynamique d'érosion. Les rapports fournissant ces informations sont :

- L'étude d'impact sur l'environnement déposée au ministère de l'Environnement [1], datée de décembre 2004, permet de positionner et de caractériser les sites à l'étude. Ses références sont les suivantes :

- Dessau : 40157-105-EN-01,
- MTQ : 20-5300-0168 (route 133) et 20-5371-0175 (route 223).

Trente-six (36) sites instables ont été répertoriés; quinze (15) le long de la route 133 et vint-et-un (21) le long de la route 223. Ces sites sont classés en groupes ou segments homogènes sur la base de leurs similarités du point de vue de la hauteur du talus et de la pente, de la dynamique générale d'érosion, de la végétation et selon le fait qu'ils aient fait l'objet d'une intervention ou non. En synthèse, les segments de type 1 à 4 incluent des sites des moins instables aux plus instables, et le type 5 comprend les sites où des enrochements ont été placés entre 1999 et 2004.

La cartographie des sites est donnée en annexe 1.

- L'addenda n° 1 de septembre 2005 [2] permet d'obtenir des informations sur le régime des glaces dans la rivière Richelieu, la dynamique d'érosion selon le type de berge et la stabilité des sites selon leur type. Ses références sont les suivantes :
  - Dessau : 40157-105-EN-0100-00,
  - MTQ : 20-5300-0168 (route 133) et 20-5371-0175 (route 223).

La rivière ne gèle pas uniformément sur toute sa largeur; l'épaisseur de glace est plus mince dans le chenal de navigation que sur les bords. Au printemps, la glace de berge qui s'accroche à la berge à sa formation se retrouve perchée en fin d'hiver à cause de l'abaissement du niveau d'eau. Avec la neige qui s'accumule au cours de l'hiver, son poids devient excessif et elle finit par décrocher de la berge en tombant, emportant avec elle une partie du matériel de la berge sur lequel elle s'était fusionnée.

La dynamique d'érosion est jugée faible pour les segments homogènes de type 1, moyenne à forte pour ceux de type 2 et 3, forte pour ceux de type 4 et faible à moyenne pour ceux de type 5.

Des analyses de stabilité de pentes ont été menées dans la zone d'étude et les sites de type 1 sont jugés généralement stables, les sites de type 2 et 3 sont à la limite de la stabilité dépendamment des conditions d'érosion (décrochement de la glace, poids des terres, niveau de la nappe phréatique, nature des matériaux constitutifs des berges, etc.), les sites de type 4 sont généralement instables et les sites de type 5 sont stables.

- L'addenda n° 2 de mars 2006 [3] fournit des informations sur les diamètres des enrochements proposés. Ses références sont les suivantes :
  - Dessau : 40157-168-EN-0100-00,
  - MTQ : 20-5300-0168 (route 133) et 20-5371-0175 (route 223).

Les enrochements sont placés sur des hauteurs variant entre 3 et 7 m et forment une couche de 1 m d'épaisseur mesurée perpendiculairement au talus. Pour les sites de type 3 et 4, le D_{50}[1] des enrochements est de 300 mm.

- La mise à jour de l'étude géotechnique de septembre 2009 [4] indique les sites ayant fait l'objet d'une stabilisation après 2004. Sa référence est la suivante : 004-P027711-0100-GE-0001-00.

1.1.1.2 Autres rapports et études

Les informations rendues publiques par le Comité de concertation et de valorisation de la rivière Richelieu (COVABAR) [5] sont notamment le découpage du bassin versant de la rivière Richelieu et du lac Champlain. Ce découpage est fourni à l'annexe 2. Cette carte permet de constater que les débits enregistrés à la station n° 030401 des rapides Fryers située à Carignan sont effectivement les débits qui passent au droit des sites tant la différence de surface de bassin versant entre la station hydrométrique (22 000 km²) et les sites est faible comparativement à la surface totale du bassin versant de la rivière Richelieu (23 720 km²).

Le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ) a réalisé la cartographie des plaines d'inondation du Bas-Richelieu [6] et calculé des cotes d'inondation pour des crues de récurrences 20 à 100 ans. Ce rapport a été établi en 1981 et révisé en 1985. Il fournit également des niveaux d'eau pour différents débits mesurés entre 1978 et 1979 allant de 675 à 1 030 m³/s à la station n° 030401 des rapides Fryers.

1.1.2 Données hydrométriques à la station n° 030401

Les débits de la rivière Richelieu sont enregistrés aux rapides Fryers à Carignan à la station n° 030401[2]. Cette station est située en Montérégie, à 5 km environ à l'amont du barrage de Chambly, opéré au fil de l'eau. La superficie du bassin versant drainé à cet endroit est d'environ 22 000 km² et représente près de 93 % de la superficie du bassin versant total de la rivière Richelieu.

Les débits journaliers à la station n° 030401 décrivent un régime d'écoulement naturel et sont disponibles en continu (26 141 données) pour la période allant du 7 juin 1937 au 31 décembre 2008.

1.1.3 Visite de terrain

Les visites de terrain ont été réalisées aux trois sites retenus pour l'analyse hydraulique et ont eu pour objectif de :

---

[1] Diamètre tel que 50 % des enrochements lui sont inférieurs

[2] La station nº 030401 est opérée par Environnement Canada sous la désignation 02OJ007. Elle est localisée aux latitude et longitude respectives de 45°23'54" N et 73°15'30" O.

- Mesurer les vitesses d'écoulement le long des berges;
- Mesurer les niveaux d'eau;
- Observer l'état de la berge et du site en général.

Les visites de terrain ont été réalisées lors de la crue automnale de 2009, le 27 novembre 2009 et lors de la crue printanière de 2010, le 12 avril 2010.

Les photographies des sites visités sont données à l'annexe 3.

1.2 MÉTHODOLOGIE

1.2.1 Choix des sites retenus pour l'étude hydraulique

Parmi les trente-six (36) sites considérés instables, trois (3) ont été retenus pour la réalisation de l'étude hydraulique. Leur choix a été fait selon les critères suivants :

- Représentativité des sites classés type 3 et type 4;
- Représentativité du cours d'eau autant que possible sur toute sa longueur; les sites 10a, 10b et 11, placés à l'extrême nord de la zone d'étude juste à l'amont d'une écluse ont été écartés car les vitesses mesurées ne peuvent y être importantes en raison de la présence de l'écluse;
- Représentativité des berges en rive droite et rive gauche;
- Prendre les mesures dans les zones relativement étroites de la rivière;
- Prendre des mesures sur un site de type 4 ayant été stabilisé depuis 2004.

1.2.2 Description du régime hydrologique de la rivière Richelieu

L'exploitation des débits journaliers mesurés à la station des rapides Fryers permet de :

- Décrire le régime hydrologique de la rivière Richelieu et en particulier de ses crues à la station;
- Calculer les débits caractéristiques et extrêmes;
- Comparer ces débits aux valeurs des débits de la rivière lors des visites de terrain aux trois sites retenus pour la mesure des vitesses d'écoulement et des niveaux d'eau.

1.2.3 Analyse hydraulique aux sites étudiés

L'analyse hydraulique aux trois sites retenus porte sur les points suivants;

- Déterminer les vitesses d'écoulement aux berges au droit des sites lors des crues automnale et printanière;

Les vitesses d'écoulement ont été prises à différentes distances depuis la berge. Les vitesses données sont des moyennes sur la colonne d'eau. Elles sont obtenues de deux manières :

- En mesurant la vitesse à 40 % de la hauteur d'eau en partant du fond lorsque la hauteur d'eau est inférieure à 1 m;
- En faisant la moyenne des vitesses mesurées à 20 % et 80 % de la hauteur d'eau lorsque la hauteur d'eau est supérieure à 1 m.

▸ Mesurer les niveaux d'eau au droit des sites lors de ces crues, et les associer aux niveaux d'eau de la cartographie des plaines inondables du Bas-Richelieu [6] pour définir les courbes de tarage de la rivière Richelieu au droit des sites retenus.

La précision des mesures est d'ordre centimétrique. La bathymétrie de la rivière Richelieu étant mal connue, les courbes de tarage ne peuvent pas être utilisées pour des débits bien différents de ceux ayant permis de la définir.

▸ Déterminer le calibre minimum des enrochements stables aux vitesses rencontrées.

Le calibre des enrochements stables pour les vitesses rencontrées est défini par le D_{50} des enrochements.

Il est calculé par la formule d'Isbash suivante :

$$D_{50} = \left(\frac{V}{C}\right)^2 \frac{\gamma w}{2g(\gamma s - \gamma w)}$$

où :

- Le diamètre D_{50} est exprimé en m;
- La vitesse V est exprimée en m/s;
- C'est la constante d'Isbash, prise égale à 1,2, ce qui correspond à des enrochements imbriqués;
- g est l'accélération de la gravité, égale à 9,81 m/s²;
- γ_W est la masse volumique de l'eau, égale à 1 000 kg/m³;
- γ_S est la masse volumique des enrochements, prise égale à 2 650 kg/m³.

L'épaisseur de l'enrochement est fixée au double de la valeur du D_{50}.

1.2.4 Analyse du régime des glaces sur la rivière Richelieu

La chute de la glace de rive [2] qui se produit lors de l'arrivée du printemps peut jouer un rôle sur le mécanisme d'érosion des berges. Par conséquent, l'étude du couvert de glace est menée afin de fournir des informations sur l'épaisseur du couvert et les caractéristiques des hivers glaciologiques.

Une bonne approximation de l'épaisseur de glace peut être obtenue avec la température de l'air, qui en général est la plus accessible des données météorologiques. La relation proposée par Stefan pour relier l'épaisseur de glace à l'indice de gel est la suivante :

$$H = 0{,}035\ \alpha\ \sqrt{S}$$

où, S est l'indice de gel qui correspond à l'accumulation des degrés-jours de gel. Un degré-jour de gel se définit comme une journée où la température moyenne de l'air est de 1°C sous le point de congélation. Lorsque les indices de gel sont cumulés sur la durée totale d'un hiver, l'indice de gel représente la rigueur de l'hiver. Le coefficient α est un coefficient empirique qui prend la valeur de 0,7 pour des conditions de transfert thermique, c'est-à-dire des conditions observées à des sites moyennement enneigés et exposés aux vents.

Les degrés-jours de gel sont tout d'abord cumulés à la station n° 7028200 de Sorel du 1er juillet au 30 juin de l'année suivante. Pour chaque période de 12 mois, les valeurs maximale et minimale trouvées dans ce cumul sont ensuite utilisées pour définir le début et la fin des hivers glaciologiques, leurs durées et, par différence des valeurs trouvées, leurs rigueurs. La froidure correspond à la température moyenne de l'hiver glaciologique, égale au rapport entre la rigueur et la durée de l'hiver. La moyenne des degrés-jours de gel calculés chaque année est réalisée afin de déterminer l'épaisseur moyenne du couvert de glace de la rivière Richelieu grâce à l'équation de Stefan.

1.3 ANALYSES ET RÉSULTATS

1.3.1 Sites retenus pour l'étude hydraulique

Selon les critères définis au paragraphe 2.1, les sites 3b (sur la rive droite), 9 et 20 (sur la rive gauche) ont été retenus. Leurs caractéristiques sont données dans le tableau 1.

Tableau 1 : Description des sites retenus pour la mesure des vitesses et des niveaux d'eau

SITE	LOCALISATION	CATÉGORIE	STABILISATION DEPUIS 2004	RIVE
3b	En face du 970 chemin des Patriotes à Mont-Saint-Hilaire	4	NON	Droite (route 133)
9	En face du 385 rue Saint-Marc à Saint-Marc-sur-Richelieu	4	OUI	Gauche (route 223)
20	En face du 152 rue Saint-Antoine à Saint-Antoine-sur-Richelieu	3	NON	Gauche (route 223)

1.3.2 Régime hydrologique de la rivière Richelieu

La rivière Richelieu appartient à la région hydrographique numéro 3[3] du Québec. Elle coule du sud vers le nord, depuis son lac de tête, le lac Champlain, jusqu'au fleuve Saint-Laurent à l'entrée du lac Saint-Pierre. Son bassin versant a une superficie estimée à 23 720 km².

3 Région hydrographique Saint-Laurent sud-ouest.

Les débits de la rivière Richelieu sont enregistrés aux rapides Fryers à Carignan à la station n° 030401[4]. Cette station est située en Montérégie, à 5 km environ à l'amont du barrage de Chambly, opéré au fil de l'eau. La superficie du bassin versant drainé à cet endroit est d'environ 22 000 km² et représente près de 93 % de la superficie du bassin versant total de la rivière Richelieu.

Les débits journaliers à la station n° 030401 décrivent un régime d'écoulement naturel et sont disponibles en continu (26 141 données) pour la période allant du 7 juin 1937 au 31 décembre 2008 (annexe 4, figure 1).

Comme le montre la figure 1 de l'annexe 4, le régime hydrologique de la rivière Richelieu présente deux types de crues. La plus importante en termes de durée et d'intensité est la crue printanière qui survient en moyenne entre les mois de mars et de juin. Ses volumes d'eau proviennent à la fois de la fonte des neiges et des précipitations pluviales. L'hydrogramme moyen atteint 810 m³/s au printemps. La seconde crue, dite crue automnale, est une crue essentiellement pluviale. Elle provoque un léger gonflement des débits de la rivière durant les mois de novembre et de décembre. Les débits de la rivière atteignent environ 300 m³/s en décembre. Les débits de la rivière Richelieu aux rapides Fryers décroissent en juillet et août pour atteindre des valeurs de l'ordre de 145 m³/s en moyenne, généralement en septembre. Bien que naturel, le régime hydrologique de la rivière Richelieu est fortement régularisé par la présence de son important lac de tête, le lac Champlain. Cet effet est démontré par l'uniformité des écarts entre les hydrogrammes dépassés 10 %, 25 %, 50 %, 75 % et 90 % du temps.

Le débit annuel moyen à long terme (débit module) de la rivière Richelieu est de 355 m³/s (annexe 4, tableau 1). Les extrêmes historiques de 1 260 m³/s et de 40 m³/s sont survenus les 28 avril 1993 et le 17 octobre 1941. Les débits caractéristiques de la rivière correspondent aux débits classés dépassés 10 %, 50 % et 90 % et représentent des valeurs respectives de 705 m³/s, 282 m³/s et 122 m³/s (annexe 4, figure 2).

En moyenne, la crue printanière dure 90 jours (annexe 4, figure 3). Cette durée est déterminée en superposant par leur pointe (jour 0), chacun des 72 hydrogrammes disponibles. Le début de la crue moyenne est fixé au jour d'occurrence du débit moyen de mars (jour -42) et la date de fin correspond au jour d'occurrence du débit moyen de juin (jour 47). Le tableau 2 de l'annexe 4 présente les caractéristiques principales des crues printanière et automnale de la rivière Richelieu : dates de début et de fin, débits de pointe et volumes. En général, la date observée de fin de l'effet de glace sur les niveaux d'eau (annexe 4, tableau 1) correspond à la date de début de la crue printanière. Sauf pour la crue de 1981 associée à un redoux hivernal de 12 jours consécutifs, cette date n'est cependant pas antérieure à la date de fin de l'hiver glaciologique (annexe 4, tableau 3). Pour certaines années, la fenêtre de 90 jours a été ajustée à l'hydrogramme de crue de façon à

---

4 La station nº 030401 est opérée par Environnement Canada sous la désignation 02OJ007. Elle est localisée aux latitude et longitude respectives de 45°23'54" N et 73°15'30" O.

maximiser l'estimation de son volume. Comme le montre le tableau 2 de l'annexe 4, la crue printanière commence en moyenne le 27 mars pour se terminer le 24 juin. Sa pointe moyenne est de 921 m³/s avec un volume moyen de 5 029 hm³.

La crue d'automne est la plus forte pointe de crue observée après le passage de la crue printanière et avant la prise des glaces qui survient quelques jours après la date de début de l'hiver glaciologique. Elle peut être observée entre juillet et décembre. Sa pointe moyenne est de 485 m³/s.

La valeur des crues statistiques de la rivière Richelieu est établie à partir des débits maximaux annuels. Ces 71 pointes annuelles correspondent en pratique aux pointes printanières, sauf pour l'année 1965 où la pointe automnale est supérieure à la valeur de la pointe printanière. Les crues sont distribuées à l'aide de la répartition de Weibull selon la loi log-Pearson-III et lissées par la méthode des moments (figure 4, annexe 4). La pointe de la crue de récurrence de 2 ans est estimée à 931 m³/s. Les pointes pour les récurrences de 5 à 1 000 ans sont données dans le tableau 4 de l'annexe 4.

Deux visites ont été faites sur le terrain le 27 novembre 2009 et le 12 avril 2010. Les débits observés à ces dates sont estimés respectivement à 335 m³/s et 790 m³/s. Bien qu'inférieures aux crues moyennes printanière et automnale, ces valeurs de débits sont supérieures aux valeurs historiques observées à ces dates (annexe 4, figure 1). Les durées annuelles de dépassement de ces deux débits dans la rivière Richelieu sont estimées à 40,5 % et 6,5 % (annexe 4, figure 2).

1.3.3 Analyse hydraulique des sites étudiés

1.3.3.1 Mesure des vitesses d'écoulement

Les vitesses d'écoulement mesurées lors de la crue automnale, le 27 novembre 2009, et de la crue printanière, le 12 avril 2010, sont synthétisées dans les tableaux 2 et 3. Pour chaque site et chaque distance de la berge, la hauteur d'eau (Heau) est donnée entre parenthèses. Les vitesses d'écoulement ont été mesurées par rapport à la position de la rive au moment de la visite. Elles ne représentent pas la valeur de la vitesse du courant en un point donné pour deux conditions hydrologiques distinctes. Les vitesses à la berge sont associées aux vitesses moyennes d'écoulement sur la colonne d'eau au-dessus des enrochements proposés.

Tableau 2 : Vitesses d'écoulement mesurées au droit des sites lors de la crue automnale de 2009

SITE	VITESSE À 1 m DE LA BERGE (m/s)	VITESSES À 10 m DE LA BERGE (m/s)	OBSERVATIONS
3b	< 0,02 (Heau = 0,2 m)	< 0,02 (Heau = 0,6 m)	Fond du lit sablonneux, eaux apparemment stagnante
9	< 0,02 (Heau = 0,3 m)	0,12 (Heau = 0,6 m)	Fond du lit sablonneux, présence d'algues et eaux apparemment presque stagnantes
20	< 0,02 (Heau = 0,2 m)	0,22 (Heau = 1 m)	Fond du lit vaseux, présence de petites pierres et eaux apparemment presque stagnantes

Tableau 3 : Vitesses d'écoulement mesurées au droit des sites lors de la crue printanière de 2010

SITE	VITESSE À 1 m DE LA BERGE (m/s)	VITESSES À 4 m DE LA BERGE (m/s)	OBSERVATIONS
3b	< 0,02 (Heau = 0,4 m)	< 0,02 (Heau = 1 m)	Fond du lit rocheux, eaux d'apparence stagnante
9	< 0,02 (Heau = 0,9 m)	< 0,02 (Heau = 0,9 m)	Fond rocheux (enrochements de stabilisation) puis sablonneux à 10 m de la berge et eaux d'apparence stagnante
20	< 0,02 (Heau = 0,5 m)	< 0,02 (Heau = 0,8 m)	Présence de petites pierres au fond du lit à proximité de la berge puis fond vaseux en s'en éloignant (4 m de la berge et plus) et eaux d'apparence stagnante

Les vitesses mesurées sont négligeables (inférieures à 0,02 m/s) à proximité des berges au droit de tous les sites, pour les crues automnale et printanière.

Elles restent négligeables lors de la crue printanière même si l'on s'éloigne des berges de 4 m.

Lors de la crue automnale, les conditions de terrain ont permis de prendre des mesures de vitesses à une distance plus grande des berges; jusqu'à 10 m. En s'éloignant des berges, les vitesses restent soit négligeables pour le site 3b, soit très faibles pour les sites 9 et 20 où les vitesses mesurées sont respectivement de 0,12 et 0,22 m/s.

1.3.3.2 *Niveau d'eau et courbe de tarage*

Les niveaux d'eau mesurés pour un débit connu aux rapides Fryers sont issus de deux sources :

- Le rapport de la cartographie des plaines inondables du CEHQ [6] fournit quatre niveaux d'eau, deux mesurés (le 29 mars et le 16 mai 1979) et deux calculés pour les crues de période de retour de 20 et 100 ans. Les débits correspondants aux crues de 20 et 100 ans sont en pratique égaux à ceux déterminés dans le cadre de l'étude du CEHQ même si ces derniers ont été établis sur la base d'une chronique de données s'arrêtant en 1978.
- Les mesures réalisées lors des visites de terrain du 27 novembre 2009 et du 12 avril 2010.

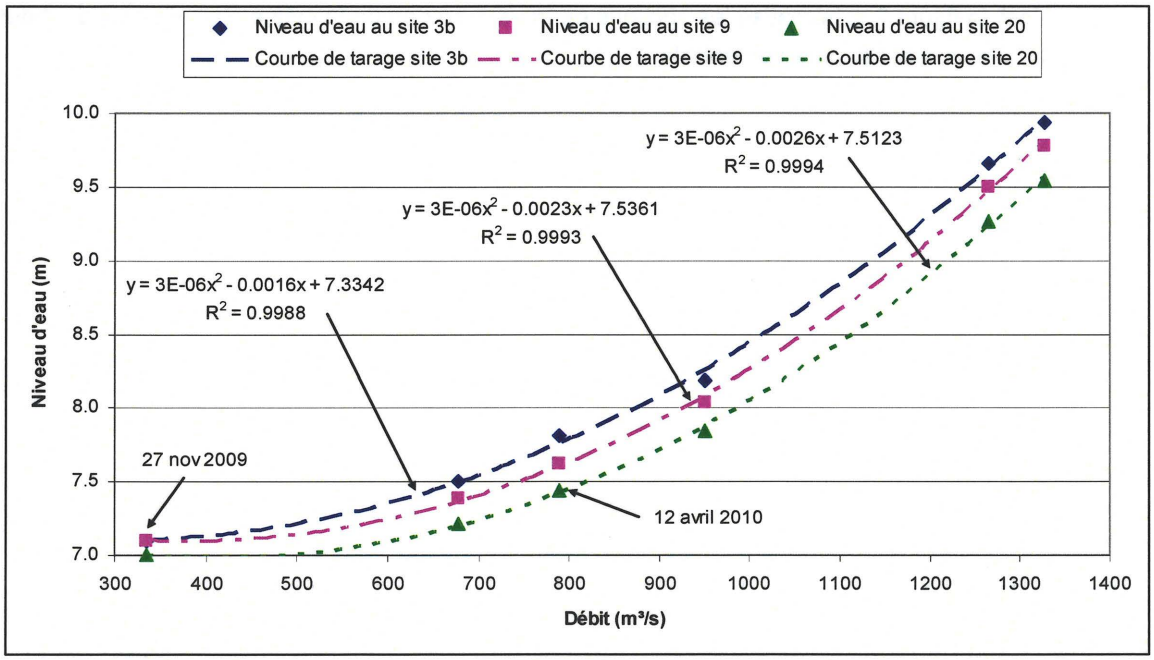
Les données recueillies sont synthétisées dans le tableau 4.

Tableau 4 : Niveaux d'eau au droit des sites 3b, 9 et 20

SITE	ID DANS LA CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES [6]	NIVEAU D'EAU OBSERVÉ (m)				NIVEAU D'EAU CALCULÉ (m)	
		29 mars 1979	16 mai 1979	27 nov. 2009	12 avril 2010	T = 20 ans	T = 100 ans
3b	101	8,19	7,50	7,10	7,81	9,66	9,94
9	89	8,04	7,38	7,10	7,62	9,50	9,78
20	80	7,84	7,21	7,00	7,44	9,26	9,54
Débit aux rapides Fryers (m³/s)		950	679	335	790	1264	1327

Ces données permettent d'ajuster une courbe polynomiale pour chaque site permettant de définir la relation entre le niveau d'eau et le débit. Ces courbes de tarage sont présentées sur la figure 1.

Figure 1 : Courbes de tarage aux sites 3b, 9 et 20



Bien que présentant une courbure inhabituelle, les corrélations obtenues entre les points et les courbes sont très bonnes puisque les coefficients de corrélation, R^2, sont très proches de 1.

1.3.3.3 *Détermination des vitesses moyennes aux sites en crue centennale*

Les débits s'écoulant dans la rivière au moment des mesures de vitesses étaient proches des maximum vécus pour les crues considérées (au moment où ce rapport est écrit, le débit maximal de la rivière Richelieu aux rapides Fryers a été de 810 m³/s en 2010 et il était de 790 m³/s lors de la visite de terrain) mais nettement plus bas que les pointes des crues moyennes printanière et automnale.

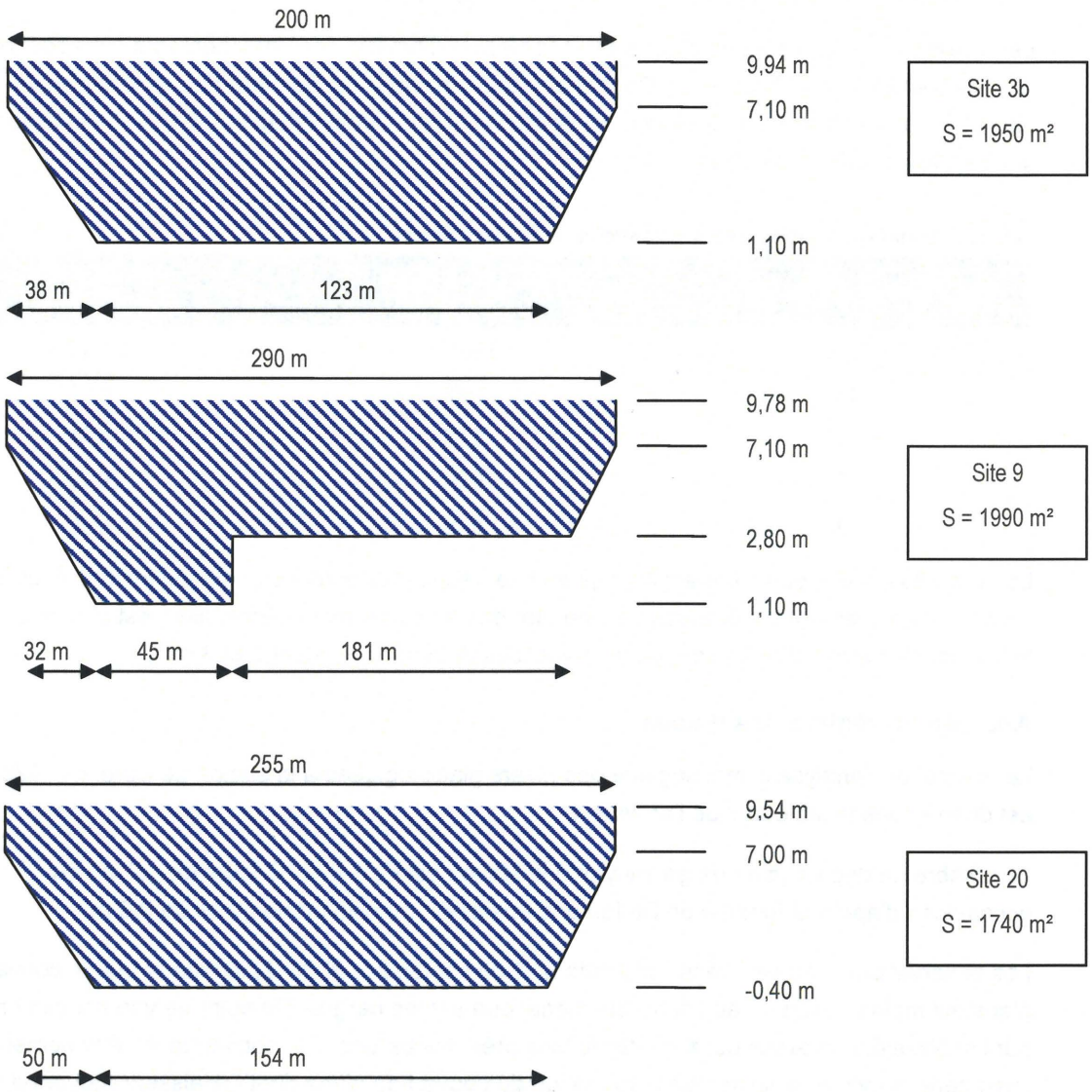
Afin de compléter ces mesures, les vitesses d'écoulement moyennes au droit des sites sont évaluées pour la crue centennale. Le profil en travers de la rivière Richelieu au droit des sites 3b, 9 et 20 est issu de la carte de navigation du Bas-Richelieu, dont les extraits utilisés sont disponibles en annexe 5.

Les hypothèses sont les suivantes :

- La profondeur d'eau est donnée dans les cartes de navigation pour un débit égal au module;
- Le module de la rivière Richelieu ayant été calculé égal à 355 m³/s aux rapides Fryers, on peut considérer que les niveaux d'eau sont alors égaux à ceux mesurés le 27 novembre 2009, lorsque le débit était de 335 m³/s;
- Les profils en travers de la rivière sont de forme trapézoïdale jusqu'à la cote correspondant au niveau d'eau au passage du débit module;
- L'augmentation du niveau d'eau se fait sans élargissement de la rivière au-delà de la cote correspondant à celle associée au débit module.

Ainsi, la figure 2 schématise les sections en travers en eau de la rivière Richelieu au droit des sites 3b, 9 et 20 pour la crue centennale

Figure 2 : Schéma des profils en travers de la rivière au droit des sites 3b, 9 et 20



Les sections d'écoulement obtenues aux sites 3b, 9 et 20 sont respectivement de 1 950 m², 1 990 m² et 1 740 m² pour la crue centennale. Le débit en crue centennale étant de 1 327 m³/s [6], les vitesses moyennes d'écoulement sont respectivement de 0,68 m/s, 0,67 m/s et 0,76 m/s.

1.3.3.4 *Détermination du calibre des enrochements nécessaires*

Les vitesses d'écoulement mesurées étant faibles, le diamètre des enrochements correspondant est relativement faible également. Pour information, le calcul du diamètre des enrochements stables selon la vitesse d'écoulement est également donné dans le tableau 5 pour des vitesses supérieures à celles mesurées.

Tableau 5 : Diamètre des enrochements stables selon la vitesse d'écoulement

VITESSE D'ÉCOULEMENT (m/s)	D50 SELON LA FORMULE D'ISBASH (m)	ÉPAISSEUR DE L'ENROCHEMENT (m)
0,02	0,00001	0,00002
0,5	0,005	0,01
1	0,02	0,04
2	0,09	0,18
3	0,19	0,38

Là où la vitesse d'écoulement est négligeable, le calibre des enrochements est infime. Pour des vitesses d'écoulement supérieures, le diamètre des enrochements nécessaires est plus important, le D_{50} est d'environ 10 et 20 cm pour des vitesses de respectivement 2 et 3 m/s.

1.3.4 Analyse du régime des glaces

Le résultat de l'analyse climatologique des hivers glaciologiques à la station de Sorel n° 7028200 est donné dans le tableau 3 de l'annexe 4.

Le nombre de degrés-jours de gel moyen à la station est de 1 060 °C-jours de gel, ce qui occasionne d'après la formule de Stefan une épaisseur du couvert de glace de 0,8 m.

Les observations données dans l'addenda n° 1 de septembre 2005 [2] indiquent que le couvert de glace est moins important au centre du chenal que sur les berges. Ce point de vue est confirmé par l'analyse des vitesses qui sont très faibles près des berges. Par conséquent, l'écoulement de l'eau dans la rivière ne limite pas la formation du couvert de glace dont l'épaisseur moyenne est conservée égale à 0,8 m.

1.4 DISCUSSION

Cette note a permis de :

1. confirmer les valeurs de 1 260 m³/s et 1 330 m³/s comme débits de pointe des crues statistiques vicennale et centennale de la rivière Richelieu;

2. identifier les sites 3b, 9 et 20 comme sites les plus instables de la zone d'étude;

3. confirmer la bonne résistance des enrochements de 30 cm proposés dans l'addenda n° 2 à des vitesses d'écoulement de 3 m/s;

4. mesurer les vitesses d'écoulement à partir du rivage des trois sites identifiés à l'automne, le 27 novembre 2009, et au printemps, le 12 avril 2010.

Les vitesses d'écoulement mesurées le long des berges dans la zone des enrochements projetés sont très faibles. Au moment des mesures, les valeurs des débits de la rivière Richelieu étaient toutefois bien inférieures aux pointes des crues moyennes printanière et automnale. La vérification sur le terrain n'a pas permis de connaître précisément les vitesses maximales de l'eau au droit des différents sites. En effet, les vitesses d'écoulement à utiliser pour valider le choix du calibre de l'enrochement sont associées à des événements hydrologiques plus rares que ceux observés. Il n'a donc pas été possible par cette méthode de confirmer ou d'infirmer que les types d'interventions proposées sont adéquats.

En alternative, le calcul des vitesses moyennes au droit des sites indique des vitesses d'écoulement de l'ordre de 0,7 m/s au passage de la crue centennale, ce qui confirme les types d'interventions proposées.

Mais il apparaît avant tout à l'issue de cette étude hydraulique complémentaire que le critère des vitesses d'écoulement est moins contraignant que les critères de stabilité des berges pour le dimensionnement des enrochements. Les enrochements prévus doivent être capables de résister aux pressions du talus et des glaces ainsi qu'aux phénomènes de batillage et de décrochement de la glace de rive.

2 DIMENSIONNEMENT DES ENROCHEMENTS

Dans l'étude d'impact sur l'environnement et les documents afférents, l'enrochement recommandé pour l'intervention de type perré végétalisé est composé de pierre 600-0 dont 50 % de pierres de plus de 300 mm, soit un d_{50} équivalent à 300 mm. Il est également recommandé d'installer une membrane géotextile entre le sol et l'enrochement de façon à éviter le lessivage des matériaux fins sous-jacents et de mettre en place une clé d'enrochement au pied du talus.

D'un point de vu géotechnique, ces recommandations sont toujours valides pour assurer la stabilité des berges aux endroits où un perré est requis. De plus, d'un point de vue hydraulique, la vitesse d'écoulement des eaux observée dans la zone d'étude ne remet pas en cause ce choix de calibre d'enrochement avec un d_{50} équivalent à 300 mm.

3 RÉFÉRENCES

[1] Projet de stabilisation de talus des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours - Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – rapport principal et annexes, Dessau, décembre 2004.

[2] Projet de stabilisation de talus des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours - Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – addenda au rapport principal, Dessau, septembre 2005.

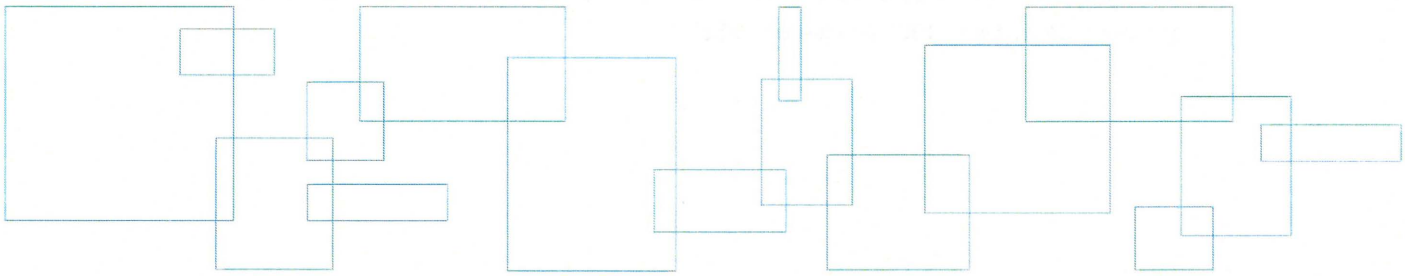
[3] Projet de stabilisation de talus des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Ours - Étude d'impact sur l'environnement déposée au ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs – addenda 2 au rapport principal, Dessau, mars 2006.

[4] Stabilisation des berges de la rivière Richelieu le long des routes 133 entre Mont-Saint-Hilaire et Saint-Ours et 223 entre Saint-Basile-le-Grand et Saint-Antoine-sur-le-Richelieu, Québec – Mise à jour de l'étude géotechnique pour la stabilisation des berges, Dessau, septembre 2009

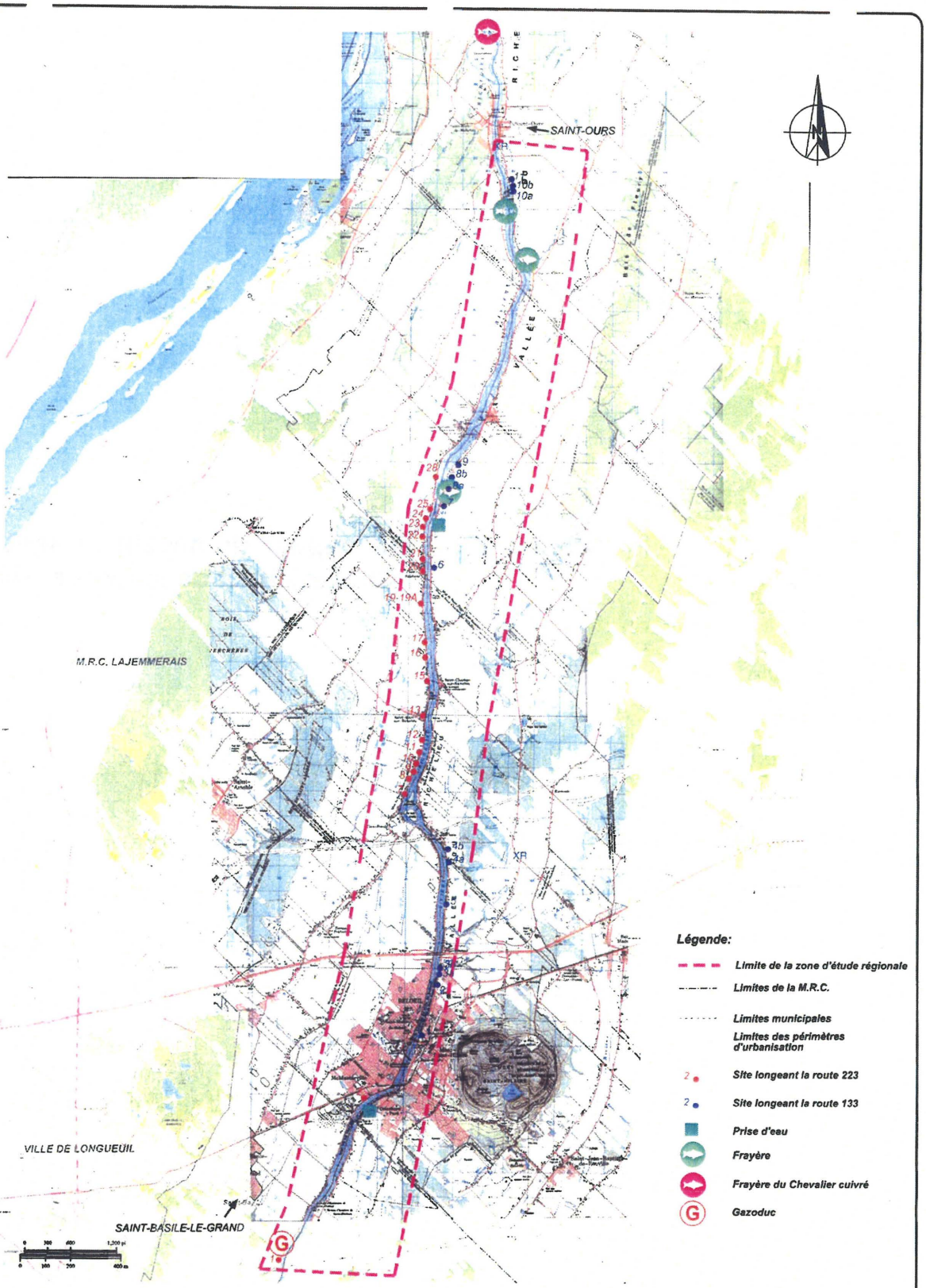
[5] Site Internet du COVABAR : http://www.covabar.qc.ca/accueil.html

[6] Cartographie des plaines d'inondation – Bas-Richelieu, Ministère de l'Environnement – Service des eaux de surface, 1981 (révisé en 1985)

Annexe 1 Cartographie des sites à l'étude



DESSAU



SOURCE :
- M.R.C. DE LA VALLÉE-DU-RICHELIEU, CARTE RÉGIONALE, 2003; RESSOURCES NATURELLES CANADA, CARTES 31 H/11, 31 H/14, 2003

CE DOCUMENT EST L'OEUVRE DE DESSAU-SOPRIN ET EST PROTÉGÉ PAR LA LOI. IL EST DESTINÉ EXCLUSIVEMENT AUX FINS QUI Y SONT MENTIONNÉES. TOUTE REPRODUCTION OU ADAPTATION, PARTIELLE OU TOTALE, EST STRICTEMENT PROHIBÉE SANS AVOIR OBTENU AU PRÉALABLE L'AUTORISATION ÉCRITE DE DESSAU-SOPRIN.

Projet

MINISTÈRE DES TRANSPORTS DU QUÉBEC

ÉTUDE D'IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT

PROJET DE STABILISATION DE TALUS DES BERGES DE LA RIVIÈRE RICHELIEU LE LONG DES ROUTES 133 ET 223 ENTRE SAINT-BASILE-LE-GRAND ET SAINT-OURS

Titre

FIGURE 2-1 RÉVISÉE
ZONE D'ÉTUDE ET SITES ÉTUDIÉS

DESSAU SOPRIN
Dessau-Soprin inc.
1060, rue University, bureau 600
Montréal (Québec) H3B 4W3
Téléphone : (514) 281-1010
Télécopieur : (514) 281-1060

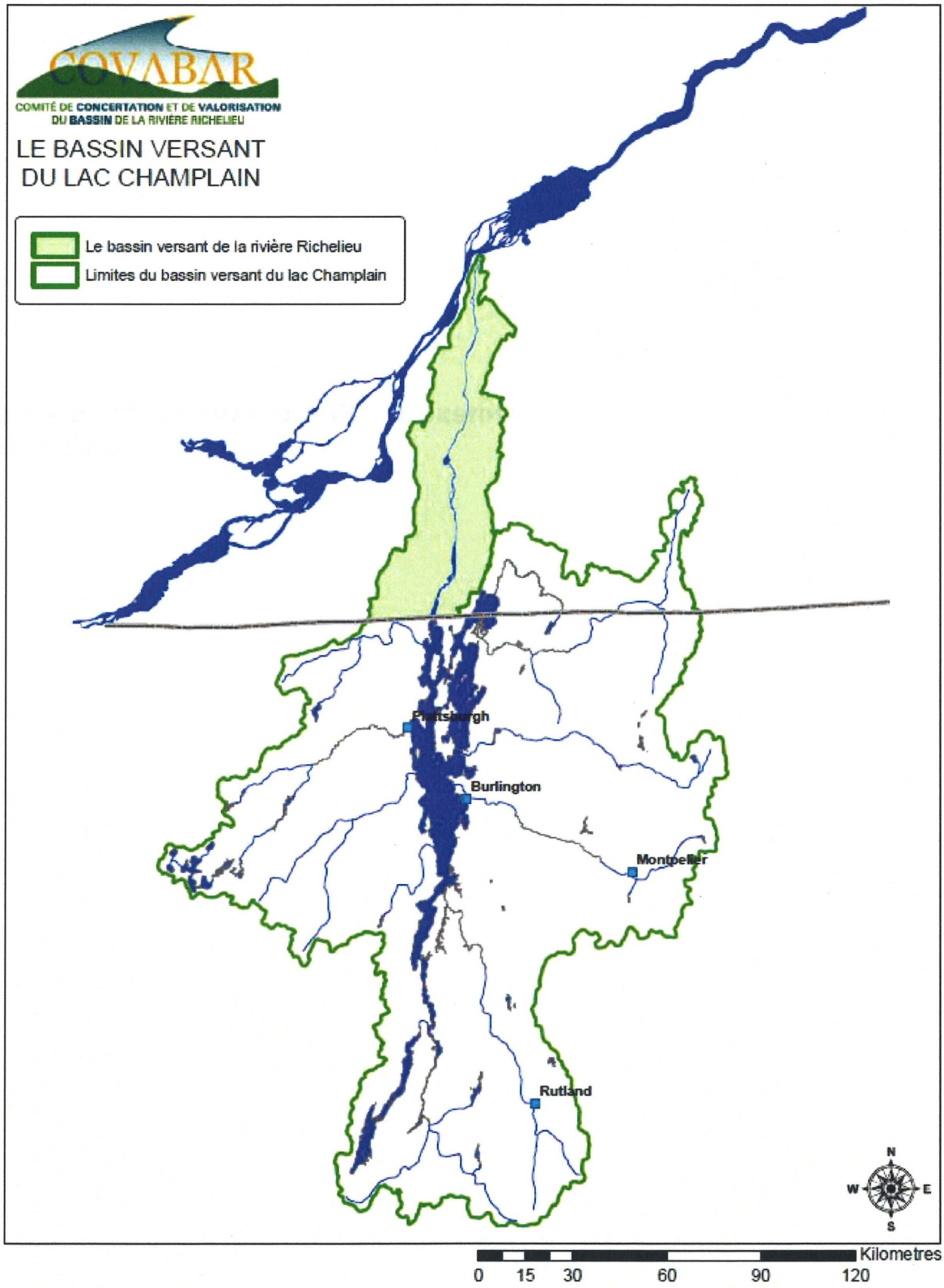
Préparé C.GAUDETTE	Discipline EN	Chargé de projet S.CÔTÉ	
Dessiné J.M. ROBERT	Échelle INDIQUÉE	Extrait de	Rév.
Vérifié C.GAUDETTE	Date 2005-06-27		

Projet	Lot	Disc.	No Dessin	Rév.
0 0 4 0 1 5 7	1 0 5	E N	0 2 - 1	0 2

Fichier: G:\004 - Transport\40157\Cad\Actif.105\40157-105EN0002-02.dwg

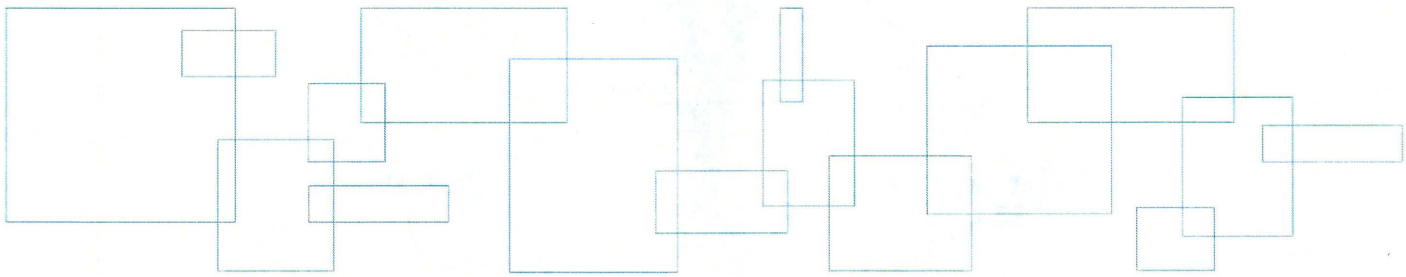
Annexe 2 Découpage du bassin versant du lac Champlain et de la rivière Richelieu

DESSAU


COVABAR
COMITÉ DE CONCERTATION ET DE VALORISATION DU BASSIN DE LA RIVIÈRE RICHELIEU
LE BASSIN VERSANT DU LAC CHAMPLAIN
Le bassin versant de la rivière Richelieu
Limites du bassin versant du lac Champlain
Plattsburgh
Burlington
Montpelier
Rutland
N
W
E
S
Kilometres
0 15 30 60 90 120

DESSAU

Annexe 3 Photographies des sites prises le 12 avril 2010



DESSAU

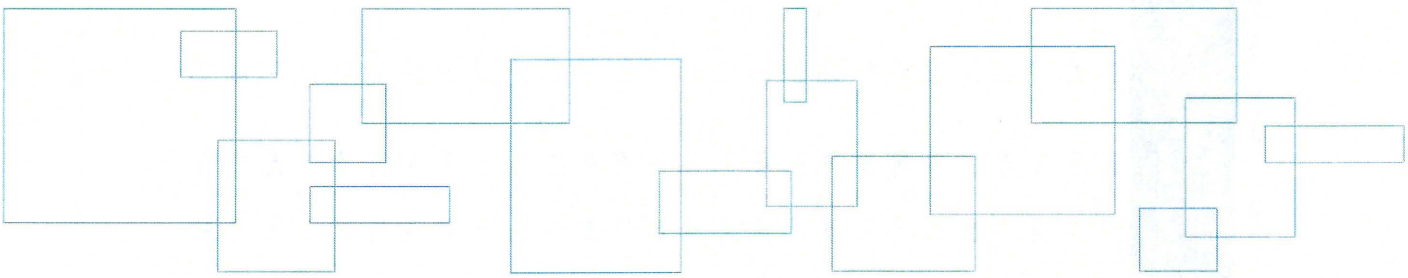
Site 3b

Site 9

Site 20

DESSAU

Annexe 4 Tableaux et figures de l'analyse hydrologique et climatologique



DESSAU

Tableau 4-1 : Débits journaliers minimal, maximal, mensuel et annuel à la station nº 030401 de la rivière Richelieu aux rapides Fryers, pour la période allant de 1937 à 2008

Année	Débits mensuels (m^3/s)												Débit journalier		Débit journalier		Débit	Effet de glace	
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	maximal	date	minimal	date	annuel	fin	début
													(m^3/s)	(jr/mo)	(m^3/s)	(jr/mo)	(m^3/s)	(jr/mo)	(jr/mo)
1937	----	----	----	----	----	622	375	222	151	124	165	174	767	07/06	85,8	02/10	----		13/12
1938	138	257	365	666	511	301	185	160	229	363	279	369	827	18/04	127	08/09	318	25/03	01/12
1939	281	209	290	771	1010	563	306	185	119	120	120	112	1210	30/04	77,9	15/10	341	10/04	18/11
1940	95,6	78,8	80,0	591	948	670	362	218	131	111	163	179	1050	07/05	68,0	21/02	303	07/04	25/11
1941	331	242	202	459	378	235	160	117	84,3	66,8	98,9	94,8	665	21/04	39,9	17/10	205	31/03	11/12
1942	127	123	290	654	622	415	288	153	111	147	174	153	920	28/04	90,6	12/09	272	20/03	01/12
1943	155	152	338	552	836	618	405	293	239	169	312	274	1080	17/05	135	09/10	363	25/03	10/12
1944	197	174	222	641	779	407	255	149	108	110	132	115	971	03/05	81,3	02/10	274	31/03	01/12
1945	144	151	434	806	856	624	392	262	202	537	541	360	994	05/04	144	01/01	444	20/03	01/12
1946	276	241	545	591	473	405	230	151	118	172	281	281	793	03/04	82,4	30/09	314	15/03	01/12
1947	292	390	425	830	959	1100	733	402	230	149	132	109	1240	06/06	90,6	31/10	479	10/03	01/12
1948	79,4	75,3	274	691	556	429	265	195	133	99,0	160	218	881	08/04	68,0	01/02	265	21/03	01/12
1949	429	323	350	631	505	279	151	101	111	98,0	128	139	668	07/04	71,9	13/10	270	31/03	
1950	256	277	252	699	617	332	191	121	131	121	145	366	912	06/05	73,3	03/11	292		
1951	284	295	396	946	740	387	277	196	157	121	247	270	1100	19/04	85,0	07/10	359		
1952	317	341	318	825	680	596	328	158	130	117	98	165	951	22/04	62,3	17/11	339		16/12
1953	206	322	394	768	839	465	228	137	113	82,6	85,5	116	920	05/05	43,6	07/10	312	31/03	26/12
1954	96,8	162	498	783	916	665	388	223	231	376	340	356	1040	30/04	86,4	17/01	421	15/04	
1955	364	263	463	862	771	427	208	163	158	148	245	175	1150	17/04	93,4	16/10	354		
1956	145	149	155	553	832	617	303	160	126	132	115	120	920	12/05	67,1	18/11	284		01/12
1957	120	173	275	391	378	297	224	147	121	104	136	219	501	25/04	68,5	03/11	216	31/03	
1958	326	288	293	798	895	567	300	211	170	209	330	195	1120	29/04	140	05/09	382		01/12
1959	164	200	262	866	649	370	215	104	93	131	284	474	968	29/04	50,4	02/10	318	31/03	01/12
1960	381	314	313	900	789	443	233	151	122	143	212	161	1040	01/05	92,9	25/10	346	31/03	11/12
1961	106	80,8	415	500	669	465	314	206	174	149	141	155	759	16/05	56,9	17/02	282	25/03	16/12
1962	104	81,7	153	703	695	356	185	195	167	231	309	283	852	02/05	79,3	16/02	289	05/04	21/12
1963	157	131	151	905	773	411	182	140	142	121	145	152	1060	30/04	57,5	29/10	284	30/04	05/12

Année	Débits mensuels (m^3/s)												Débit journalier		Débit journalier		Débit	Effet de glace	
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	maximal	date	minimal	date	annuel	fin	début
													(m^3/s)	(jr/mo)	(m^3/s)	(jr/mo)	(m^3/s)	(jr/mo)	(jr/mo)
1964	132	170	345	527	511	319	152	100	94,8	81,2	81,3	89,6	637	26/04	62,3	17/11	217	15/03	02/12
1965	121	130	185	241	291	174	105	86	122	209	273	351	445	28/12	68,8	05/08	191	06/03	19/12
1966	305	241	477	611	552	396	186	107	108	123	140	180	685	21/04	84,1	03/09	286	07/03	22/12
1967	166	160	154	518	559	415	243	154	134	174	235	302	648	22/04	105	06/10	268	05/04	24/12
1968	263	226	359	720	559	365	248	139	109	100	139	310	847	04/04	59,2	13/11	295	20/03	10/12
1969	225	254	257	826	985	637	308	197	160	140	264	328	1110	30/04	103	22/10	382	22/03	24/12
1970	240	227	308	772	891	459	228	111	96,7	148	191	182	1110	01/05	74,5	01/09	321	21/03	04/12
1971	112	130	333	739	1050	614	259	169	215	193	158	214	1140	10/05	88,1	03/02	349	26/03	19/12
1972	240	215	287	663	1060	691	478	370	205	160	280	434	1200	11/05	126	01/10	424	31/03	
1973	487	535	739	924	750	698	559	309	215	256	234	397	1040	06/04	164	16/11	508		
1974	632	511	562	810	920	618	370	255	206	197	231	365	1010	15/05	132	21/11	473		26/12
1975	340	292	394	598	672	385	184	106	132	282	445	484	765	03/05	84,1	23/08	360	18/02	16/12
1976	296	373	736	1000	820	586	385	416	385	441	479	449	1190	06/04	235	23/01	531	16/03	25/12
1977	393	266	545	885	667	345	187	142	188	531	603	514	1010	03/04	120	12/08	439	11/03	07/12
1978	442	389	377	902	900	564	330	183	123	129	132	107	1060	01/05	89,5	03/10	381	29/03	21/11
1979	251	303	677	900	696	451	200	132	192	224	284	345	990	06/04	102	24/08	388	18/03	14/12
1980	309	195	182	498	451	263	143	126	150	181	216	274	579	20/04	109	28/08	249	30/03	05/12
1981	215	381	653	601	487	350	195	195	240	430	597	440	791	28/02	135	06/08	398	19/03	15/12
1982	293	254	351	828	758	419	260	148	121	133	180	205	1010	26/04	102	15/09	329	16/03	09/12
1983	193	220	341	655	1090	775	334	218	164	158	282	586	1210	08/05	128	24/10	419	25/03	16/12
1984	523	508	523	701	758	727	405	216	149	148	181	237	862	09/06	117	02/10	422	19/03	21/12
1985	255	233	433	627	527	325	205	122	126	217	284	233	662	15/04	92,7	31/08	299	24/03	15/11
1986	203	230	424	881	549	423	285	262	265	331	318	393	1050	07/04	185	08/01	380	14/03	10/12
1987	288	196	271	737	462	307	220	150	146	235	312	354	833	10/04	112	03/09	307	20/03	23/12
1988	209	195	220	518	526	277	148	114	140	130	285	350	650	10/05	87,1	22/10	259	26/03	26/12
1989	220	167	207	613	673	488	250	195	207	284	422	311	738	16/05	146	21/02	337	24/03	03/12
1990	268	372	613	897	737	527	320	294	262	364	606	604	1000	15/04	192	02/01	489	08/03	25/12
1991	598	483	569	693	606	326	165	104	105	217	231	263	772	23/04	73,1	01/09	363	02/03	06/12
1992	265	226	333	573	646	378	199	158	150	168	277	315	790	29/04	125	02/09	307	22/03	22/12

Année	Débits mensuels (m^3/s)												Débit journalier		Débit journalier		Débit	Effet de glace	
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	maximal	date	minimal	date	annuel	fin	début
													(m^3/s)	(jr/mo)	(m^3/s)	(jr/mo)	(m^3/s)	(jr/mo)	(jr/mo)
1993	281	228	219	873	926	528	296	189	166	210	265	303	1260	28/04	141	16/09	374	26/03	26/12
1994	222	224	319	914	952	599	331	231	203	182	207	243	1190	19/04	160	14/10	386	21/03	
1995	316	338	404	429	332	223	117	156	126	206	484	441	588	21/11	89,5	16/07	297	13/03	
1996	472	601	464	579	997	693	492	355	210	200	388	608	1110	16/05	139	20/10	505	11/03	
1997	491	359	481	684	724	436	252	191	198	209	300	297	810	06/05	163	12/08	385	18/03	03/12
1998	524	559	653	1050	626	442	626	422	325	332	296	270	1230	06/04	218	30/12	509	16/03	
1999	198	349	395	612	421	226	122	88,9	132	275	311	352	692	07/04	42,7	17/09	289	16/03	24/12
2000	324	255	585	914	995	677	390	273	190	153	168	201	1110	18/05	98	29/10	427	22/02	03/12
2001	231	203	251	724	825	486	282	152	117	109	105	131	1090	26/04	70,0	28/11	302	12/03	
2002	112	144	320	560	644	638	480	242	146	193	259	302	728	17/06	102	07/01	338	19/02	02/12
2003	239	175	267	631	663	478	226	196	191	238	565	668	853	29/12	156	03/08	379	16/03	
2004	687	393	436	684	563	469	252	272	439	322	231	322	849	03/01	198	20/11	422	01/02	16/12
2005	402	333	283	707	679	499	383	220	193	356	700	639	868	02/05	165	16/09	450	18/03	
2006	642	720	534	547	579	703	581	360	236	283	554	582	865	06/02	189	05/10	525	06/03	
2007	563	346	385	866	816	462	256	166	135	195	344	395	1050	26/04	112	09/09	411	21/03	06/12
2008	565	482	576	931	761	474	329	467	340	269	351	358	1060	23/04	183	22/10	492	11/03	09/12
maximum	687	720	739	1050	1090	1100	733	467	439	537	700	668	1260	1993	235	1976	531	30/04	27/12
moyenne	286	272	374	712	709	478	287	197	170	202	270	299	924		108		355	22/03	11/12
minimum	79,4	75,3	80	241	291	174	105	86,2	84,3	66,8	81,3	89,6	445	1965	39,9	1941	191	18/02	15/11

Tableau 4-2 : Crues de la rivière Richelieu aux rapides Fryers (station nº 030401)

Année	Crue printanière							Crue automnale	
	Date début	Date pointe	Date fin	Débit pointe	Débit moyen	Volume	Facteur de forme	Débit pointe	Date
	(jr/mo)	(jr/mo)	(jr/mo)	(m^3/s)	(m^3/s)	(hm^3)		(m^3/s)	(jr/mo)
1938	25/03	18/04	22/06	827	528	4102	1,57	513	27/09
1939	10/04	30/04	08/07	1210	778	6053	1,55	362	14/07
1940	15/04	07/05	13/07	1050	744	5782	1,41	374	15/07
1941	31/03	21/04	28/06	665	359	2794	1,85	205	19/07
1942	23/03	28/04	20/06	920	566	4400	1,63	453	21/06
1943	17/04	17/05	15/07	1080	662	5148	1,63	388	16/07
1944	08/04	03/05	06/07	971	599	4660	1,62	309	07/07
1945	20/03	05/04	17/06	994	792	6159	1,25	637	13/10
1946	15/03	03/04	12/06	793	552	4290	1,44	419	16/06
1947	05/04	06/06	03/07	1240	976	7593	1,27	833	04/07
1948	30/03	08/04	27/06	881	568	4417	1,55	374	29/06
1949	31/03	07/04	28/06	668	477	3705	1,40	280	23/11
1950	08/04	06/05	06/07	912	529	4111	1,73	476	29/12
1951	28/03	19/04	25/06	1100	706	5491	1,56	368	22/11
1952	26/03	22/04	23/06	951	697	5418	1,36	547	24/06
1953	31/03	05/05	28/06	920	698	5431	1,32	320	29/06
1954	15/04	30/04	13/07	1040	774	6021	1,34	470	14/11
1955	29/03	17/04	26/06	1150	701	5449	1,64	314	27/06
1956	05/04	12/05	03/07	920	682	5305	1,35	362	04/07
1957	31/03	25/04	28/06	501	357	2775	1,40	391	29/12
1958	27/03	29/04	24/06	1120	753	5855	1,49	561	26/11
1959	31/03	29/04	28/06	968	633	4925	1,53	538	15/12
1960	31/03	01/05	28/06	1040	716	5568	1,45	362	29/06
1961	25/03	16/05	22/06	759	544	4229	1,40	422	25/06
1962	05/04	02/05	03/07	852	579	4505	1,47	391	21/11
1963	25/03	30/04	22/06	1060	698	5427	1,52	343	23/06
1964	05/04	26/04	03/07	637	445	3458	1,43	183	04/07
1965	01/04	07/05	29/06	377	237	1843	1,59	445	28/12
1966	17/03	21/04	14/06	685	558	4341	1,23	416	15/06
1967	05/04	22/04	03/07	648	500	3887	1,30	408	17/12
1968	20/03	04/04	17/06	847	590	4587	1,44	462	12/12
1969	05/04	30/04	03/07	1110	818	6364	1,36	439	05/07
1970	06/04	01/05	04/07	1110	701	5452	1,58	309	02/12
1971	09/04	10/05	07/07	1140	796	6192	1,43	309	08/07
1972	08/04	11/05	06/07	1200	811	6307	1,48	530	07/07
1973	04/03	06/04	01/06	1040	815	6338	1,28	767	03/06
1974	30/03	15/05	27/06	1010	788	6130	1,28	473	29/06
1975	04/04	03/05	02/07	765	548	4259	1,40	629	30/11
1976	23/03	06/04	20/06	1190	854	6640	1,39	558	10/12

Année	Crue printanière							Crue automnale	
	Date début	Date pointe	Date fin	Débit pointe	Débit moyen	Volume	Facteur de forme	Débit pointe	Date
	(jr/mo)	(jr/mo)	(jr/mo)	(m^3/s)	(m^3/s)	(hm^3)		(m^3/s)	(jr/mo)
1977	11/03	03/04	08/06	1010	725	5634	1,39	705	21/11
1978	29/03	01/05	26/06	1060	795	6179	1,33	538	27/06
1979	18/03	06/04	15/06	990	756	5879	1,31	591	30/11
1980	30/03	20/04	27/06	579	410	3187	1,41	422	04/11
1981	20/02	28/02	20/05	791	599	4660	1,32	641	31/10
1982	09/04	26/04	07/07	1010	639	4971	1,58	324	12/07
1983	31/03	08/05	28/06	1210	846	6577	1,43	760	26/12
1984	29/03	09/06	26/06	862	730	5678	1,18	571	27/06
1985	27/03	15/04	24/06	662	511	3974	1,30	380	20/11
1986	25/03	07/04	22/06	1050	651	5060	1,61	457	18/12
1987	20/03	10/04	17/06	833	519	4036	1,61	405	20/12
1988	26/03	10/05	23/06	650	454	3529	1,43	417	06/12
1989	24/03	16/05	21/06	738	585	4551	1,26	500	28/11
1990	08/03	15/04	05/06	1000	768	5971	1,30	715	27/11
1991	23/03	23/04	20/06	772	580	4509	1,33	315	30/11
1992	25/03	29/04	22/06	790	547	4256	1,44	365	30/11
1993	26/03	28/04	23/06	1260	768	5975	1,64	475	26/06
1994	21/03	19/04	18/06	1190	817	6355	1,46	581	21/06
1995	13/03	30/03	10/06	531	388	3018	1,37	588	21/11
1996	08/04	16/05	06/07	1110	769	5976	1,44	663	16/12
1997	18/03	06/05	15/06	810	633	4926	1,28	470	16/06
1998	16/03	06/04	13/06	1230	750	5830	1,64	697	14/07
1999	16/03	07/04	13/06	692	470	3651	1,47	413	20/12
2000	01/04	18/05	29/06	1110	867	6743	1,28	505	30/06
2001	29/03	26/04	26/06	1090	680	5287	1,60	402	27/06
2002	01/04	17/06	29/06	728	614	4774	1,19	646	30/06
2003	20/03	06/05	17/06	727	594	4622	1,22	853	29/12
2004	25/03	19/04	22/06	774	585	4549	1,32	506	15/09
2005	27/03	02/05	24/06	868	619	4817	1,40	786	29/11
2006	01/04	25/05	29/06	765	608	4730	1,26	748	02/07
2007	21/03	26/04	18/06	1050	746	5801	1,41	508	29/11
2008	11/03	23/04	08/06	1060	764	5941	1,39	517	18/08
max/tardif :	17/04	17/06	15/07	1260	976	7593	1,85	853	29/12
moyenne :	27/03	27/04	24/06	921	647	5029	1,43	485	15/09
min/hâtif :	20/02	28/02	20/05	377	237	1843	1,18	183	04/07

Tableau 4-3 : Caractéristiques des hivers glaciologiques à la station nº 7028200 Sorel

Hiver	Début		Fin		Durée		Froidure		Rigueur	
	Date		Date		(jours)		(°C)		(°C-jours de gel)	
1914 - 1915	06/11/1914	hâtif	01/04/1915	normal	146	long	-7,3	moyen	1060	normal
1915 - 1916	16/11/1915	normal	26/03/1916	normal	131	moyen				
1916 - 1917	10/11/1916	hâtif	24/03/1917	normal	134	moyen	-10,4	froid	1387	rigoureux
1917 - 1918	17/11/1917	normal	29/03/1918	normal	132	moyen	-12,6	froid	1668	rigoureux
1918 - 1919	21/11/1918	normal	05/04/1919	normal	135	moyen	-7,6	moyen	1022	normal
1919 - 1920	18/11/1919	normal	22/03/1920	normal	125	moyen	-12,1	froid	1513	rigoureux
1920 - 1921	09/11/1920	hâtif	19/03/1921	normal	130	moyen	-7,7	moyen	995	normal
1921 - 1922	04/11/1921	hâtif	01/04/1922	normal	148	long	-8,9	moyen	1315	rigoureux
1922 - 1923	20/11/1922	normal	15/04/1923	tardif	146	long	-11,8	froid	1722	rigoureux
1923 - 1924	12/12/1923	tardif	03/04/1924	normal	113	moyen	-10,4	froid	1174	normal
1924 - 1925	15/11/1924	normal	24/03/1925	normal	129	moyen	-9,8	moyen	1264	normal
1925 - 1926	22/11/1925	normal	19/04/1926	tardif	148	long	-9,6	moyen	1415	rigoureux
1926 - 1927	19/11/1926	normal	25/03/1927	normal	126	moyen	-8,8	moyen	1110	normal
1927 - 1928			02/04/1928	normal						
1928 - 1929	20/11/1928	normal	19/03/1929	normal	119	moyen	-8,7	moyen	1039	normal
1929 - 1930	18/11/1929	normal	02/04/1930	normal	135	moyen	-9,4	moyen	1266	normal
1930 - 1931	25/11/1930	normal	15/03/1931	hâtif	110	court	-9,2	moyen	1010	normal
1931 - 1932	25/11/1931	normal	29/03/1932	normal	125	moyen	-7,0	moyen	878	normal
1932 - 1933	15/11/1932	normal	28/03/1933	normal	133	moyen	-6,6	doux	877	normal
1933 - 1934	03/11/1933	hâtif	01/04/1934	normal	149	long	-12,2	froid	1812	rigoureux
1934 - 1935	02/12/1934	tardif	06/04/1935	tardif	125	moyen	-11,4	froid	1423	rigoureux
1935 - 1936	15/11/1935	normal	16/03/1936	hâtif	122	moyen				
1936 - 1937	07/11/1936	hâtif	02/04/1937	normal	146	long	-7,2	moyen	1048	normal
1937 - 1938	29/11/1937	normal	18/03/1938	normal	109	court	-11,5	froid	1257	normal
1938 - 1939	22/11/1938	normal	18/04/1939	tardif	147	long				
1939 - 1940	08/11/1939	hâtif	15/04/1940	tardif	159	long				
1940 - 1941	22/11/1940	normal	31/03/1941	normal	129	moyen	-9,4	moyen	1209	normal
1941 - 1942	11/11/1941	hâtif	23/03/1942	normal	132	moyen	-7,3	moyen	963	normal
1942 - 1943	20/11/1942	normal	17/04/1943	tardif	148	long	-9,4	moyen	1387	rigoureux
1943 - 1944	13/11/1943	normal	08/04/1944	tardif	147	long	-8,5	moyen	1244	normal
1944 - 1945	23/11/1944	normal	13/03/1945	hâtif	110	court	-10,4	froid	1148	normal
1945 - 1946	14/11/1945	normal	12/03/1946	hâtif	118	moyen	-9,0	moyen	1066	normal
1946 - 1947	22/11/1946	normal	04/04/1947	normal	133	moyen	-7,2	moyen	960	normal
1947 - 1948	12/11/1947	normal	30/03/1948	normal	139	moyen	-10,1	froid	1400	rigoureux
1948 - 1949	09/12/1948	tardif	22/03/1949	normal	103	court				
1949 - 1950	20/11/1949	normal	08/04/1950	tardif	139	moyen	-8,0	moyen	1113	normal
1950 - 1951	20/11/1950	normal	28/03/1951	normal	128	moyen				
1951 - 1952	16/11/1951	normal	19/03/1952	normal	124	moyen	-8,0	moyen	992	normal
1952 - 1953	27/11/1952	normal	15/03/1953	hâtif	108	court	-7,2	moyen	783	clément
1953 - 1954	14/12/1953	tardif	06/04/1954	tardif	113	moyen	-8,4	moyen	949	normal

Hiver	Début		Fin		Durée		Froidure		Rigueur	
	Date		Date		(jours)		(°C)		(°C-jours de gel)	
1954 - 1955	30/11/1954	normal	29/03/1955	normal	119	moyen	-8,9	moyen	1058	normal
1955 - 1956	16/11/1955	normal	30/03/1956	normal	135	moyen	-8,2	moyen	1105	normal
1956 - 1957	17/11/1956	normal	19/03/1957	normal	122	moyen				
1957 - 1958	24/11/1957	normal	21/03/1958	normal	117	moyen	-6,6	doux	773	clément
1958 - 1959	21/11/1958	normal	30/03/1959	normal	129	moyen	-10,6	froid	1368	rigoureux
1959 - 1960	14/11/1959	normal	30/03/1960	normal	137	moyen	-6,6	doux	899	normal
1960 - 1961	29/11/1960	normal	23/03/1961	normal	114	moyen	-9,7	moyen	1108	normal
1961 - 1962	25/11/1961	normal	23/03/1962	normal	118	moyen	-9,2	moyen	1083	normal
1962 - 1963	07/12/1962	tardif	25/03/1963	normal	108	court	-10,0	froid	1085	normal
1963 - 1964	27/11/1963	normal	05/04/1964	normal	130	moyen	-7,2	moyen	933	normal
1964 - 1965	14/11/1964	normal	01/04/1965	normal	138	moyen	-7,1	moyen	975	normal
1965 - 1966	14/11/1965	normal	17/03/1966	hâtif	123	moyen	-6,5	doux	802	clément
1966 - 1967	30/11/1966	normal	26/03/1967	normal	116	moyen	-8,7	moyen	1014	normal
1967 - 1968	13/11/1967	normal	15/03/1968	hâtif	123	moyen	-9,8	moyen	1204	normal
1968 - 1969			05/04/1969	normal						
1969 - 1970	20/11/1969	normal	06/04/1970	tardif	137	moyen	-8,4	moyen	1153	normal
1970 - 1971	23/11/1970	normal	09/04/1971	tardif	137	moyen	-7,6	moyen	1041	normal
1971 - 1972	07/11/1971	hâtif	08/04/1972	tardif	153	long	-7,0	moyen	1068	normal
1972 - 1973	13/11/1972	normal	03/03/1973	hâtif	110	court	-7,6	moyen	834	normal
1973 - 1974	30/11/1973	normal	30/03/1974	normal	120	moyen	-7,5	moyen	895	normal
1974 - 1975	20/11/1974	normal	04/04/1975	normal	135	moyen	-5,9	doux	796	clément
1975 - 1976	21/11/1975	normal	23/03/1976	normal	123	moyen	-9,0	moyen	1112	normal
1976 - 1977	07/11/1976	hâtif	04/03/1977	hâtif	117	moyen	-8,9	moyen	1039	normal
1977 - 1978	24/11/1977	normal	27/03/1978	normal	123	moyen	-8,7	moyen	1073	normal
1978 - 1979	19/11/1978	normal	18/03/1979	normal	119	moyen	-8,1	moyen	960	normal
1979 - 1980	29/11/1979	normal	21/03/1980	normal	113	moyen	-8,0	moyen	902	normal
1980 - 1981	07/11/1980	hâtif	20/03/1981	normal	133	moyen	-7,9	moyen	1054	normal
1981 - 1982	22/11/1981	normal	09/04/1982	tardif	138	moyen	-8,0	moyen	1107	normal
1982 - 1983	07/12/1982	tardif	31/03/1983	normal	114	moyen	-6,4	doux	725	clément
1983 - 1984	12/11/1983	normal	29/03/1984	normal	138	moyen	-8,1	moyen	1116	normal
1984 - 1985	16/11/1984	normal	27/03/1985	normal	131	moyen	-7,4	moyen	970	normal
1985 - 1986	21/11/1985	normal	25/03/1986	normal	124	moyen	-8,3	moyen	1027	normal
1986 - 1987	12/11/1986	normal	18/03/1987	normal	126	moyen	-7,8	moyen	982	normal
1987 - 1988			23/03/1988	normal						
1988 - 1989	18/11/1988	normal	24/03/1989	normal	126	moyen	-8,9	moyen	1122	normal
1989 - 1990	17/11/1989	normal	13/04/1990	tardif	147	long	-7,7	moyen	1135	normal
1990 - 1991	02/12/1990	tardif	23/03/1991	normal	111	court	-6,8	doux	757	clément
1991 - 1992	01/12/1991	tardif	25/03/1992	normal	115	moyen	-9,4	moyen	1081	normal
1992 - 1993	03/12/1992	tardif	24/03/1993	normal	111	court	-9,0	moyen	994	normal
1993 - 1994	22/11/1993	normal	20/03/1994	normal	118	moyen	-10,0	froid	1185	normal
1994 - 1995	22/11/1994	normal	12/03/1995	hâtif	110	court	-6,4	doux	706	clément
1995 - 1996	11/11/1995	hâtif	11/03/1996	hâtif	121	moyen	-8,1	moyen	983	normal
1996 - 1997	11/11/1996	hâtif	25/03/1997	normal	134	moyen	-6,2	doux	833	normal
1997 1998										

Hiver	Début		Fin		Durée		Froidure		Rigueur	
	Date		Date		(jours)		(°C)		(°C-jours de gel)	
1998 - 1999	16/12/1998	tardif	15/03/1999	hâtif	89	court	-7,3	moyen	649	clément
1999 - 2000	16/12/1999	tardif	19/03/2000	normal	94	court	-7,3	moyen	686	clément
2000 - 2001	20/11/2000	normal	29/03/2001	normal	129	moyen	-7,3	moyen	938	normal
2001 - 2002	14/12/2001	tardif	26/03/2002	normal	102	court	-5,2	doux	530	clément
2002 - 2003	15/11/2002	normal	20/03/2003	normal	125	moyen	-8,5	moyen	1063	normal
2003 - 2004	01/12/2003	tardif	25/03/2004	normal	115	moyen	-7,9	moyen	905	normal
2004 - 2005	25/11/2004	normal	27/03/2005	normal	122	moyen	-7,5	moyen	912	normal
2005 - 2006	22/11/2005	normal	21/03/2006	normal	119	moyen	-5,2	doux	620	clément
moyenne	18 novembre		25 mars		126	jours	-8.4	°C	1060	°C-jrs de gel
écart-type	10	jours	9	jours	14	jours	1.6	°C	235	°C-jrs de gel
record	16/12/1999	tardif	19/04/1926	tardif	159	jours	-12.6	°C	1812	°C-jrs de gel
					1939	long	1917	froid	1933	rigoureux
record	03/11/1933	hâtif	03/03/1973	hâtif	89	jours	-5.2	°C	530	°C-jrs de gel
					1998	court	2001	doux	2001	clément

Tableau 4-4 : Crues statistiques de la rivière Richelieu aux rapides Fryers (station nº 030401)

Période de retour (ans)	Débit (m^3/s)
2	931
5	1100
7	1142
10	1181
20	1243
25	1260
50	1306
100	1345
500	1413
1000	1435

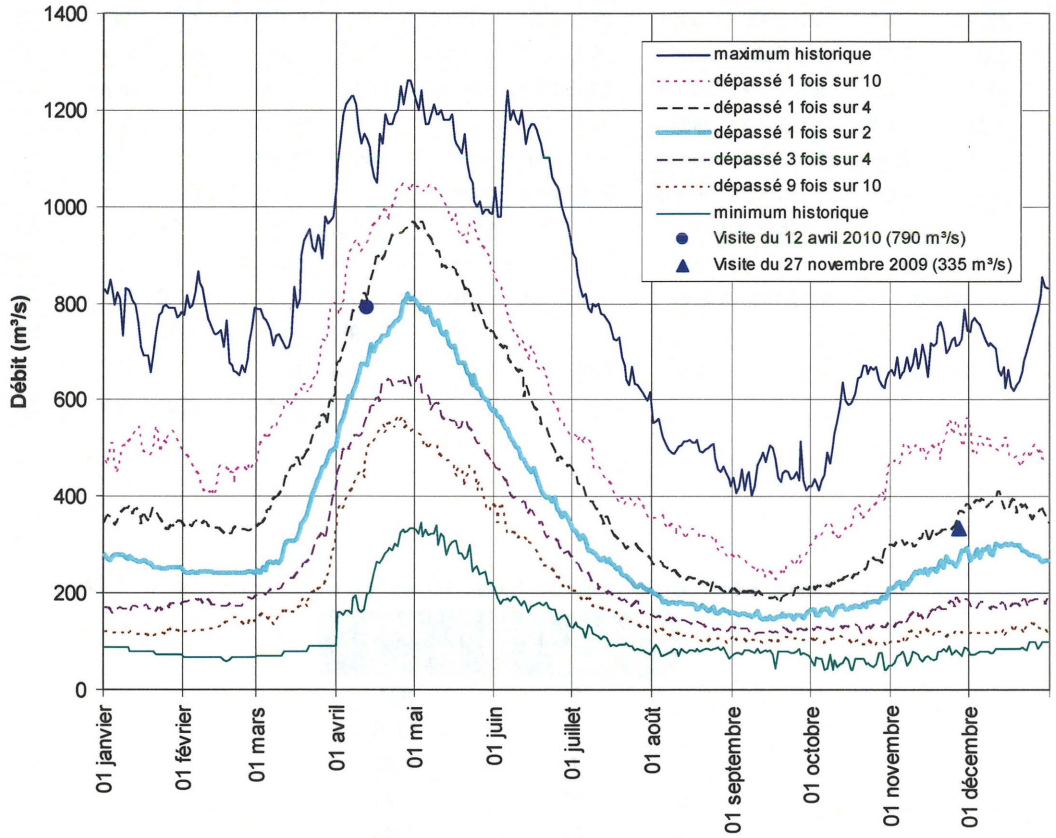


Figure 4-1 : Débits journaliers classés d'après leur fréquence à la station n° 030401 du Richelieu aux rapides Fryers, pour la période allant du 7 juin 1937 au 31 décembre 2008

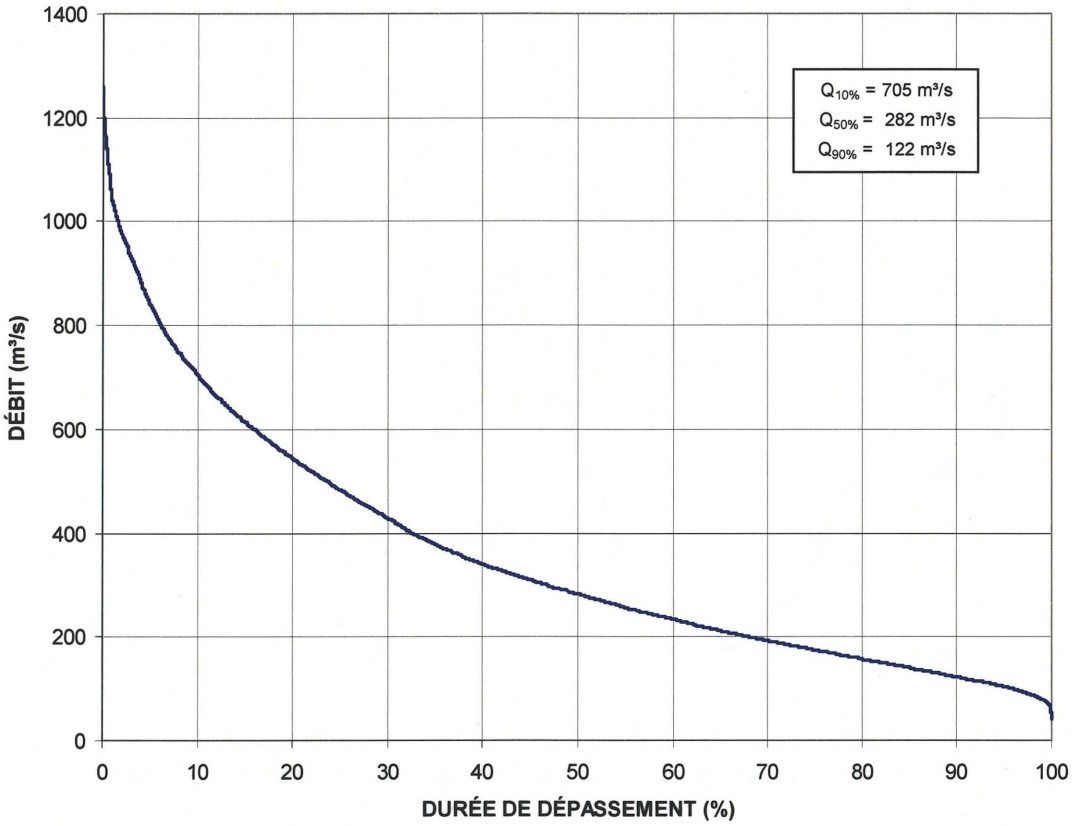


Figure 4-2 : Courbe annuelle des débits journaliers classés à la station n° 030401 du Richelieu aux rapides Fryers, pour la période allant du 7 juin 1937 au 31 décembre 2008

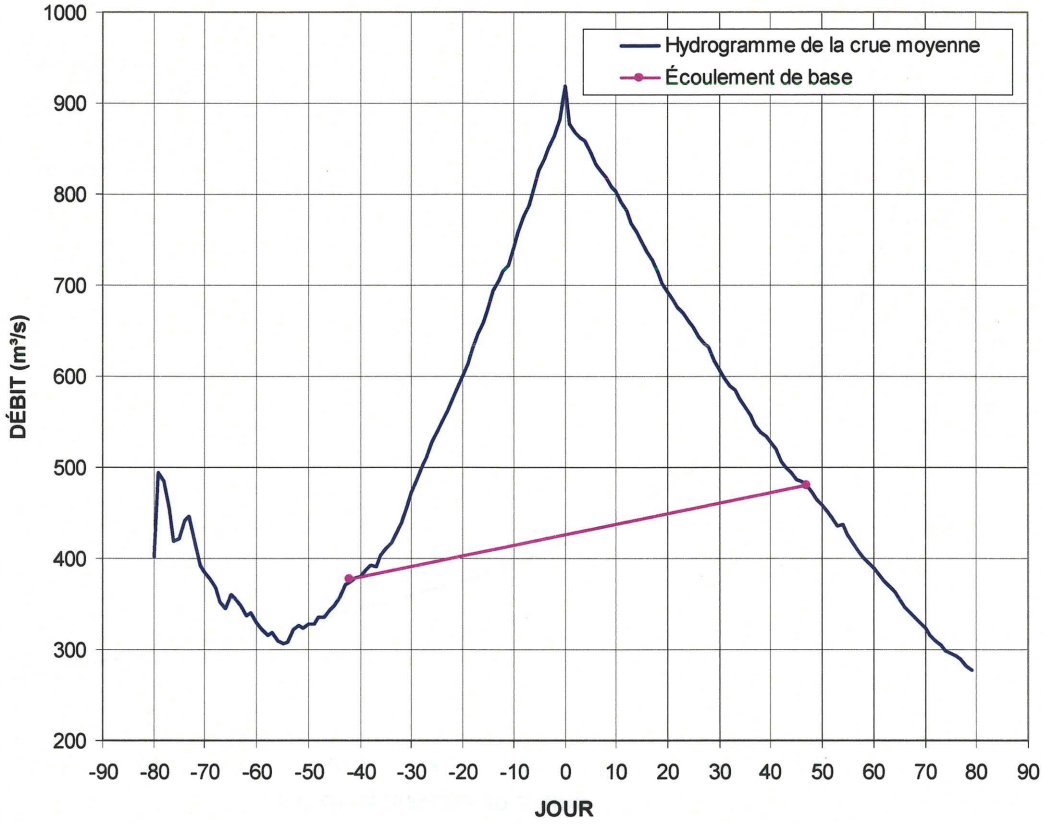


Figure 4-3 : Hydrogramme de la crue printanière moyenne sur la rivière Richelieu aux rapides Fryers

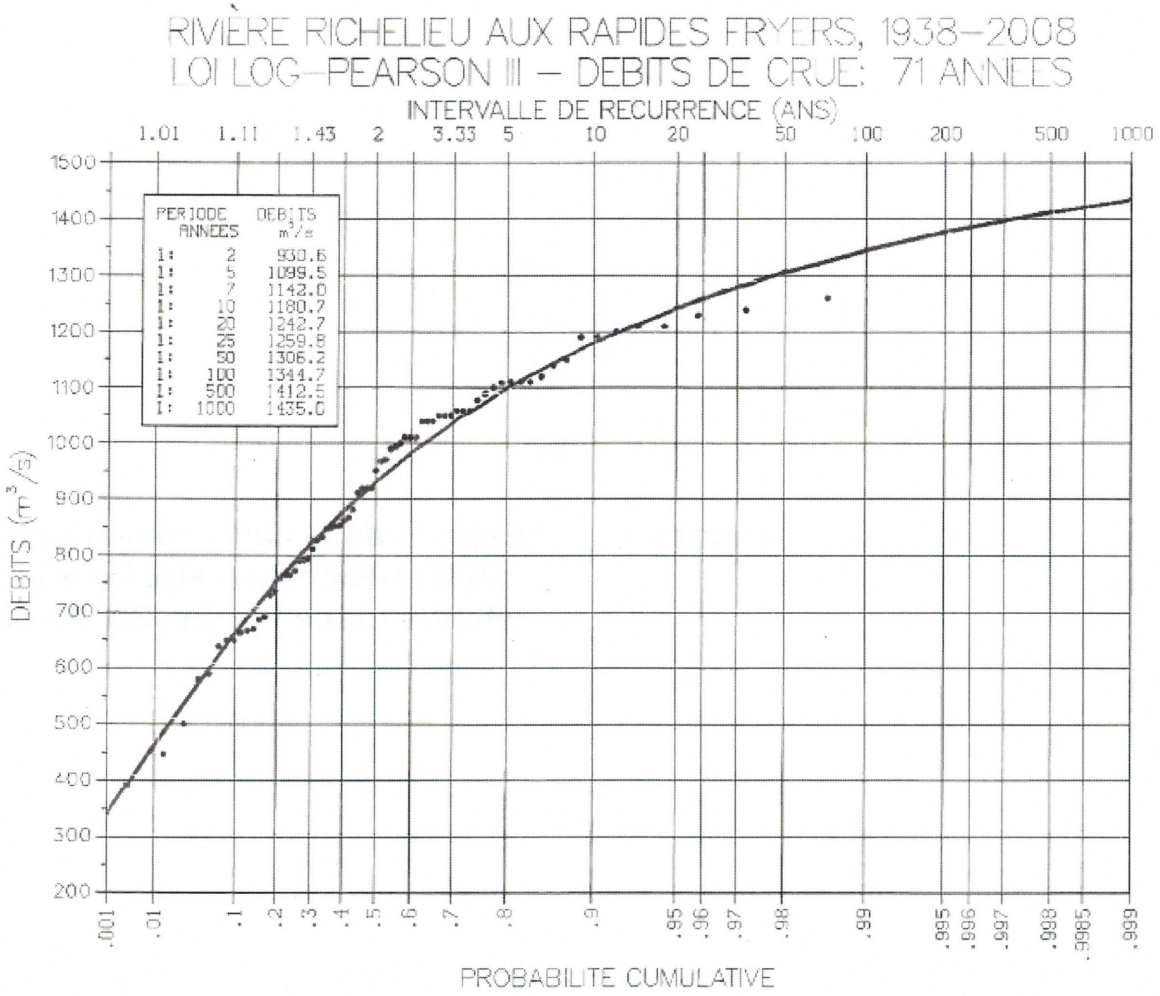


Figure 4-4 : Ajustement statistique des crues de la rivière Richelieu aux rapides Fryers

DESSAU

Annexe 5 Extraits de la carte de navigation du Bas-Richelieu aux trois sites retenus (dans l'ordre, 3b, 9 et 20)

DESSAU

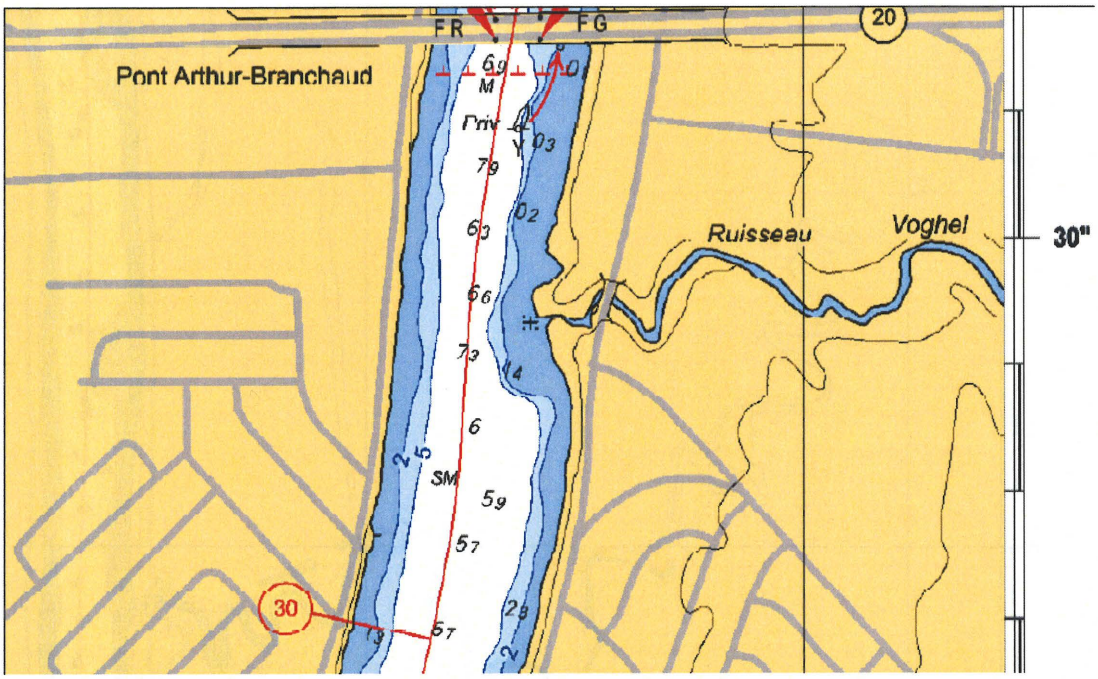


Figure 5-1 : Bathymétrie du site 3b

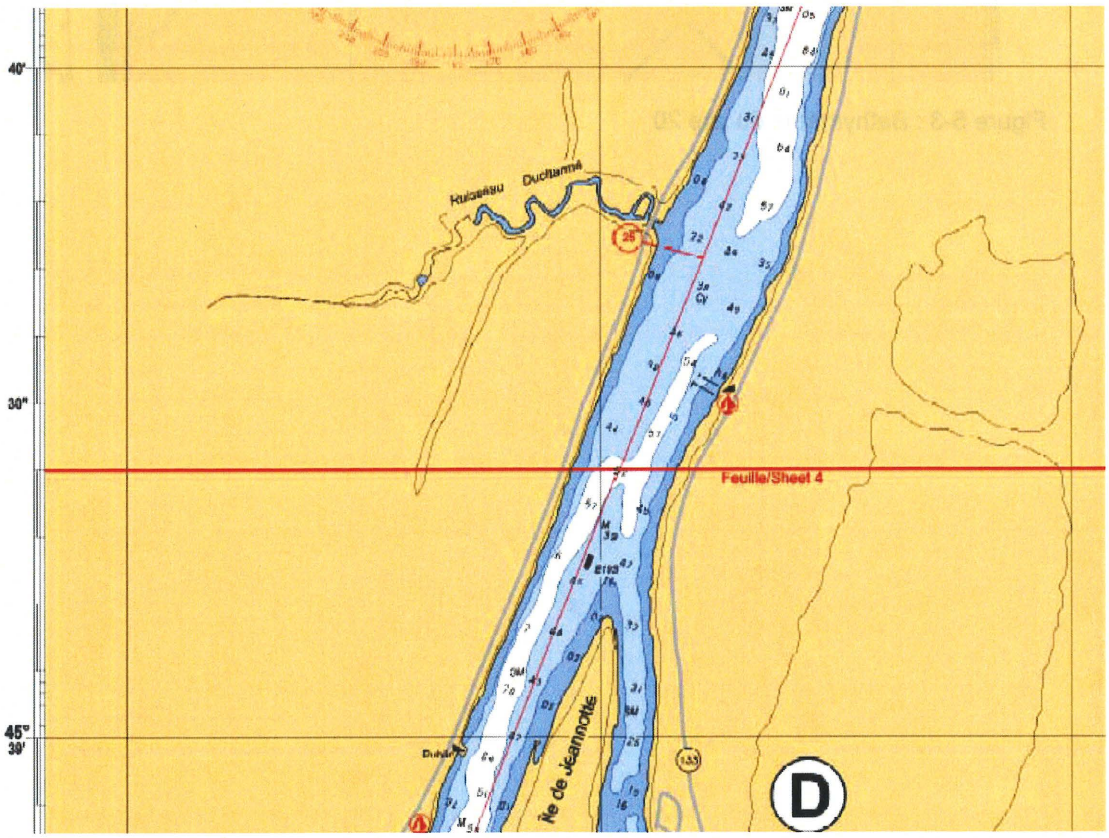


Figure 5-2 : Bathymétrie du site 9

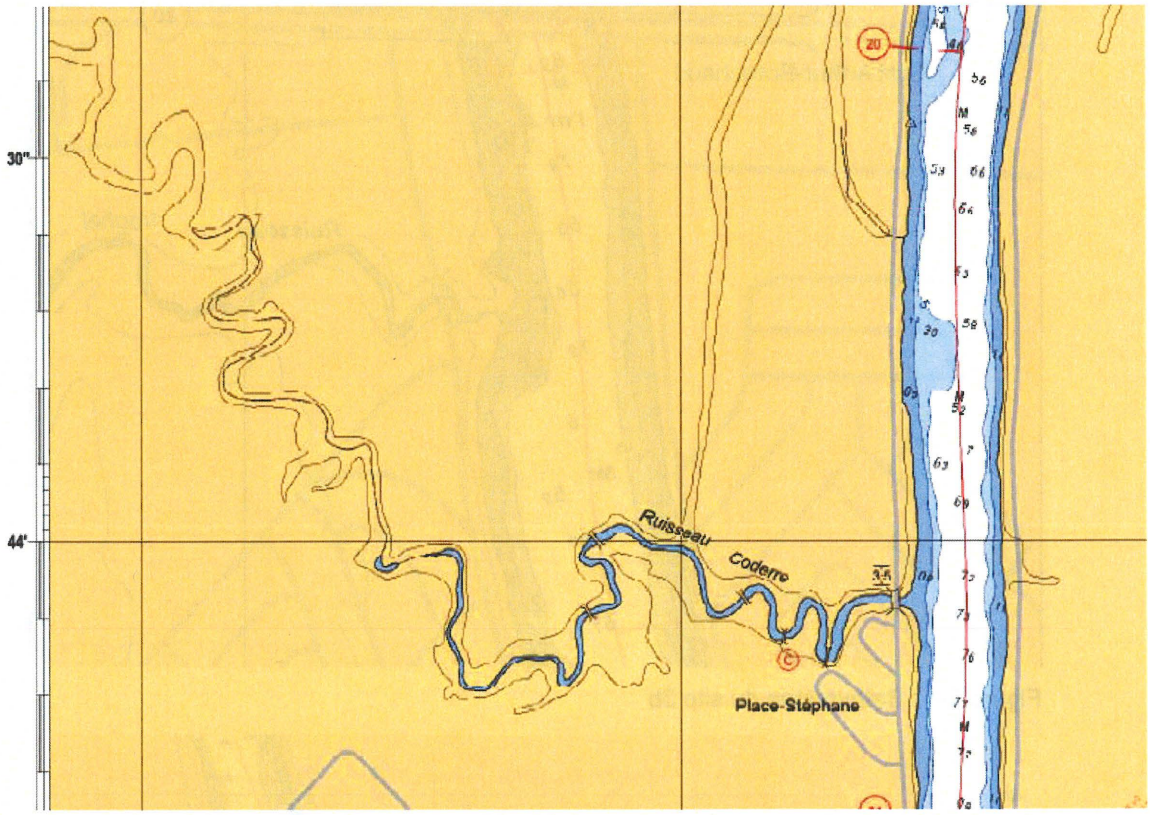


Figure 5-3 : Bathymétrie du site 20

Annexe C AVIS TECHNIQUE FINAL DU MTMDET

Ministère
des Transports,
de la Mobilité durable
et de l'Électrification
des transports
Québec

Direction de la géotechnique et de la géologie

Québec, le 10 avril 2017

Monsieur Claude Lebeux
Service des programmes
Direction du rétablissement
Ministère de la Sécurité publique
455, rue du Marais, bureau 100
Québec (Québec) G1M 3A2

OBJET : Avis technique final
Événement : Déformations et fissures sur la chaussée
Localisation : Face au n^{os} 470 à 486, rue Richelieu
Municipalité : Beloeil
N/Dossier : MT.04.57040.16.01

Cet avis technique final répond à une demande d'expertise, envoyée par le Centre des opérations gouvernementales (COG) le 15 avril 2016, concernant des fissures et des déformations observées sur la chaussée de la rue Richelieu, dans la municipalité de Beloeil, dans le talus situé en face des numéros 470 à 486 (figure 1).

Les lieux ont été inspectés par ma collègue Karine Bélanger et moi-même, le 31 mai 2016. Nous étions accompagnées de votre conseiller en sécurité civile, monsieur Hughes Daveluy ainsi que par madame Amélie Roy, coordinatrice en environnement pour la municipalité. Votre conseiller nous a également signalé l'existence de deux autres sites problématiques, soit près de l'intersection entre les rues Richelieu et Orsali (n^{os} 320 et 324) et près du pont du Canadien National (CN) (figure 1). Ces sites sont aussi traités dans ce rapport.

Le mandat consistait à évaluer si la route est touchée par une amorce de glissement de terrain, à donner un avis technique sur la situation et à recommander, le cas échéant, les mesures à prendre afin d'assurer la sécurité des lieux à court terme. Cet avis est essentiellement basé sur des observations de terrain et aucune étude géotechnique ni aucun calcul de stabilité n'a été réalisé dans le cadre de cette intervention.

Cet avis technique final complète l'avis technique qui vous a été transmis le 1er juin 2016. Il comprend une description des lieux et des déformations, une évaluation de la situation avec recommandations.

Le tableau et les figures mentionnés dans le texte sont présentés à la fin de cet avis. Veuillez noter que toutes les distances mentionnées dans cet avis ont été relevées à l'aide d'un ruban à mesurer ou d'un télémètre, et que les hauteurs et les inclinaisons ont été obtenues à l'aide d'un clinomètre de poche. De plus, plusieurs dimensions ont

été validées à l'aide d'un modèle numérique de terrain (MNT) réalisé à partir d'un relevé lidar qui a été effectué dans la région en novembre 2008.

DESCRIPTION DES LIEUX ET DES DÉFORMATIONS

Dans les secteurs visités, la rue Richelieu passe directement au sommet d'un talus bordant la rive gauche de la rivière Richelieu, à Beloeil. Les berges sont constituées principalement d'argile ferme à raide bien qu'on retrouve généralement du remblai en pied de talus (dans le tiers inférieur) qui se compose d'enrochement hétérogène (figure 2). L'élévation du cours d'eau est environ à 7,0 mètres selon le MNT, tandis que la rue Richelieu se situe à l'élévation moyenne de 13,3 à 13,5 mètres bien qu'elle se trouve plutôt à l'élévation 11,3 mètres dans le secteur de la rue Orsali. Par endroits, où l'enrochement en pied est moins présent, une marque d'érosion d'environ 1 à 1,5 mètre de hauteur a été observée en pied de talus.

Dans le cadre de l'analyse du dossier, les orthophotographies numériques de 2007, 2009, 2011 et 2013 ainsi que quelques couvertures de photographies aériennes datant de 1964 à 2004 ont été consultées (tableau 1). Sur les photographies aériennes de 1964, la rue Richelieu est à la même position qu'aujourd'hui et les berges sont généralement boisées, bien que dans le secteur du pont du CN, un quai en béton se trouvait à l'endroit de l'enrochement actuel, situé juste en aval du pont. Selon les photographies de 1979, un décrochement affecte une partie du talus dans le secteur fissuré de la rue Verchères et on remarque sur l'ensemble des secteurs de la rue Richelieu des marques d'érosion ponctuelles. Sur les couvertures de photographies consultées de 1983, 1992 et 2004, il ne semble pas y avoir de signe d'instabilité à l'endroit des trois sites analysés et plusieurs interventions d'enrochement du pied de talus ont été réalisées de façon ponctuelle sur des tronçons de la rue Richelieu.

470 à 486, rue Richelieu (près de l'intersection avec la rue Verchères)

Le talus dans ce secteur a une hauteur d'en moyenne 6,5 mètres avec une inclinaison moyenne de 35 à 40° et un enrochement hétérogène protège en partie la base du talus contre l'érosion de la rivière Richelieu (figure 2). Une fissure linéaire est présente entre la ligne de rive et la bordure de pavage de la voie en direction nord. Elle mesure environ 80 mètres de longueur et se situe entre la rue Verchères et le 486 de la rue Richelieu (figure 3). À l'intérieur de cette zone de déformation se situe une fissure de 14,1 mètres de longueur, dont 7,7 mètres montrent un léger décalage vertical, à une distance de 0,8 mètre de la bordure en béton, soit à environ 2 mètres du sommet de talus. Un petit décrochement de quelques mètres de largeur se situe dans le talus vis-à-vis cette fissure. Selon l'information à notre disposition, les fissures sont présentes sur la chaussée depuis quelques années et elles ont été colmatées depuis au moins 2009. Une sortie de drain a été observée au sommet du talus situé en face du numéro 486.

320 et 324, rue Richelieu (près de l'intersection avec la rue Orsali)

Le talus situé entre la rue Orsali et le 324 de la rue Richelieu subit de l'érosion à sa base, ce qui a entraîné une zone de décrochement d'environ 60 mètres de longueur (figure 4). La zone de décrochement qui atteint le sommet de talus, dont la hauteur est d'environ 4 mètres, se trouve à une distance minimale d'environ 3 mètres de la bordure de béton de la rue Richelieu (figure 5).

Rue Richelieu (en aval de l'intersection avec le pont du CN)

Il y a un décrochement d'environ 10 mètres de largeur en aval de la culée du pont du CN (figure 6). À cet endroit, un espace de stationnement et un chemin en enrochement pour accéder à la rivière se situent dans le talus entre la rivière et la rue Richelieu (figure 6). Le décrochement affecte le talus sur une hauteur de 4,5 mètres et se trouve en contrebas de la zone de stationnement. À cet endroit, la pente est inclinée à environ 45 degrés sur les 3 mètres inférieurs du talus, alors que la partie supérieure est subverticale sur 1,2 mètre de hauteur. Lors de notre visite, un bloc de béton qui délimite la zone de stationnement se trouvait à 2 mètres de l'escarpement arrière du décrochement. De plus, en aval du chemin d'accès en enrochement, il y a une courte section de berge qui n'est pas enrochée et qui subit de l'érosion (figure 6). À cet endroit, une sortie de drain se trouve au pied du talus, mais il n'y avait pas d'eau qui s'écoulait lors de notre visite de terrain.

ÉVALUATION DE LA SITUATION ET RECOMMANDATIONS

Des glissements de terrain peuvent survenir dans les secteurs visités étant donné la forte inclinaison des pentes, la présence de décrochements, l'érosion des berges par la rivière et la composition des sols. Néanmoins, à partir des données recueillies, il n'y a aucun signe laissant présager l'agrandissement imminent des décrochements ou des zones de déformations qui pourraient affecter la rue Richelieu. Ainsi, la fissure qui se trouve dans le pavage de la rue Richelieu, dans le secteur de la rue Verchères, ne semble pas avoir évolué depuis les huit dernières années. Les décrochements observés dans les secteurs de la rue Orsali et du pont du CN se trouvent suffisamment loin de la rue pour qu'elle ne soit pas affectée lors d'un prochain agrandissement de ces derniers. Toutefois, nous recommandons à la municipalité de continuer le suivi des sites pour voir s'il y aura une dégradation importante de la situation avec le temps, auquel cas une nouvelle analyse pourra être effectuée.

Bien que la route ne semble pas menacée à très court terme dans les secteurs visités, la configuration des lieux et la nature des sols (argileux) constituent des éléments aggravants à la stabilité des pentes. Pour ces raisons, il est recommandé à la municipalité que des travaux soient entrepris pour contrôler l'érosion dans les secteurs instables de la rue Richelieu, tel que réalisé en amont et en aval sur plusieurs sections de berges de la rivière Richelieu. Il est recommandé également de ne pas remblayer et de ne pas entreposer de matériaux en sommet de talus et de ne pas concentrer d'eau vers le talus, afin de ne pas détériorer la stabilité actuelle des lieux.

En espérant le tout à votre entière satisfaction, nous demeurons à votre disposition pour toute information complémentaire.

Maryse Létourneau, ing. M.Sc.

N° membre OIQ : 143324

c.c. M^{me} Sophie Rainville, ing., directrice de la géotechnique et de la géologie

Tableau 1 : Liste des photos aériennes consultées

Ligne de vol	Numéros	Dates	Référence	Échelle
HMQ04-100	194-195	2004-05-07	Hauts-Monts Inc.	1:15000
HMQ92-115	104-105	1992-05-07	Hauts-Monts Inc.	1:15000
Q83316	28-29	1983-06-19	Ministère de l'Énergie et des Ressources	1 :15000
Q79811	164-165	1979-06-19	Ministère de l'Énergie et des Ressources	1 :20000
Q64508	157-158	1964-06-11	Ministère des Terres et Forêts	1:15840

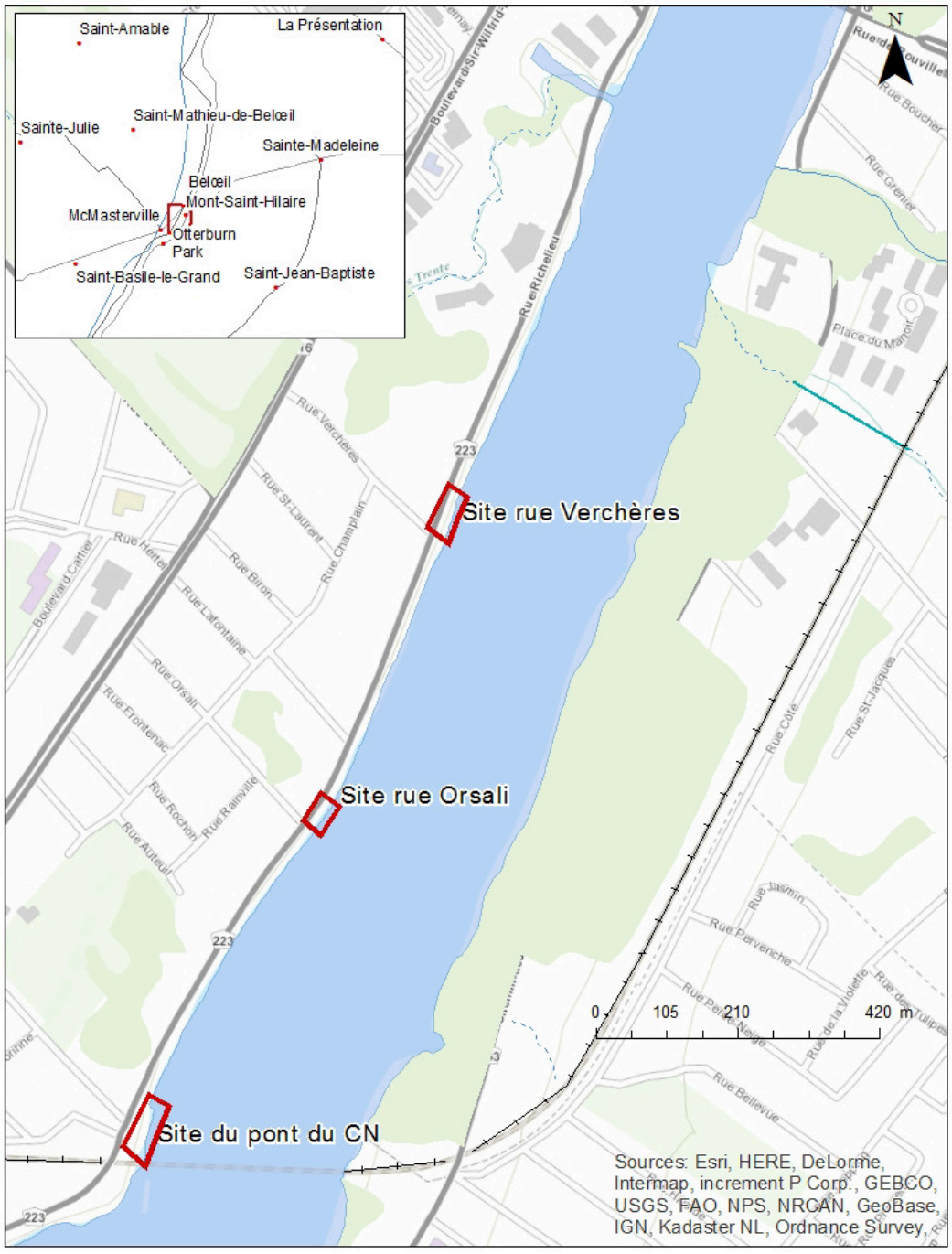


Figure 1 : Localisation générale des sites à l'étude.

Figure 2 : Vue de l'enrochement présent dans le tiers inférieur du talus de nature généralement hétérogène. Photo prise en amont du secteur de la rue Verchères, le 31 mai 2016.

Figure 3 : Fissure observée dans l'accotement de la voie en direction nord de la rue Richelieu, près de l'intersection avec la rue Verchères, le 31 mai 2016.

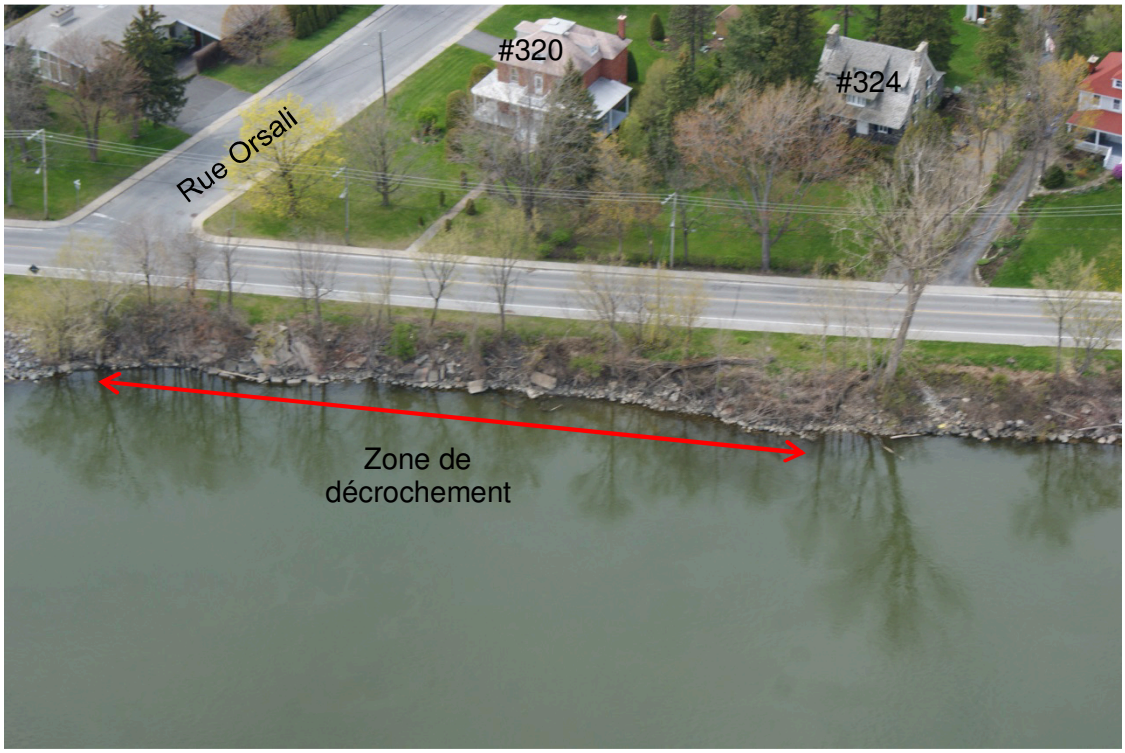


Figure 4: Vue héliportée du secteur instable près de la rue Orsali, en avril 2012.

Figure 5 : Vue du sommet de talus dans le secteur de la zone de décrochement (tirets rouges) de la rue Orsali, le 31 mai 2016.

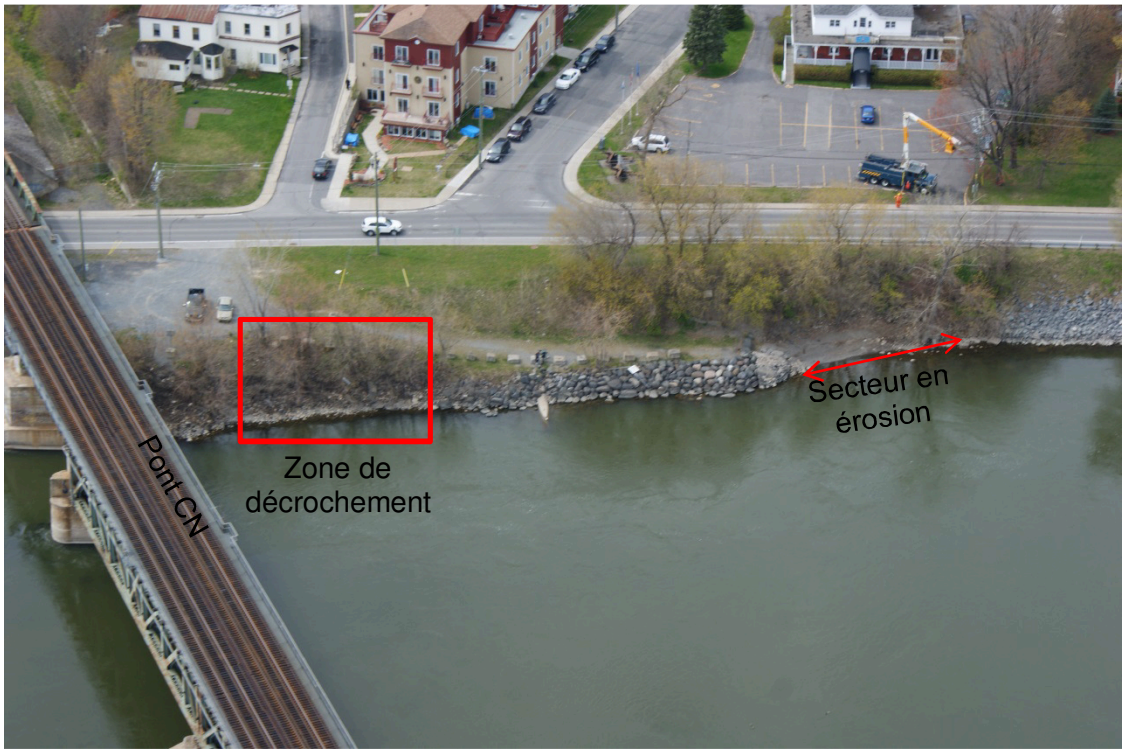


Figure 6 : Vue héliportée du secteur instable près du pont du CN, en avril 2012.

Stantec

Imaginer, réaliser… dans l'intérêt commun