

Rivière Lorette (secteur aval)

Villes de Québec et de l'Ancienne-Lorette



Révision des cotes de crues RAPPORT FINAL



CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC

DIRECTION DE L'EXPERTISE ET DE LA GESTION DES BARRAGES PUBLICS

RÉVISION DES COTES DE CRUES

**Rivière Lorette (secteur aval)
Villes de Québec et de
l'Ancienne-Lorette**

CEHQ 4132-0509-05-9384

Original signé par :

Préparé par :

Approuvé administrativement par :

Simon Dubé, ing., MBA

Katia Tremblay, ing.

Mars 2009

Équipe de réalisation

Chef de division :	Katia Tremblay, ingénieure
Rédaction du rapport :	Simon Dubé, ingénieur, MBA
Étude hydraulique :	Simon Dubé, ingénieur, MBA
Étude hydrologique :	BPR inc. pour la Ville de Québec.
Corrections et mise en page :	Caroline Houde, secrétaire
Figures et mise en plan :	Marie-Lise Paquin, technicienne
Relevés de terrain et hydrométriques :	
Geneviève Audet, technicienne	François Godin, ingénieur
Richard Boutet, ingénieur	Patrick Morin, technicien
Stéphane Comtois, analyste en géomatique	Marie-Lise Paquin, technicienne
Gilbert Côté, technicien	Alain Régimbal, technicien
Jean-François Cyr, ingénieur	Katia Tremblay, ingénieure
Simon Dubé, ingénieur	Bruno Verreault, technicien
Renée Lavergne, technicienne	

Avis aux utilisateurs du présent rapport

- Ce rapport a pour but de présenter et de vulgariser les résultats de nombreuses analyses techniques ayant mené à la détermination des cotes de crues. Des informations supplémentaires concernant les aspects et détails techniques peuvent être obtenues en contactant le Centre d'expertise hydrique du Québec.
- L'expression « niveau d'eau » employée dans ce rapport fait référence à une élévation géodésique.
- Une cote de crue indique le niveau d'eau atteint lors d'une crue donnée.
- Étant donné le caractère urbain du bassin versant de la rivière étudiée, plusieurs analyses ont permis d'identifier des pluies de projet critiques pour lesquelles des débits de pointes ont été calculés. Ces pluies de projets sont associées à des probabilités théoriques d'occurrence et ce sont les débits de pointe qui leurs sont associés qui ont servi à la détermination des cotes de crues présentées dans ce rapport. Par conséquent, le fait d'être situé à l'intérieur des limites de la zone inondable délimitée par une cote de crue associée aux pluies de projet sélectionnées ne constitue pas une certitude, mais plutôt une probabilité d'inondation. De la même façon, le fait d'être situé à l'extérieur des limites de la zone inondable ne constitue pas une certitude de ne jamais être inondé, mais plutôt une probabilité beaucoup plus faible de l'être.

Table des matières

LISTE DES FIGURES	V
LISTE DES TABLEAUX	V
1 INTRODUCTION.....	1
2 DESCRIPTION ET LOCALISATION DU SECTEUR À L'ÉTUDE.....	2
3 ÉTUDE HYDROLOGIQUE.....	7
3.1 Objectif.....	7
3.2 Description des méthodes utilisées pour la détermination des débits de crues	8
3.3 Cas de la rivière Lorette (secteur aval).....	9
4 ÉTUDE HYDRAULIQUE	10
4.1 Objectif.....	10
4.2 Description des méthodes utilisées pour la détermination des cotes de crues.....	10
4.3 Cas du secteur aval de la rivière Lorette.....	10
4.3.1 Données d'entrée du modèle hydrodynamique	11
4.3.1.1 Construction du modèle numérique de terrain.....	11
4.3.1.2 Distances entre les différents sites de calcul du niveau d'eau	11
4.3.1.3 Coefficients de rugosité	11
4.3.2 Relevés hydrométriques.....	17
4.3.3 Calage du modèle hydrodynamique	18
4.3.4 Conditions à la limite aval du modèle	19
4.4 Cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans	20
5 CONCLUSION	29
6 RÉFÉRENCES CITÉES.....	30
7 GLOSSAIRE	31

Liste des figures

Figure 1 : Bassin versant de la rivière Saint-Charles et de ses principaux tributaires	3
Figure 2 : Bassin versant de la rivière Lorette	5
Figure 3 : Vue en plan de la rivière Lorette et localisation des sites de calcul de niveaux d'eau et des sites d'observation de niveaux d'eau (secteur aval).....	25
Figure 4 : Profil des plans d'eau de la rivière Lorette (secteur aval)	25
Figure 5 : Vue en plan de la rivière Lorette et localisation des sites de calcul de niveaux d'eau et des sites d'observation de niveaux d'eau (secteur aval).....	27
Figure 6 : Profil des plans d'eau de la rivière Lorette (secteur aval)	27

Liste des tableaux

Tableau 1 : Caractéristiques des stations hydrométriques de la rivière Lorette	7
Tableau 2 : Ouvrages de retenue sur le bassin versant de la rivière Lorette	7
Tableau 3 : Débit de crues de récurrences de la rivière Lorette	9
Tableau 4 : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)	12
Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)	13
Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)	14
Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)	15
Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)	16
Tableau 5 : Résumé des relevés hydrométriques - Rivière Lorette (secteur aval)	17
Tableau 6 : Résultats du calage - Rivière Lorette (secteur aval) campagne du 15 octobre 2005	18
Tableau 7 : Résultats du calage - Rivière Lorette (secteur aval) campagne du 16 octobre 2005 ...	19

Tableau 8 :	Cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Lorette (secteur aval).....	20
Tableau 8 (suite) :	Cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Lorette (secteur aval).....	21
Tableau 8 (suite) :	Cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Lorette (secteur aval).....	22
Tableau 8 (suite) :	Cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Lorette (secteur aval).....	23
Tableau 8 (suite) :	Cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Lorette (secteur aval).....	24

1 Introduction

À la suite des inondations majeures qui sont survenues en 1974 et en 1976, les différents paliers de gouvernement ont signé une entente sur les politiques que Québec et Ottawa devraient adopter pour réduire les dommages causés par les inondations. Cette entente, en vigueur de 1976 à 2001, a mené à la mise en œuvre du Programme de cartographie, issu de la Convention entre le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec relativement à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation et au développement durable des ressources en eau. Elle a permis de faire la cartographie officielle des zones inondables sur le territoire d'environ 245 municipalités et de proposer aux municipalités concernées certaines mesures au regard de l'aménagement du territoire en fonction des zones inondables afin d'assurer la sécurité de la population et de minimiser la construction de bâtiments et de structures susceptibles d'être touchés par les crues.

En 1990, la Direction du domaine hydrique du ministère de l'Environnement du Québec a mené une étude sur la cartographie des zones inondables de la rivière Saint-Charles et de ses quatre principaux tributaires (Boucher et Hébert, 1990) excluant le lac Saint-Charles qui est à sa tête. Cette étude visait à déterminer les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans aux abords des rivières Saint-Charles, du Berger, Lorette, Nelson et Jaune ainsi qu'à faire la cartographie de ces zones. Les cotes de crues des différentes récurrences ont été déterminées à l'aide d'un modèle unidimensionnel de calcul de courbes de remous, soit le logiciel HEC-2.

C'est donc dans le cadre du Programme de cartographie qu'en 1991 différentes cartes du risque d'inondation de la rivière Saint-Charles et de ses tributaires ont été tracées. Les zones inondables délimitées sur ces cartes ont d'ailleurs été désignées conjointement par le ministre de l'Environnement du Québec et par le ministre d'Environnement Canada le 15 octobre 1991.

En avril 2001, le Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), une agence rattachée au ministère de l'Environnement, a été créée. L'un des mandats du CEHQ est de fournir du soutien aux municipalités dans la détermination des zones inondables et des moyens de lutte contre les inondations. Le CEHQ a donc la possibilité de réaliser pour le compte des municipalités différentes études menant à la détermination et à la cartographie des plaines inondables de leurs territoires.

Les 25 et 26 septembre 2005, d'importantes précipitations sont survenues sur le sud-ouest et le centre du Québec. La région immédiate de Québec a reçu quant à elle plus de 100 mm de pluie sur une période de 24 heures ce qui a provoqué d'importantes inondations dans plusieurs secteurs des villes de Québec et de L'Ancienne-Lorette. Suite à ces inondations, la Ville de Québec a mandaté le CEHQ pour réaliser une étude visant à mettre à jour les cotes de crues déterminées en 1990 par le gouvernement du Québec pour la portion en aval de la rivière Lorette. C'est donc dans le cadre de ce mandat que le CEHQ a procédé à de nouveaux relevés terrain et à de nouvelles études hydrauliques afin de procéder à la révision des cotes de crues déterminées en 1990. Par ailleurs, la Ville de Québec a également mandaté une firme privée de consultants en ingénierie afin de déterminer les nouveaux débits qui seront utilisés par le CEHQ pour la détermination des nouvelles cotes de crues.

La présente étude a donc pour objectif la révision des cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans relatives à la portion aval de la rivière Lorette. Cette mise à jour couvre le même secteur de la rivière étudié dans le cadre de l'ancien Programme de cartographie, c'est-à-dire, de son

embouchure jusqu'à la rue Saint-Paul située à environ 3,9 km en amont. Les cotes de crues de récurrence de 2 ans seront aussi évaluées en guise de complément d'information.

En premier lieu, ce rapport présente la localisation ainsi qu'une brève description du secteur visé. Par la suite, il résume les conclusions de l'étude hydrologique réalisée par une firme de consultants en ingénierie en vue d'évaluer les débits de pointe de la rivière. Enfin, une étude hydraulique menant à la détermination des cotes de crues nécessaires à la cartographie des zones inondables est effectuée.

2 Description et localisation du secteur à l'étude

La rivière Lorette est l'un des principaux tributaires alimentant la rivière Saint-Charles (figure 1). Son parcours d'une longueur d'environ 15,5 km est qualifié de sinueux. Elle prend sa source dans la portion ouest de la Ville de Québec (arrondissement Laurentien) et se jette dans la rivière Saint-Charles à la hauteur de l'ancien quartier Les Saules dans l'arrondissement Les Rivières de la Ville de Québec. Son parcours traverse également la Ville de L'Ancienne-Lorette.

Le bassin versant de la rivière Lorette, d'une superficie de 67,8 km² (figure 2) est limité au sud par le bassin de la rivière du Cap Rouge, au nord par celui de la rivière Nelson, à l'ouest par celui de la rivière Jacques-Cartier et à l'est par celui de la rivière Saint-Charles. Il est caractérisé par une forme allongée orientée NO-SE dont la plus grande dimension est de l'ordre de 16,5 km. Le point le plus élevé du bassin versant de la rivière Lorette, à proximité du mont Bélair, a une élévation de près de 420 m tandis que l'élévation de son exutoire, à la jonction avec la rivière Saint-Charles est de 8,7 m.

Le bassin de la rivière Lorette peut être divisé en quatre parties distinctes. La partie amont du bassin versant de la rivière est faiblement urbanisée. La majeure partie de ce secteur est boisée ou constituée de champs agricoles. Seul une portion du sous-bassin du ruisseau du Mont Châtel est urbanisée, il s'agit en fait du secteur Val-Bélair de la Ville de Québec. Les secteurs centres (Ville de L'Ancienne-Lorette) et aval (Ville de Québec) de la rivière sont quant à eux très fortement urbanisés. Pour ces secteurs, la rivière traverse différents quartiers résidentiels, industriels et commerciaux. La quatrième partie du bassin de la rivière Lorette provient de l'arrondissement Sainte-Foy—Sillery. Cette partie du bassin provient du réseau de drainage de cet arrondissement tel qu'aménagé par la Ville de Québec. Finalement, la rivière Lorette compte plusieurs tributaires, dont les ruisseaux Notre-Dame, du Mont Châtel et des friches.

Le secteur à l'étude se situe dans les villes de Québec et de L'Ancienne-Lorette, lesquelles comptent un total d'environ 514 700 habitants. D'une longueur d'environ 3,9 km, le secteur à l'étude débute à l'embouchure de la rivière et se termine en aval du pont de la rue Saint-Paul à L'Ancienne-Lorette. De plus dans le cadre des travaux réalisés pour la présente étude, des parties des rivières Saint-Charles et du Berger ont été analysées. Par contre, les résultats de ces travaux seront présentés dans deux autres rapports distincts pour chacune de ces rivières.

Un total de trois stations hydrométriques ont été opérationnelles sur la rivière Lorette, soit les stations 050905, 050910 et 050914. Le tableau 1 résume les principales caractéristiques de ces stations en date de mars 2009. De plus, selon le répertoire des barrages disponibles sur le site Internet du CEHQ (www.cehq.gouv.qc.ca) toujours en date de mars 2009, on dénombre sept barrages sur le bassin versant de la rivière Lorette. Le tableau 2 résume les principales caractéristiques de ces barrages.

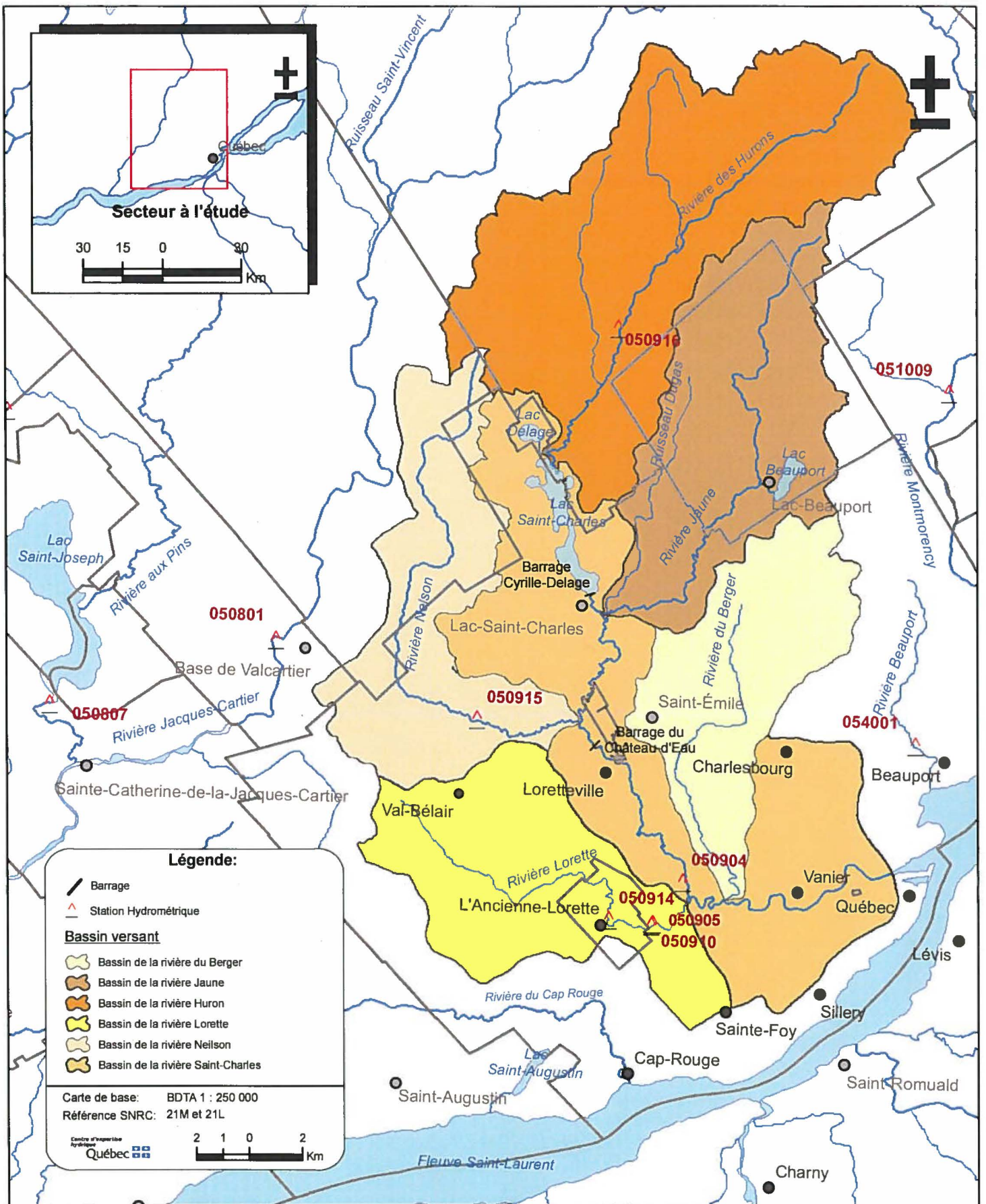


Figure 1
Bassin versant de la rivière Saint-Charles
et de ses principaux tributaires.

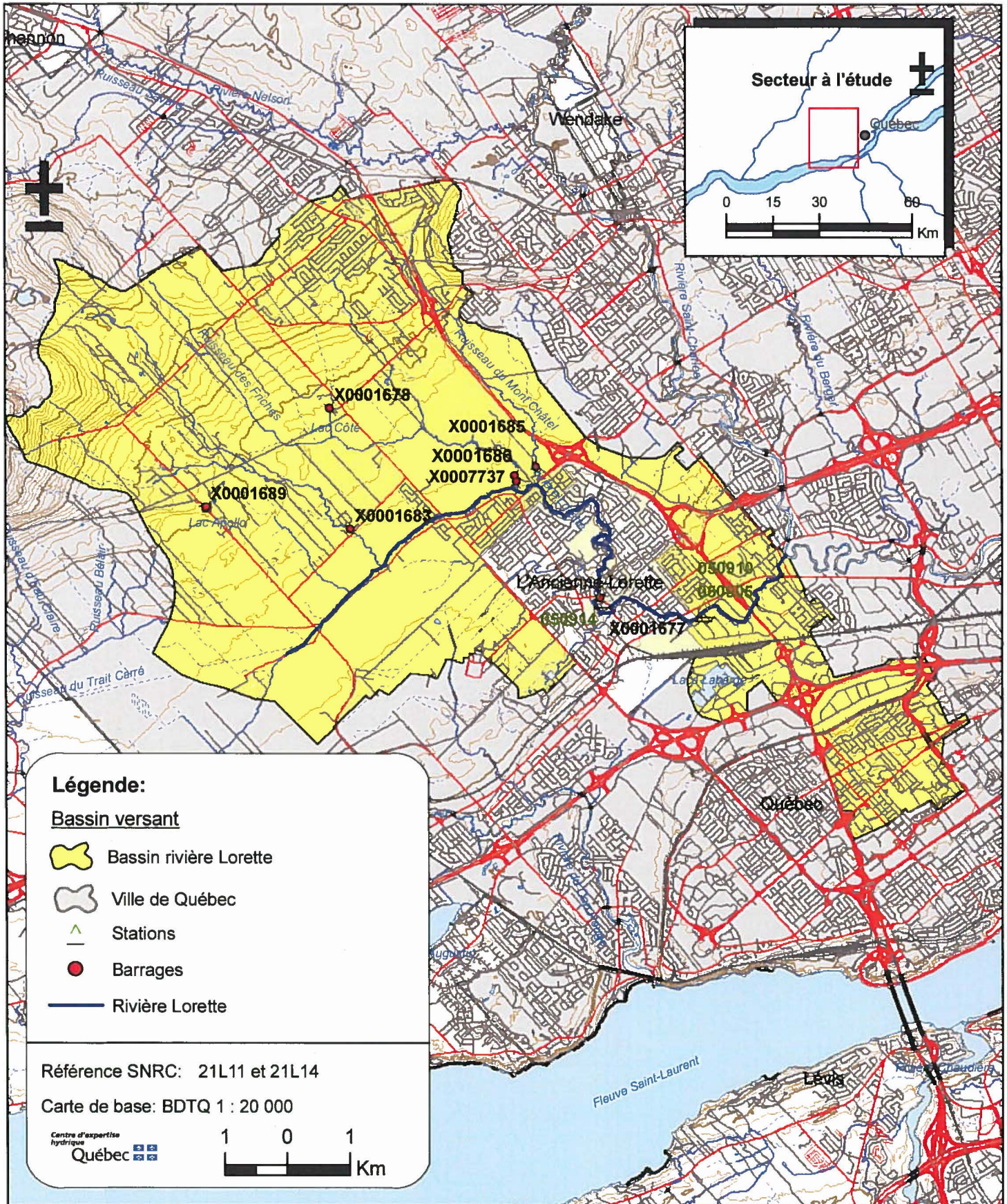


Figure 2
Bassin versant de la rivière Lorette

Tableau 1 : Caractéristiques des stations hydrométriques de la rivière Lorette

Station	Localisation	Type de station	Superficie du bassin versant à la station (km ²)	Période d'observation	État de la station
050905	Au pont de la rue Saint-Gérard à Québec	Débit	64,0	1973 - 1976 1982 - 1986	Fermé
050910	Au pont de la rue Michel-Fragasso à Québec	Débit	61,5	1986 -1989 1994 - 1995	Fermé
050914	Au pont de la rue Saint-Jean-Baptiste à l'Ancienne-Lorette	Débit	58,5	2006 -	Hors fonction *

* Cette station ne diffuse plus de données depuis avril 2008.

Tableau 2 : Ouvrages de retenue sur le bassin versant de la rivière Lorette

N° MENV	Localisation	Propriétaire	Type d'utilisation	Capacité de retenue (m ³)
X0007737	Ville de Québec Ruisseau des Friches	Les Gazons Mainguy inc.	Autre ou inconnu	7 Faible contenance
X0001689	Ville de Québec Chemin Jean-Gauvin	Personne physique	Récréatif et villégiature	4 620 Faible contenance
X0001683	Ville de Québec Rang Sainte-Anne	Gestion La Souvenance inc.	Récréatif et villégiature	8 800 Faible contenance
X0001677	Ville de l'Ancienne-Lorette Rue du Moulin	Personne physique	Récréatif et villégiature	330 Faible contenance
X0001686	Ville de Québec Ruisseau des Friches	Personne physique	Récréatif et villégiature	700 Petit Barrage
X0001685	Ville de Québec Ruisseau du Mont Châtel	Les Gazons Mainguy inc.	Régularisation	50 Petit Barrage
X0001678	Ville de l'Ancienne-Lorette Route de l'Aéroport	Personne physique	Récréatif et villégiature	5 056 Petit Barrage

3 Étude hydrologique

3.1 Objectif

Le but de l'étude hydrologique est d'établir les débits de crues de la rivière Lorette pour le secteur à l'étude. Ces données sont nécessaires à la détermination des cotes de crues du secteur concerné.

La section 3.2 décrit les principales méthodes utilisées pour évaluer les débits de crues de la rivière. Les sections subséquentes présentent la méthode retenue et les résultats obtenus.

3.2 Description des méthodes utilisées pour la détermination des débits de crues

Les débits de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans sont généralement évalués à partir d'une étude hydrologique dite classique. Celle-ci consiste à effectuer une analyse statistique des débits maximums annuels enregistrés à une station située sur la rivière à l'étude. Pour ce faire, un nombre suffisant de données doit être disponible. Au CEHQ, les analyses statistiques sont réalisées à l'aide du logiciel d'ajustement de lois statistiques Hyfran (Chaire en hydrologie statistique, 2002). Ce dernier a été mis au point au Centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE), par l'équipe du Dr Bernard Bobée, dans un contexte de recherche pour le compte de la Chaire en hydrologie statistique Hydro-Québec/CRSNG.

Il arrive fréquemment que la station hydrométrique retenue soit éloignée du secteur à l'étude. On transpose alors au secteur visé les débits de crues estimés à la station en fonction de la superficie des bassins versants. Cette technique est communément appelée « transfert de bassin versant ». Elle peut également servir pour les données provenant d'une station hydrométrique située sur un autre cours d'eau. Les bassins versants des deux rivières doivent toutefois posséder des caractéristiques physiographiques similaires, la plus importante étant la superficie.

Habituellement, les débits maximums annuels considérés pour les analyses statistiques sont évalués à partir de moyennes journalières. Ces débits peuvent ensuite être majorés par un facteur de pointe, puisque les dommages causés lors d'une crue sont directement liés au niveau d'eau maximum atteint, même s'il est de courte durée. On doit donc tenir compte de la valeur du débit maximum instantané pour déterminer les zones inondables. Cette valeur n'existe cependant pas pour l'ensemble des années documentées. La méthode pour l'obtenir consiste à prendre, pour une station donnée, toutes les crues printanières annuelles dont le débit maximum instantané est disponible afin d'évaluer un facteur de pointe moyen à la station.

De plus, dans le cas des sites non jaugés, d'autres techniques de régionalisation peuvent être utilisées pour estimer des débits de crues. Ces techniques consistent à regrouper des stations hydrométriques ayant un comportement hydrologique similaire. Une fois les régions homogènes définies, le transfert des informations provenant des sites jaugés vers les sites non jaugés est effectué. L'analyse régionale élaborée par Anctil et autres (1998) compte parmi les plus connues. Elle est basée sur l'ensemble des rivières naturelles ou quasi naturelles du Québec.

Enfin dans le cas de sites non jaugés situés en milieu urbain ou semi-urbain, il est possible de procéder par modélisation hydrologique en se basant sur les précipitations reçues ou estimées pour évaluer l'apport en eau vers le cours d'eau étudié. Cette méthode consiste à modéliser les différents bassins de drainage du cours d'eau à l'aide de logiciels conçus à cette fin. Ces logiciels prennent en compte le ruissellement de surface ainsi que la présence du réseau de drainage urbain afin de transformer les précipitations en débits. Pour ce faire, le modèle hydrologique est sollicité par des pluies de projet de différentes périodes de retour, construites à partir des données de courbes intensité-durée-fréquence (IDF) applicable au secteur étudié. Ces sollicitations permettent au modèle de générer, pour l'ensemble des bassins de drainage modélisés, des hydrogrammes de ruissellement. La modélisation du bassin versant et du système de drainage permet ainsi d'évaluer la sollicitation du réseau pluvial et d'évaluer des débits de pointe correspondant aux pluies de projet pour différente période de retour donnée qui sont véhiculés dans le réseau et vers le cours d'eau étudié afin de pouvoir ensuite en tracer les profils hydrauliques correspondants.

3.3 Cas de la rivière Lorette (secteur aval)

En ce qui concerne le secteur aval de la rivière Lorette, c'est la méthode faisant appel aux pluies de projets qui a été retenue pour déterminer les débits nécessaires à l'établissement des cotes de crues. Une modélisation hydrologique du bassin versant de la rivière a donc été réalisée. Cette modélisation s'appuie sur des données de précipitation déterminées pour la Ville de Québec en fonction des prévisions futures dues aux changements climatiques (Villeneuve et autres 2007).

Étant donné la complexité du système hydraulique et hydrologique ainsi que l'urbanisation actuelle et future du secteur à l'étude, le CEHQ a demandé à la Ville de Québec de lui fournir les différents débits de pointe nécessaires à l'étude hydraulique pour la détermination des cotes de crues de la rivière Lorette. La Ville de Québec a alors réalisé un appel d'offres de services professionnels pour l'établissement d'un plan de gestion hydrologique et hydraulique du bassin versant de la rivière Lorette. La firme de consultants en ingénierie, BPR inc., de Québec, a été retenue par la Ville de Québec pour exécuter ce mandat. Au terme de son mandat, cette firme d'ingénierie a présenté trois rapports à la Ville de Québec (Fortier et Gauthier 2006, 2008) incluant les différents débits de pointe sur la rivière.

Les données utilisées pour la détermination des cotes de crues du secteur couvert par la présente étude sont tirées du troisième rapport de BPR, c'est-à-dire celui qui présente le comportement de la rivière à l'état ultime de développement. Ainsi, les modèles ont été transformés pour tenir compte des développements résidentiels et/ou zones d'affaires futures. Actuellement, 25 % du bassin versant de la rivière Lorette est urbanisé. Ultiment, la Ville de Québec prévoit que l'urbanisation de ce bassin sera de près de 40 %. Il s'agit d'une augmentation de l'urbanisation de plus de 14 %, ce qui aura comme conséquence directe l'augmentation des apports de ruissellement de surface et du réseau de drainage.

Le tableau 3 présente les différents débits de pointe associés aux pluies de projet de récurrence retenu provenant des données de BPR.

Tableau 3 : Débits de pointe associés aux récurrences des pluies de projet retenu pour la détermination des cotes de crue de la rivière Lorette

Localisation	2 ans (6 heures)		20 ans (12 heures)		100 ans (12 heures)	
	Débit entrant (m ³ /s)	Débit total (m ³ /s)	Débit entrant (m ³ /s)	Débit total (m ³ /s)	Débit entrant (m ³ /s)	Débit total (m ³ /s)
Pont de la rue Saint-Paul (Amont du secteur à l'étude)	31,5	31,5	67,0	67,0	84,4	84,4
Collecteur pluvial de la rue Drolet	0,5	32,0	0,1	67,1	---	84,4
Collecteur pluvial à la hauteur de la rue des Ronces	0,8	32,8	0,3	67,4	---	84,4
Collecteur pluvial de la rue Flaubert	0,7	33,5	0,2	67,6	---	84,4
Collecteur pluvial Henry IV (provenant de Sainte-Foy)	6,7	40,2	7,1	74,7	4,1	88,5

Sources : BPR - CD joint au rapport d'étape 3 (Modèle HEC-RAS de l'état ultime)

4 Étude hydraulique

4.1 Objectif

Afin d'établir les cotes de crues associées aux différentes pluies de projet retenues (récurrence de 20 ans 12 heures et de 100 ans 12 heures) une étude hydraulique du secteur aval de la rivière Lorette à Québec est réalisée. Cette étude est nécessaire à la détermination des zones inondables associée aux pluies de projet retenues. De plus, elle permet d'estimer les cotes de crues pour une pluie de projet de récurrence de 2 ans 6 heures, et ce, à titre de complément d'information. La section 4.2 résume les méthodes utilisées dans le cadre des travaux menés par le CEHQ, tandis que les sections subséquentes présentent la méthodologie retenue et les résultats obtenus.

4.2 Description des méthodes utilisées pour la détermination des cotes de crues

Dans le cadre des études menées par le CEHQ, plusieurs méthodes sont utilisées pour déterminer les cotes de crues relatives à une rivière.

Une première méthode consiste à établir des relations entre les niveaux d'eau mesurés à différents sites et le niveau d'eau relevé à un site de référence (relations niveau-niveau), et ce, pour un même débit. Une relation niveau-débit établie pour le site de référence permet de déterminer les cotes correspondantes aux débits de crues souhaités. Les cotes sont ensuite estimées pour les autres sites à l'aide des différentes relations niveau-niveau.

Une seconde méthode consiste en la modélisation du secteur concerné à l'aide du logiciel HEC-RAS, un logiciel de courbes de remous à une dimension. Il permet notamment de simuler les niveaux d'eau en tenant compte de l'effet des ponts, des ponceaux, des déversoirs et des autres structures hydrauliques. Ce logiciel a été conçu par le US Army Corps of Engineers (2008, 2008).

Une troisième méthode consiste à recourir à la modélisation hydrodynamique du secteur concerné à l'aide de modèles à deux dimensions. Les logiciels utilisés au CEHQ, soit les logiciels Modeleur (Secretan, 2000) et Hydrosim (Heniche, 1999), ont été mis au point par le Centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique, par l'équipe de Michel Leclerc et d'Yves Secretan. Ces logiciels combinent les caractéristiques d'un système d'information géographique (SIG) appliquées à l'hydraulique fluviale aux caractéristiques d'un calculateur d'éléments finis (EF), qui permet la résolution d'équations hydrodynamiques en deux dimensions (équations de Saint-Venant).

Dans la majorité des cas, on choisit une des trois méthodes pour l'étude d'une rivière; à l'occasion, il est possible de combiner plus d'une méthode.

4.3 Cas du secteur aval de la rivière Lorette

La simulation des niveaux d'eau à l'aide des logiciels Modeleur et Hydrosim est la méthode préconisée pour le secteur de la rivière Lorette compris entre son embouchure et le pont de la rue Saint-Paul à l'Ancienne-Lorette. Dans un premier temps, un modèle numérique de terrain (M.N.T.) représentant le secteur à l'étude est construit. Ce M.N.T. est modélisé à l'aide de

différents relevés topographiques et bathymétriques effectués dans le secteur à l'étude. Par la suite, le modèle hydrodynamique est calé de façon à ajuster les niveaux d'eau simulés à ceux relevés lors des campagnes de mesures. Une fois cette étape terminée, les débits de pointe déterminés à la section 3 sont simulés afin d'obtenir les cotes de crues correspondantes.

4.3.1 Données d'entrée du modèle hydrodynamique

4.3.1.1 Construction du modèle numérique de terrain

Afin de représenter adéquatement le secteur de la rivière Lorette à l'étude un modèle numérique de terrain est réalisé. Ce M.N.T. permettra l'utilisation du modèle hydrodynamique nécessaire à l'analyse du comportement de la rivière. Pour construire ce M.N.T., la bathymétrie du secteur à l'étude provient de relevés effectués par les techniciens du CEHQ à l'automne 2005. De plus, la portion terrestre du M.N.T. utilisée pour cette étude provient d'un modèle numérique d'altitude capté par méthode photogrammétrique réalisée par la Division arpentage et cartographie du Service de l'ingénierie de la Ville de Québec. Cette méthode a permis d'obtenir l'élévation du terrain pour un ensemble de points distants de plus ou moins cinq mètres.

L'ensemble de ces données a donc permis la réalisation d'un modèle numérique de terrain représentant fidèlement le secteur aval de la rivière Lorette ainsi que ses rives. Une fois complété, ce modèle a été utilisé pour simuler plusieurs événements hydrauliques afin de caler adéquatement le modèle hydrodynamique. Ce dernier reproduit le comportement de la rivière en fonction de différents éléments, dont le profil du terrain, sa rugosité ainsi que le débit de la rivière.

4.3.1.2 Distances entre les différents sites de calcul du niveau d'eau

Les distances entre les sites de calcul de niveaux d'eau ont été évaluées à partir du modèle numérique de terrain. Elles sont présentées au tableau 4. De plus, les figures 3 et 5 présentent la localisation de ces sites sur des plans à l'échelle de 1 : 30 000.

4.3.1.3 Coefficients de rugosité

Les coefficients de rugosité de Manning considérés dans le modèle hydrodynamique sont principalement établis à partir des informations recueillies par le personnel du CEHQ lors de visites sur le terrain. Des photographies conventionnelles et aériennes ainsi que des cartes topographiques sont également utilisées à cet effet. Par ailleurs, les coefficients de rugosité de Manning sont l'un des principaux paramètres permettant de caler le modèle, car ce sont eux qui ont la plus grande influence sur les niveaux d'eau simulés. Ils sont donc ajustés de façon que les niveaux d'eau simulés soient représentatifs des niveaux mesurés. Les berges et la plaine inondable du secteur à l'étude de la rivière Lorette sont en grande partie urbanisées et, par endroits, couvertes de gazon ou de broussailles. Le lit de la rivière est constitué de différents types de matériaux, allant du sable aux blocs de pierre. Les coefficients de Manning correspondants au lit, aux berges et à la plaine inondable de la rivière varient de 0,017 à 0,095.

**Tableau 4 : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette -
Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)**

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation des niveaux d'eau	Commentaires
1	0,00	0,00	1A	Embouchure de la rivière
2	19,43	19,43		
3	20,59	40,02	1B	
4	20,66	60,68		
5	19,92	80,60	5A	Aval du pont du boul. Masson
6	17,97	98,57	5B	Amont du pont du boul. Masson
7	10,72	109,29		
8	19,32	128,61		
9	19,46	148,07		
10	19,46	167,53		
11	21,69	189,22		
12	19,02	208,24		
13	19,51	227,75		
14	14,67	242,42		
15	20,10	262,52		
16	20,53	283,05		
17	20,19	303,24		
18	20,03	323,27		
19	19,80	343,07		
20	20,66	363,73		
21	19,06	382,79		
22	25,19	407,98		
23	17,89	425,87		
24	21,38	447,25	16.1	Aval du pont du boul. Wilfrid-Hamel
25	20,39	467,64	16.9	Amont du pont du boul. Wilfrid-Hamel
26	18,95	486,59		
27	18,27	504,86		
28	20,17	525,03		
29	20,23	545,26		
30	20,35	565,61		
31	20,35	585,96		
32	20,24	606,20		
33	20,80	627,00		
34	20,47	647,47		
35	17,42	664,89	22	Hôtel Motel Jessy
36	17,96	682,85		
37	20,91	703,76		
38	20,08	723,84		
39	18,80	742,64		
40	18,98	761,62		
41	17,97	779,59		

Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation des niveaux d'eau	Commentaires
42	16,89	796,48		
43	16,83	813,31		
44	20,22	833,53		
45	16,58	850,11		
46	15,05	865,16		
47	18,25	883,41		
48	17,86	901,27		
49	17,35	918,62		
50	20,65	939,27		
51	14,95	954,22		
52	17,29	971,51		
53	17,22	988,73		
54	19,96	1 008,69		
55	20,25	1 028,94		
56	19,43	1 048,37		
57	19,96	1 068,33		
58	20,12	1 088,45	36	Arrière cour de BPR inc.
59	18,66	1 107,11		
60	19,29	1 126,40		
61	16,16	1 142,56		
62	19,90	1 162,46		
63	20,10	1 182,56		
64	19,74	1 202,30		
65	20,06	1 222,36		
66	18,96	1 241,32		
67	14,63	1 255,95		
68	15,25	1 271,20		
69	15,99	1 287,19		
70	19,55	1 306,74		
71	19,57	1 326,31		
72	24,89	1 351,20	44A	Aval du pont est du boul. du Parc-Technologique Nord
73	21,50	1 372,70		Pont des Ingénieurs
74	15,16	1 387,86	44B	Amont du pont ouest du boul. du Parc-Technologique Nord
75	18,80	1 406,66		
76	17,77	1 424,43		Aval du Collecteur Henry-IV
77	19,64	1 444,07		Amont du Collecteur Henry-IV
78	20,42	1 464,49		
79	18,36	1 482,85		
80	17,62	1 500,47	49	Aval du pont de l'autoroute Henry-IV
81	42,47	1 542,94	51	Amont du pont de l'autoroute Henry-IV
82	19,63	1 562,57		

Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation des niveaux d'eau	Commentaires
83	19,72	1 582,29		
84	18,97	1 601,26		
85	18,48	1 619,74		
86	19,22	1 638,96		
87	25,66	1 664,62	54	Aval du pont de l'avenue Saint-Jean-Baptiste
88	20,59	1 685,21	55	Amont du pont de l'avenue Saint-Jean-Baptiste
89	19,46	1 704,67		
90	17,08	1 721,75		
91	18,31	1 740,06		
92	18,83	1 758,89		
93	20,65	1 779,54		
94	19,29	1 798,83		
95	19,20	1 818,03		
96	20,45	1 838,48		
97	19,01	1 857,49		
98	20,93	1 878,42		
99	11,72	1 890,14		
100	17,79	1 907,93		
101	20,21	1 928,14		
102	20,81	1 948,95		
103	20,71	1 969,66		
104	20,69	1 990,35		
105	17,08	2 007,43		
106	15,40	2 022,83		
107	20,10	2 042,93		
108	17,33	2 060,26		
109	21,93	2 082,19		
110	20,27	2 102,46		
111	19,30	2 121,76		
112	20,18	2 141,94	65	1405, avenue Saint-Jean-Baptiste
113	19,10	2 161,04		
114	20,87	2 181,91		
115	20,35	2 202,26		
116	18,84	2 221,10		
117	19,53	2 240,63		
118	18,16	2 258,79		
119	15,52	2 274,31		
120	18,57	2 292,88		
121	19,24	2 312,12		
122	14,79	2 326,91		
123	13,26	2 340,17		

Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation des niveaux d'eau	Commentaires
124	17,63	2 357,80		
125	15,10	2 372,90		Aval du collecteur Flaubert
126	19,97	2 392,87		Amont du collecteur Flaubert
127	21,26	2 414,13		
128	20,15	2 434,28		
129	20,68	2 454,96		
130	19,87	2 474,83		
131	20,41	2 495,24	72	Extrémité de la rue des Ronces
132	20,32	2 515,56		
133	20,01	2 535,57		
134	20,16	2 555,73		
135	20,73	2 576,46		
136	19,58	2 596,04		
137	19,56	2 615,60		
138	20,54	2 636,14		
139	20,05	2 656,19		
140	24,07	2 680,26	78	Aval du pont de la rue Michel-Fragasso
141	21,38	2 701,64	78.9	Amont du pont de la rue Michel-Fragasso
142	17,25	2 718,89		
143	18,72	2 737,61		
144	17,91	2 755,52		
145	13,47	2 768,99		
146	12,71	2 781,70		
147	14,10	2 795,80		
148	20,64	2 816,44		
149	18,25	2 834,69		
150	16,87	2 851,56		
151	19,79	2 871,35		
152	18,25	2 889,60		
153	21,36	2 910,96		
154	19,45	2 930,41	85	Arrière cour du 5575, rue Rideau
155	15,43	2 945,84		
156	14,57	2 960,41		
157	14,46	2 974,87		
158	19,86	2 994,73		
159	20,33	3 015,06		
160	20,00	3 035,06		
161	20,17	3 055,23		
162	20,42	3 075,65		
163	19,63	3 095,28		
164	19,95	3 115,23		

Tableau 4 (suite) : Distance entre les sites de calcul de niveau d'eau - Rivière Lorette - Secteur aval (de l'embouchure à la rue Saint-Paul)

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation des niveaux d'eau	Commentaires
165	21,30	3 136,53		
166	10,89	3 147,42	89	Aval du pont du boul. Wilfrid-Hamel
167	22,44	3 169,86	89.9	Amont du pont du boul. Wilfrid-Hamel
168	19,72	3 189,58		
169	17,28	3 206,86		
170	15,72	3 222,58		
171	19,26	3 241,84		
172	19,73	3 261,57		
173	20,58	3 282,15		
174	19,97	3 302,12		
175	19,95	3 322,07		
176	19,98	3 342,05		
177	19,80	3 361,85		
178	18,86	3 380,71		
179	20,40	3 401,11		
180	19,67	3 420,78		
181	21,24	3 442,02		
182	19,79	3 461,81		
183	12,24	3 474,05		
184	14,64	3 488,69		
185	20,82	3 509,51		
186	16,63	3 526,14		
187	18,61	3 544,75		
188	19,00	3 563,75	97	Extrémité de la rue Saint-Eugène
189	17,30	3 581,05		
190	20,03	3 601,08		
191	20,07	3 621,15		
192	20,38	3 641,53		
193	17,15	3 658,68		
194	12,99	3 671,67		
195	18,02	3 689,69		
196	20,92	3 710,61		
197	19,48	3 730,09		
198	18,66	3 748,75		
199	19,85	3 768,60	102	Arrière-cour du 1163, rue Saint-Gérard
200	20,05	3 788,65		
201	19,33	3 807,98		
202	20,46	3 828,44		
203	20,46	3 848,90		
204	22,69	3 871,59	103	Aval du pont de la rue Saint-Paul

4.3.2 Relevés hydrométriques

Les campagnes de mesures de niveaux d'eau sont essentielles à la réalisation de cette étude ainsi qu'au calage du modèle hydrodynamique. Dans le cadre de cette étude, cinq campagnes de mesures de niveaux d'eau et de débits ont été réalisées : deux à l'automne 2005, une au printemps 2006, une à l'automne 2006 et une à l'été 2007. Pour la présente étude, les campagnes de mesures retenues pour le calage du modèle hydrodynamique sont celles au cours desquelles un débit élevé a été mesuré. De plus, étant donné le caractère urbain du cours d'eau il faut que les campagnes de mesure soient complètes et que les données mesurées reflètent bien le comportement du cours d'eau lors de l'événement. Pour ces raisons, les campagnes de mesures retenues, sont celles des 15 et 16 octobre 2005. Un résumé de ces campagnes de mesures réalisées dans le secteur à l'étude est présenté aux tableaux 5.

Tableau 5 : Résumé des relevés hydrométriques - Rivière Lorette (secteur aval)

Site d'observation	Description	Niveau d'eau (m)	
		2005-10-15	2005-10-16
1A	Embouchure de la rivière Lorette	10,570	11,511
1B		10,612	11,591
5A	Aval du pont du boulevard Masson	10,692	11,616
5B	Amont du pont du boulevard Masson	10,766	11,687
16.1	Aval du pont (est) du boulevard Wilfrid-Hamel	11,080	11,922
16.9	Amont du pont (est) du boulevard Wilfrid-Hamel	11,046	11,962
22	Hôtel Motel Jessy	11,612	12,260
36	Arrière-cours de BPR inc.	12,194	12,671
44A	Aval du pont du boul. du Parc-Technologique Nord	12,402	12,884
44B	Amont du pont du boul. du Parc-Technologique Nord	12,450	12,915
49	Aval du pont de l'autoroute Henry-IV	12,539	12,966
51	Amont du pont de l'autoroute Henry-IV	12,565	13,010
54	Aval du pont de l'avenue Saint-Jean-Baptiste	12,663	13,092
55	Amont du pont de l'avenue Saint-Jean-Baptiste	12,671	13,116
65	Arrière cour du 1405, avenue Saint-Jean-Baptiste	13,125	13,559
72	Extrémité de la rue des Ronces	13,411	13,799
78	Aval du pont de la rue Michel-Fragasso	13,559	13,946
78.9	Amont du pont de la rue Michel-Fragasso	13,577	13,977
85	Arrière-cour du 5575, rue Rideau	13,879	14,254
89	Aval du pont (ouest) du boulevard Wilfrid-Hamel	14,096	14,422
89.9	Amont du pont (ouest) du boulevard Wilfrid-Hamel	14,099	14,420
97	Extrémité de la rue Saint-Eugène	14,610	14,782
102	Arrière-cour du 1163, rue Saint-Gérard	15,576	15,733
103	Aval du pont de la rue Saint-Paul	15,987	16,122
Débit jaugé (rue Saint-Paul) (m ³ /s)		19,0	31,2
Débit jaugé (boulevard du Parc-Technologique Nord) (m ³ /s)		20,1	29,5

Durant les campagnes de mesures, les niveaux d'eau ont été relevés aux sites d'observation illustrés dans les figures 3 et 5. Pour ces deux campagnes de mesures, les débits ont été mesurés aux ponts de la rue Saint-Paul et du boulevard du Parc-Technologique Nord.

4.3.3 Calage du modèle hydrodynamique

En simulant les débits issus des campagnes de mesures, les différents paramètres du modèle hydrodynamique ont été ajustés afin que les niveaux d'eau simulés soient représentatifs des niveaux d'eau mesurés. En effet, tel que mentionné précédemment, les coefficients de rugosité de Manning sont l'un des principaux paramètres permettant de caler le modèle.

Pour que le modèle hydrodynamique soit le plus représentatif possible des conditions réelles d'écoulement de la rivière en période de crue, il est préférable de retenir les campagnes de mesures pendant lesquelles les plus forts débits ont été enregistrés. Les campagnes des 15 et 16 octobre 2005 ont donc été utilisées pour caler le modèle hydrodynamique. Les autres campagnes n'ont pas été retenues pour le calage, car à ces dates soit le débit n'était pas assez élevé pour caler le modèle adéquatement, soit il manquait trop d'informations pour tenir compte du contexte urbain dans lequel se situe le cours d'eau étudié.

Les résultats présentés aux tableaux 6 et 7 permettent de comparer les niveaux d'eau observés à ceux obtenus lors de la simulation. Lors du calage du modèle hydrodynamique, les débits utilisés pour les simulations sont ceux mesurés sur la rivière ou reconstitués à partir des informations disponibles.

**Tableau 6 : Résultats du calage - Rivière Lorette (secteur aval)
campagne du 15 octobre 2005**

Site	Niveau simulé (m)	Niveau observé (m)	Écart (cm)	Site	Niveau simulé (m)	Niveau observé (m)	Écart (cm)
1A	10,64	10,570	- 7	54	12,64	12,663	2
1B	10,70	10,612	- 9	55	12,66	12,671	1
5A	10,76	10,692	- 7	65	12,94	13,125	19
5B	10,78	10,766	- 1	72	13,28	13,411	13
16.1	11,24	11,080	- 16	78	13,51	13,559	5
16.9	11,27	11,046	-22	78.9	13,56	13,577	2
22	11,71	11,612	- 10	85	13,84	13,879	4
36	12,23	12,194	- 4	89	14,16	14,096	- 6
44A	12,40	12,402	0	89.9	14,17	14,099	- 7
44B	12,44	12,450	1	97	14,84	14,610	- 23
49	12,52	12,539	2	102	15,58	15,576	0
51	12,57	12,565	0	103	15,99	15,987	0

**Tableau 7 : Résultats du calage - Rivière Lorette (secteur aval)
campagne du 16 octobre 2005**

Site	Niveau simulé (m)	Niveau observé (m)	Écart (cm)	Site	Niveau simulé (m)	Niveau observé (m)	Écart (cm)
1A	11,36	11,511	15	54	13,17	13,092	- 8
1B	11,38	11,591	21	55	13,17	13,116	- 5
5A	11,43	11,616	19	65	13,54	13,559	2
5B	11,48	11,687	21	72	13,85	13,799	- 5
16.1	11,92	11,922	0	78	14,08	13,946	- 13
16.9	11,94	11,962	2	78.9	14,15	13,977	- 17
22	12,26	12,260	0	85	14,37	14,254	- 12
36	12,78	12,671	- 11	89	14,61	14,422	- 19
44A	12,93	12,884	- 5	89.9	14,62	14,420	- 20
44B	12,96	12,915	- 4	97	15,25	14,782	- 47
49	13,03	12,966	- 6	102	15,68	15,733	5
51	13,10	13,010	- 9	103	16,15	16,122	- 3

Les écarts entre les niveaux d'eau simulés et mesurés sont satisfaisants puisqu'ils se situent pour la plupart en deçà de ± 10 cm. À certains sites, pour une de deux campagnes de mesures, des écarts supérieurs à la marge d'erreur sont observés, mais ces écarts redeviennent acceptables pour les sites un peu plus en amont ou en aval et sont satisfaisants pour l'autre campagne de mesures. En conséquence, nous pouvons conclure que le modèle hydrodynamique représente bien la rivière à l'étude.

Une fois le calage du modèle terminé, les coefficients de rugosité retenus ont été maintenus pour la simulation des différents débits de crues désirés.

4.3.4 Conditions à la limite aval du modèle

Pour le calcul des cotes de crues, il faut fournir au modèle hydrodynamique les conditions de niveau d'eau à sa limite aval. Pour les événements de crue servant au calage du modèle, ces conditions sont connues à l'aide des relevés de niveau d'eau réalisés aux sites d'observation pour ce secteur. Pour les crues associées aux pluies de projets de récurrence de 2 ans (6 heures), de 20 ans (12 heures) et de 100 ans (12 heures), ces conditions sont déterminées à l'aide de calculs.

Dans le cadre du mandat du CEHQ pour le secteur aval de la rivière Lorette, la révision des cotes de crues de secteurs des rivières Saint-Charles et du Berger doit également être faite. Ces deux rivières ont donc été modélisées avec les logiciels Modeleur et Hydrosim à même le modèle de la rivière Lorette. Cependant, les deux secteurs de ces rivières seront abordés dans un autre rapport traitant de la révision des cotes de crues de celles-ci. Par conséquent, la limite aval du modèle global est localisée à l'aval du secteur de la rivière Saint-Charles étudié, soit juste en amont du pont du boulevard Central. Les cotes de crues à l'embouchure de la rivière Lorette proviennent donc des calculs effectués par le modèle en tenant compte des rivières Saint-Charles et du Berger situé en aval de l'exutoire de la rivière Lorette.

4.4 Cotes de crues associées aux pluies de projets de récurrence de 2 ans (6 heures), de 20 ans (12 heures) et de 100 ans (12 heures)

Les résultats obtenus à la suite de la simulation des débits de pointe associés aux pluies de projets retenus pour la rivière Lorette (secteur aval) sont présentés au tableau 8. Les profils des plans d'eau apparaissent aux figures 4 et 6.

Tableau 8 : Cotes de crues associées aux pluies de projet de récurrence de 2 ans (6 heures), de 20 ans (12 heures) et de 100 ans (12 heures) - Rivière Lorette (secteur aval)

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans (6 heures)		20 ans (12 heures)		100 ans (12 heures)	
	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)
1	11,44	40,2	11,73	74,7	11,91	88,5
2	11,48		11,78		11,95	
3	11,50		11,79		11,94	
4	11,53		11,82		11,98	
5	11,53		11,82		11,96	
6	11,67		12,12		12,33	
7	11,61		12,02		12,22	
8	11,68		12,16		12,37	
9	11,72		12,20		12,42	
10	11,74		12,21		12,43	
11	11,76		12,24		12,45	
12	11,76		12,24		12,45	
13	11,81		12,29		12,52	
14	11,83		12,32		12,52	
15	11,83		12,35		12,56	
16	11,93		12,49		12,73	
17	11,93		12,52		12,77	
18	11,99		12,57		12,82	
19	11,99		12,58		12,81	
20	12,01		12,64		12,89	
21	12,03		12,67		12,92	
22	12,06		12,68		12,93	
23	12,07		12,65		12,89	
24	12,10		12,68		12,92	
25	12,24		12,86		13,11	
26	12,24		12,84		13,10	
27	12,33		12,97		13,23	
28	12,36		13,02		13,28	
29	12,36		13,02		13,29	
30	12,41		13,09		13,35	
31	12,41		13,09		13,35	
32	12,44		13,12		13,38	
33	12,45		13,15		13,42	
34	12,46		13,19		13,48	
35	12,56		13,23		13,52	

Tableau 8 (suite) : Cotes de crues associées aux pluies de projet de récurrence de 2 ans (6 heures), de 20 ans (12 heures) et de 100 ans (12 heures) - Rivière Lorette (secteur aval)

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans (6 heures)		20 ans (12 heures)		100 ans (12 heures)	
	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)
36	12,70	40,2	13,39	74,7	13,61	88,5
37	12,75		13,41		13,63	
38	12,75		13,42		13,63	
39	12,76		13,42		13,63	
40	12,76		13,43		13,64	
41	12,76		13,43		13,64	
42	12,81		13,45		13,66	
43	12,81		13,46		13,68	
44	12,88		13,50		13,70	
45	12,90		13,51		13,71	
46	12,89		13,51		13,71	
47	12,89		13,50		13,70	
48	12,90		13,50		13,71	
49	12,91		13,51		13,71	
50	12,93		13,52		13,73	
51	12,95		13,54		13,74	
52	12,95		13,54		13,74	
53	12,95		13,55		13,75	
54	12,96		13,56		13,76	
55	12,95		13,55		13,76	
56	12,96		13,56		13,76	
57	12,97		13,57		13,77	
58	12,98		13,57		13,77	
59	12,99		13,58		13,77	
60	13,00		13,58		13,77	
61	13,01		13,58		13,78	
62	13,02		13,58		13,78	
63	13,02		13,58		13,78	
64	13,02		13,58		13,78	
65	13,03		13,57		13,77	
66	13,06		13,63		13,83	
67	13,04		13,60		13,79	
68	13,05		13,60		13,79	
69	13,07		13,61		13,80	
70	13,08		13,61		13,79	
71	13,08		13,58		13,76	
72	13,08		13,56		13,73	
73	13,14		13,64		13,77	
74	13,16		13,67		13,85	
75	13,19		13,78		13,98	
76	13,21		13,80		14,01	

Tableau 8 (suite) : Cotes de crues associées aux pluies de projet de récurrence de 2 ans (6 heures), de 20 ans (12 heures) et de 100 ans (12 heures) - Rivière Lorette (secteur aval)

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans (6 heures)		20 ans (12 heures)		100 ans (12 heures)	
	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)
77	13,22	33,5	13,80	67,6	14,01	84,4
78	13,22		13,80		14,01	
79	13,23		13,80		14,01	
80	13,25		13,83		14,05	
81	13,31		13,93		14,16	
82	13,31		13,94		14,17	
83	13,32		13,94		14,17	
84	13,34		13,99		14,24	
85	13,36		13,99		14,23	
86	13,37		14,00		14,24	
87	13,38		14,00		14,23	
88	13,42		14,07		14,31	
89	13,42		14,08		14,31	
90	13,43		14,12		14,38	
91	13,46		14,13		14,38	
92	13,48		14,19		14,43	
93	13,50		14,21		14,47	
94	13,51		14,21		14,48	
95	13,53		14,24		14,50	
96	13,54		14,26		14,52	
97	13,55		14,27		14,54	
98	13,57		14,30		14,56	
99	13,60		14,36		14,64	
100	13,61		14,36		14,62	
101	13,64		14,39		14,66	
102	13,65		14,40		14,66	
103	13,66		14,43		14,70	
104	13,68		14,46		14,73	
105	13,68		14,46		14,74	
106	13,70		14,47		14,75	
107	13,70		14,49		14,76	
108	13,72		14,49		14,76	
109	13,72		14,50		14,78	
110	13,74		14,52		14,78	
111	13,75		14,53		14,81	
112	13,77		14,55		14,82	
113	13,78		14,56		14,83	
114	13,79		14,57		14,83	
115	13,80		14,57		14,84	
116	13,81		14,58		14,85	
147	13,81		14,59		14,85	
118	13,82		14,61		14,87	

Tableau 8 (suite) : Cotes de crues associées aux pluies de projet de récurrence de 2 ans 6 heures, de 20 ans 12 heures et de 100 ans 12 heures - Rivière Lorette (secteur aval)

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans (6 heures)		20 ans (12 heures)		100 ans (12 heures)	
	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)
119	13,85	33,5	14,62	67,6	14,87	84,4
120	13,86		14,63		14,89	
121	13,88		14,64		14,90	
122	13,89		14,66		14,90	
123	13,90		14,66		14,91	
124	13,91		14,66		14,91	
125	13,93		14,66		14,91	
126	14,01	32,8	14,70	67,4	14,94	84,4
127	14,04		14,71		14,94	
128	14,05		14,72		14,95	
129	14,07		14,75		14,97	
130	14,09		14,76		14,98	
131	14,11	32,0	14,83	67,1	15,04	84,4
132	14,15		14,83		15,05	
133	14,21		14,95		15,15	
134	14,22		14,97		15,17	
135	14,28		15,04		15,22	
136	14,32		15,05		15,23	
137	14,32		15,06		15,23	
138	14,33		15,06		15,23	
139	14,35		15,07		15,24	
140	14,37		15,07		15,23	
141	14,51		15,27		15,41	
142	14,51		15,27		15,41	
143	14,53		15,28		15,42	
144	14,58		15,34		15,47	
145	14,59		15,35		15,47	
146	14,60		15,35		15,47	
147	14,60		15,35		15,47	
148	14,61		15,35		15,47	
149	14,64		15,38		15,49	
150	14,64		15,38		15,49	
151	14,65		15,38		15,50	
152	14,66		15,38		15,50	
153	14,67		15,38		15,50	
154	14,70		15,40		15,51	
155	14,71		15,43		15,54	
156	14,73		15,44		15,54	
157	14,74		15,43		15,53	
158	14,75		15,43		15,53	
159	14,76		15,44		15,54	
160	14,79		15,46		15,56	
161	14,80		15,48		15,57	

Tableau 8 (suite) : Cotes de crues associées aux pluies de projet de récurrence de 2 ans 6 heures, de 20 ans 12 heures et de 100 ans 12 heures - Rivière Lorette (secteur aval)

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans 6 heures		20 ans 12 heures		100 ans 12 heures	
	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)	Niveau (m)	Débit (m ³ /s)
162	14,82	32,0	15,48	67,1	15,58	84,4
163	14,85		15,50		15,59	
164	14,88		15,50		15,59	
165	14,90		15,52		15,59	
166	14,96		15,61		15,71	
167	14,97		15,62		15,72	
168	14,99		15,63		15,74	
169	15,06		15,69		15,79	
170	15,08		15,77		15,90	
171	15,10		15,78		15,90	
172	15,16		15,90		16,03	
173	15,17	31,5	15,90	67,0	16,04	84,4
174	15,19		15,92		16,06	
175	15,25		16,01		16,15	
176	15,26		16,02		16,17	
177	15,30		16,07		16,21	
178	15,34		16,14		16,29	
179	15,37		16,15		16,30	
180	15,43		16,20		16,37	
181	15,45		16,22		16,37	
182	15,50		16,33		16,52	
183	15,51		16,33		16,52	
184	15,55		16,38		16,56	
185	15,58		16,39		16,57	
186	15,60		16,42		16,61	
187	15,67		16,47		16,66	
188	15,67		16,50		16,69	
189	15,70		16,49		16,68	
190	15,72		16,52		16,72	
191	15,75		16,56		16,77	
192	15,87		16,76		16,99	
193	15,88		16,75		16,98	
194	15,87		16,75		16,97	
195	15,86		16,74		16,96	
196	15,88		16,73		16,96	
197	15,96		16,75		16,97	
198	16,01		16,78		16,99	
199	16,07		16,86		17,06	
200	16,20		17,01		17,26	
201	16,33		17,13		17,37	
202	16,39		17,15		17,39	
203	16,48		17,23		17,44	
204	16,65		17,51		17,77	

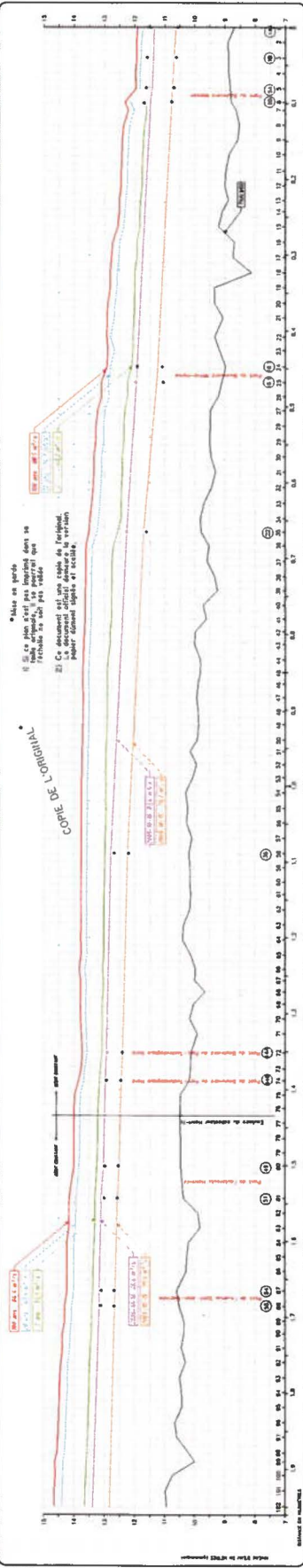
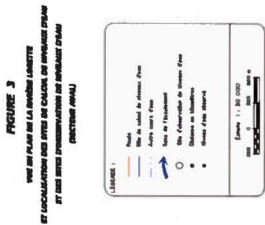




FIGURE 5
PLAN DE PLANIFICATION DES TRACÉS DE LA RÉSEAU D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE
ET DES TRACÉS PROPOSÉS POUR LE RENDREMENT EN EAU
(SECTION AVANT)

LEGENDE:
 - Tracé de la conduite d'alimentation en eau
 - Tracé de la conduite de distribution
 - Tracé de la conduite de service
 - Tracé de la conduite de service existante
 - Tracé de la conduite de service proposée
 - Tracé de la conduite de service existante
 - Tracé de la conduite de service proposée

ÉCHELLE: 1:10 000
 DATE: 15/03/2009

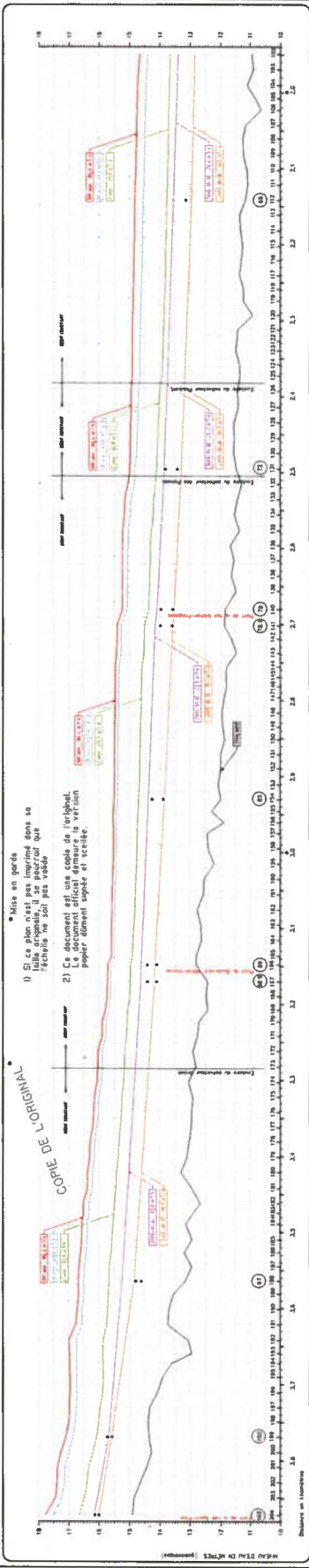


FIGURE 6
PROFIL EN LONG DES TRACÉS DE LA RÉSEAU D'ALIMENTATION EN EAU
(SECTION AVANT)

LEGENDE:
 - Profil du sol
 - Profil de la conduite d'alimentation en eau
 - Profil de la conduite de distribution
 - Profil de la conduite de service existante
 - Profil de la conduite de service proposée

ÉCHELLE VERTICALE: 1:10 000
 ÉCHELLE HORIZONTALE: 1:10 000

DATE: 15/03/2009

Direction de l'inspection
 et de la gestion des ouvrages publics
 MARS 2009

AVENUE LORAINTE
 VILLE DE QUÉBEC

Centre d'inspection
 Québec

Mise en garde
 1) Si ce plan n'est pas imprimé dans sa totalité, il ne peut être utilisé.
 2) Ce document est une copie de l'original. Il ne peut être utilisé sans le papier d'origine signé et scellé.

5 Conclusion

L'objectif de cette étude était de mettre à jour l'ancienne étude de 1990 menant à la détermination des cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans relatives à la rivière Lorette pour le secteur compris entre son embouchure et le pont de la rue Saint-Paul à l'Ancienne-Lorette, et ce, dans le but de déterminer les zones inondables correspondantes. Elle visait également à évaluer les cotes de crues de récurrence de 2 ans.

En premier lieu, étant donné le fort degré d'urbanisation du secteur à l'étude, une modélisation hydrologique basée sur les précipitations estimées pour la région de la Ville de Québec a été réalisée par une firme privée de consultants en ingénierie. Cette modélisation a été réalisée à l'aide de logiciels spécialement conçus à cette fin. Pour ce faire, un modèle hydrologique est sollicité par différentes pluies de projet ayant des périodes de retour différentes. Ces pluies de projets sont construites à partir des données des courbes intensité-durée-fréquence (IDF) applicables au secteur étudié. Les résultats de cette étude ont été présentés et ceux-ci ont été retenus pour déterminer les cotes de crues associées à ces pluies de projet pour le secteur à l'étude.

En second lieu, une étude hydraulique a été effectuée en vue de déterminer les cotes de crues recherchées correspondant aux débits de pointe sélectionnés. Pour ce faire, une modélisation à deux dimensions a été utilisée. Différents relevés sur le terrain et photogrammétriques ont d'abord permis de modéliser le secteur de la rivière à l'étude. En simulant les débits issus des campagnes de mesures, les différents paramètres du modèle hydrodynamique ont été ajustés afin que les niveaux d'eau simulés soient représentatifs des niveaux d'eau mesurés. L'étape du calage a ensuite été jugée satisfaisante et les débits de pointe déterminés pour les pluies de projet ont été simulés. Les cotes de crues correspondantes ont ainsi été déterminées,

6 Références citées

- ANCTIL, François, Nicolas MARTEL et Van Diem HOANG (1998), « *Analyse régionale des crues journalières de la province de Québec* », Revue canadienne de génie civil, volume 25, n° 2, p. 360-369.
- BOUCHER, Jean-Paul et Louis HÉBERT (1990) « *Cartographie des zones inondables - Rivières Saint-Charles, du Berger, Lorette, Nelson et Jaune à Québec, territoire Communauté urbaine de Québec MH-90-02* », Direction du domaine hydrique, ministère de l'Environnement, Québec.
- CHAIRE EN HYDROLOGIE STATISTIQUE (2002), *HYFRAN*, Logiciel pour l'analyse fréquentielle en hydrologie, version 1,1, INRS-ETE (Université du Québec).
- FORTIER, Véronique et Jean GAUTHIER (2006), « *CSOB615, Plan de gestion des eaux pluviales du bassin versant de la rivière Lorette et des secteurs Aéroport Jean-Lesage et Val-Bélair, Bassins versants des rivières Lorette et Saint-Charles (en partie) - Rapport d'étape 1 : synthèse des acquis* », révision 0, 4 octobre 2006, BPR inc.
- FORTIER, Véronique et Jean GAUTHIER (2008), « *CSOB615, Plan de gestion des eaux pluviales du bassin versant de la rivière Lorette et des secteurs Aéroport Jean-Lesage et Val-Bélair, Bassins versants des rivières Lorette et Saint-Charles (en partie) - Rapport d'étape 2 : état actuel* », révision 1, 4 avril 2008, BPR inc.
- FORTIER, Véronique et Jean GAUTHIER (2008), « *CSOB615, Plan de gestion des eaux pluviales du bassin versant de la rivière Lorette et des secteurs Aéroport Jean-Lesage et Val-Bélair, Bassins versants des rivières Lorette et Saint-Charles (en partie) - Rapport d'étape 3 : état ultime* », révision 1, 15 mai 2008, BPR inc.
- HENICHE, Mourad, Yves SECRETAN, Paul BOUDREAU et Michel LECLERC (1999), *HYDROSIM*, version 1,0a06, guide d'utilisation, rapport INRS-Eau R482-G2, p. 90.
- HENICHE, Mourad, Yves SECRETAN, Paul BOUDREAU et Michel LECLERC (2002), « Dynamic tracking of flow boundaries in rivers with respect to discharge », *Journal of Hydraulic Research (IAHR)*, 40(5), p. 589-602.
- SECRETAN, Yves, Y, ROY et autres (2000), *MODELEUR*, version 1,0a07, guide d'utilisation, rapport INRS-Eau R482-G3F, p. 267.
- SECRETAN, Yves, Michel Leclerc, S, DUCHESNE et Mourad HENICHE (2001), « Une méthodologie de modélisation numérique de terrain pour la simulation hydrodynamique bidimensionnelle », *Revue des Sciences de l'Eau*, 14 (2), p. 187-212.
- VILLENEUVE, Jean-Pierre, Sophie DUCHESNE et Alain MAILHOT (2007), « *Analyse de la pluviométrie récente sur le territoire de la Ville de Québec et pronostics d'évolution dans un contexte de changements climatiques, rapport final* », Rapport de recherche N° R-911f, INRS-Eau, Terre et Environnement, 31 août 2007, Québec

7 Glossaire

Amont :	Direction opposée à l'écoulement d'un cours d'eau.
Aval :	Direction vers laquelle coule un cours d'eau.
Barrage à faible contenance :	Barrage d'une hauteur de 2 m ou plus qui n'est pas à forte contenance.
Barrage à forte contenance :	Barrage d'une hauteur de 1 m ou plus dont la capacité de retenue est supérieure à 1 000 000 m ³ ; barrage d'une hauteur de 2,5 m ou plus dont la capacité de retenue est supérieure à 30 000 m ³ ; barrage d'une hauteur de 7,5 m ou plus, sans égard à la capacité de retenue.
Bassin versant :	Territoire circonscrit par une ligne de partage des eaux et qui se draine dans un cours d'eau, un lac, un réservoir ou un autre plan d'eau.
Campagne de mesures :	Ensemble des relevés effectués dans un secteur à l'étude et pendant une période continue.
Carte topographique :	Carte représentant le relief d'un terrain ainsi que l'espace naturel et l'espace humanisé. Le relief est habituellement représenté par un ensemble de lignes appelées « courbes de niveau ». Ces dernières correspondent à une ligne reliant des points d'altitude égale par rapport au niveau moyen des mers (zéro géodésique). Sur les cartes topographiques, le relief peut être également représenté par une série de points d'altitudes connues appelés « points cotés ».
Coefficient de rugosité :	Nombre qui permet de représenter la rugosité des matériaux présents dans le lit et sur les berges d'une rivière. Ce nombre est utilisé notamment dans le calcul des vitesses d'écoulement.
Cote de crue :	Élévation du niveau de l'eau pour un débit de crue donné.
Courbe de remous :	Profil longitudinal de la ligne d'eau d'une rivière.
Débit de crue :	Débit élevé causé par de fortes pluies ou la fonte des neiges.
Débit journalier maximum annuel :	À l'échelle d'une année, débit maximum obtenu au cours d'une journée. Ce débit est calculé en effectuant la moyenne de tous les débits enregistrés pendant une journée.
Débit maximum instantané :	Débit de crue maximal enregistré à un instant donné lors d'une journée de crue.
Embouchure :	Lieu où un cours d'eau se jette dans un autre cours d'eau, un lac, un réservoir ou la mer.
Petit barrage :	Barrage de plus de 1 m de hauteur et qui n'est pas de forte contenance ou de faible contenance.

Profil en long :	Graphique qui présente, pour un débit donné, l'allure du plan d'eau pour un tronçon de rivière et qui permet de mettre en évidence les paliers, ruptures de pente, secteurs de pente forte et secteurs de pente faible du tronçon de rivière à l'étude.
Récurrence :	Période de retour d'un événement égale à l'inverse de la probabilité que cet événement soit dépassé ou égalé chaque année (probabilité au dépassement). Par exemple, un débit dont la récurrence est de 100 ans est un débit dont la probabilité au dépassement est de 0,01 (1/100).
Relation niveau-débit :	Relation entre le niveau d'eau observé à une section d'écoulement et le débit correspondant. On l'appelle également « courbe de tarage ».
Relation niveau-niveau :	Graphique qui permet de mettre en relation le niveau mesuré à une section d'écoulement donnée par rapport au niveau mesuré à une autre section pour un même débit.
Section d'écoulement :	Coupe transversale et perpendiculaire à l'écoulement.
Site de calcul de niveaux d'eau	Endroit précis sur le modèle hydrodynamique où des données sont calculées, notamment les niveaux d'eau.
Site d'observation de niveaux d'eau :	Endroit précis sur le terrain où des instruments de mesure ou encore des repères sont installés afin de prendre des mesures de niveaux d'eau.
Station hydrométrique :	Ensemble des instruments nécessaires à la collecte, à l'enregistrement et à la retransmission des données hydrométriques (niveau ou débit).
Système de référence géodésique :	Ensemble de repères définissant la structure géométrique de la terre et indispensable à une localisation unique des éléments s'y trouvant.
Tributaire :	Cours d'eau qui se jette dans un autre.

