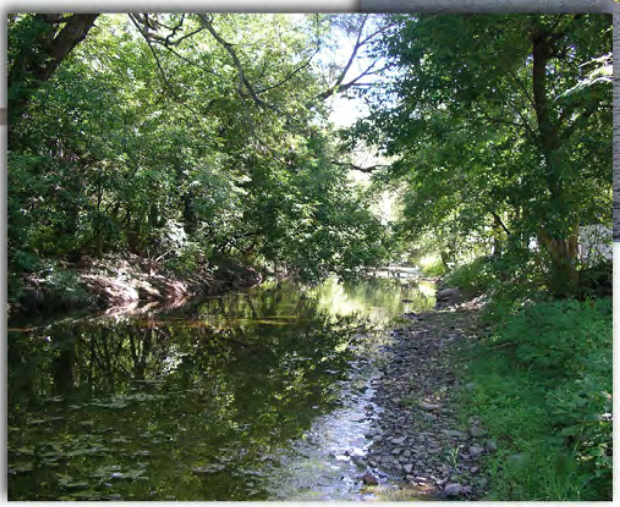
Centre d'expertise hydrique du Québec

Rivière Saint-Charles – Secteur amont

Ville de Québec et Territoire autochtone de la nation Huronne-Wendat

Mise à jour des cotes de crues

Rapport final



Québec

Pour plus de renseignements, contactez
la Direction de l'expertise hydrique
du Centre d'expertise hydrique du Québec.

Direction de l'expertise hydrique
Centre d'expertise hydrique du Québec
Édifice Marie-Guyart
675, boulevard René-Lévesque Est
Aile Louis-Alexandre-Taschereau, 4e étage
Québec (Québec) G1R 5V7

Téléphone : 418 521-3993
Télécopieur : 418 643-6900
Courriel : cehq@mddep.gouv.qc.ca
Internet : www.cehq.gouv.qc.ca

Crédits photos : Centre d'expertise hydrique du Québec

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC

DIRECTION DE L'EXPERTISE HYDRIQUE

RÉVISION DES COTES DE CRUES

Rivière Saint-Charles – Tronçon 5
Amont du seuil du secteur du Château-d'Eau à l'aval du barrage Cyrille-Delage

Ville de Québec

CEHQ 4132-0509-05-8756
(Référence Ville de Québec : PPD2009608)

Préparé par :

Original signé par :

Audrey Lavoie, ing. jr

Révisé par :

Original signé par :

Jean Francoeur, ing., M. Sc.

Août 2011

Équipe de réalisation

Rédaction du rapport :	Audrey Lavoie, ingénieure junior Jean Francoeur, ingénieur, M. Sc.
Étude hydraulique :	Audrey Lavoie, ingénieure junior
Étude hydrologique :	Audrey Lavoie, ingénieure junior
Vérification et supervision :	Jean Francoeur, ingénieur, M. Sc. Simon Dubé, ingénieur, MBA (modélisation 2D)
Corrections et mise en page :	Colette Proulx, secrétaire
Figures et mise en plan :	Renée Lavergne

Relevés de terrain et hydrométriques :

André Barbeau, conducteur d'embarcation	Kevin Paquette, technicien
Gilbert Côté, technicien	Marie-Lise Paquin, technicienne
Jean-François Cyr, technicien	Jean-Guy Pelletier, technicien
Renée Lavergne, technicienne	Bruno Verreault, technicien
Marc Lebel, technicien	Guillaume Webb-Pelletier, technicien

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. Pour obtenir des informations sur la réglementation dans le domaine des zones inondables, veuillez communiquer avec la MRC ou la municipalité concernée.

- 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.

- Les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans déterminées dans le présent rapport sont associées à des probabilités théoriques d'occurrence. Par exemple, une cote de crue de récurrence de 20 ans signifie que, chaque année, la probabilité que le niveau de l'eau atteigne cette cote est de 5 %. Ainsi, le fait d'être situé à l'intérieur de la zone inondable délimitée par une cote d'une certaine récurrence ne constitue pas une certitude, mais plutôt une probabilité d'inondation. Aussi, 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

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 7

3.3 Cas de la rivière Saint-Charles (tronçon 5) 7

3.3.1 Analyse statistique 8
3.3.2 Transposition des débits au site à l'étude 9
3.3.3 Facteur de pointe 11
3.3.4 Débits de crues instantanées de récurrence de 20 ans et de 100 ans 13

4 ÉTUDE HYDRAULIQUE 14

4.1 Objectif 14

4.2 Description des méthodes utilisées pour la détermination des cotes de crues 14

4.3 Cas de la rivière Saint-Charles (tronçon 5) 14

4.3.1 Données d'entrée du modèle hydrodynamique 15
4.3.1.1 Modèle numérique de terrain 15
4.3.1.2 Sites d'observations de niveaux d'eau et sites de calcul de niveaux d'eau 15
4.3.1.3 Coefficients de rugosité 15
4.3.1.4 Relevés hydrométriques 19
4.3.2 Calage du modèle hydrodynamique 19
4.3.2.1 Événement de 2007 (25 avril) 20
4.3.2.2 Événement de 2008 (25, 29 et 30 avril) 20
4.3.2.3 Calage global du modèle 20
4.3.3 Conditions limites du modèle utilisées pour les simulations de crues de récurrences de 2 ans de 20 ans et de 100 ans. 21

4.4 Cotes de crues associées aux crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans 21

5 CONCLUSION 30

6 RÉFÉRENCES CITÉES 31

7 GLOSSAIRE 32

ANNEXE 1 34

Liste des figures

Figure 1 : Bassin versant de la rivière Saint-Charles et de ses principaux tributaires 3

Figure 2 : Secteur à l'étude de la rivière Saint-Charles 5

Figure 3 : Transposition des débits de la station 050904 à l'aval du secteur étudié 10

Figure 4 : Transposition des débits à différents endroits du secteur étudié 11

Figure 5 : Vue en plan de la rivière Saint-Charles (tronçon 5) et localisation des sites de calcul de niveaux d'eau et des sites d'observation de niveaux d'eau (sites 1 à 55) 26

Figure 6 : Profil des plans d'eau de la rivière Saint-Charles (tronçon 5) (sites 1 à 55) 26

Figure 7 : Vue en plan de la rivière Saint-Charles (tronçon 5) et localisation des sites de calcul de niveaux d'eau et des sites d'observation de niveaux d'eau (sites 56 à 112) 28

Figure 8 : Profil des plans d'eau de la rivière Saint-Charles (tronçon 5) (sites 56 à 112) 28

Liste des tableaux

Tableau 1 : Ouvrages de retenue sur la rivière Saint-Charles près du secteur à l'étude..... 2

Tableau 2 : Caractéristiques de la station hydrométrique 050904..... 8

Tableau 3 : Débits de crues de récurrences diverses - Station hydrométrique 050904 9

Tableau 4 : Débits de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles (tronçon 5) 9

Tableau 5 : Débits de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles - Secteur à l'étude..... 10

Tableau 6 : Calcul du facteur de pointe - Station 050904 de la rivière Saint-Charles..... 12

Tableau 7 : Débits de crues instantanées de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles – Tronçon 5..... 13

Tableau 8 : Distance entre les sites de calcul - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)..... 16

Tableau 9 : Résumé des relevés hydrométriques - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)..... 19

Tableau 10 : Calage - Rivière Saint-Charles (tronçon 5) - Campagne du 25 avril 2007..... 20

Tableau 11 : Cotes de crues associées aux crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)..... 21

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). 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. Différentes cartes du risque d'inondation de la rivière Saint-Charles et de ses tributaires ont ensuite été tracées. Les zones inondables délimitées sur ces cartes ont été désignées conjointement par le ministre de l'Environnement du Québec et par le ministre de l'Environnement du 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. 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 amont de la rivière Saint-Charles. Cette mise à jour couvre le secteur s'étendant en amont du seuil de la prise d'eau à l'aval du barrage Cyrille-Delage. 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 détaille l'étude hydrologique réalisée pour déterminer les différents débits de récurrence. 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 Saint-Charles prend sa source dans le lac Saint-Charles situé au nord de Québec dans l'arrondissement Haute-Saint-Charles. Très sinueuse, principalement dans sa portion amont, elle parcourt une distance d'environ 36 km avant de se jeter dans le fleuve St-Laurent près du bassin Louise dans l'arrondissement La Cité-Limoilou. Ses principaux tributaires sont les rivières Jaune, Nelson, du Berger et Lorette. Tout le long de son parcours, la rivière traverse différents quartiers résidentiels, industriels ou commerciaux des arrondissements Haute-Saint-Charles, Les Rivières et La Cité-Limoilou. Une partie de l'alimentation en eau potable de la Ville de Québec est faite dans ce cours d'eau à la hauteur de la rue de la Faune dans le secteur Château-d'Eau.

En forme de demi-lune, le bassin versant de la rivière Saint-Charles a une superficie de 546 km² à son embouchure et est orienté nord-sud (figure 1). Sa partie la plus large couvre une distance d'environ 19 km. Il est borné au nord-ouest par le bassin de la rivière Jacques-Cartier et au nord-est par celui de la rivière Montmorency. Le point le plus en altitude est situé au nord-est du bassin versant et s'élève à 848 m. L'exutoire, quant à lui, a une élévation de 2,3 m.

Le secteur à l'étude dans le présent rapport débute en aval du barrage Cyrille-Delage et se termine en amont du seuil de la prise d'eau de la Ville de Québec (secteur du Château-d'Eau), 12 km en aval (figure 2). Ce secteur draine un bassin versant d'une superficie de 347 km² à son aval. Située dans l'arrondissement Haute-Saint-Charles, cette portion de la rivière Saint-Charles traverse le territoire de trois anciennes municipalités aujourd'hui fusionnées à Québec soit Lac Saint-Charles, Saint-Émile et Loretteville. La rivière longe également la réserve de Wendake, territoire autochtone de la nation Huronne-Wendat. L'arrondissement de la Haute-Saint-Charles compte environ 74 000 habitants tandis que 1300 personnes résident sur la réserve de Wendake.

La rivière Saint-Charles compte une station hydrométrique de mesures de débits en opération (050904), située en aval de l'autoroute Félix-Leclerc à 0,8 km de la rivière Lorette. Cette station a remplacé la station 050901 fermée en 1969. De plus, selon le répertoire des barrages disponible sur le site Internet du CEHQ, on dénombre plus de 40 barrages sur le bassin versant de la rivière. Trois de ces barrages sont situés sur ou près du secteur à l'étude. Le tableau 1 résume les caractéristiques principales de ces trois ouvrages.

Tableau 1 : Ouvrages de retenue sur la rivière Saint-Charles près du secteur à l'étude

Nº MENV	Nom du barrage	Propriétaire	Type d'utilisation	Capacité de retenue (m^3)
X0001640	Cyrille-Delage	Ville de Québec	Prise d'eau	15 600 000 Forte contenance
X0001643	Château-d'Eau	Ville de Québec	Régulation	8100 Faible contenance
X0001644	De la Passerelle	Ville de Québec	Contrôle des inondations	5060 Faible contenance

Source : Répertoire des barrages, www.cehq.gouv.qc.ca/barrages, août 2011

Le CEHQ a également entrepris de déterminer ou de mettre à jour les cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans de d'autres secteurs de la rivière Saint-Charles ou de ses affluents. Les rivières Jaune, Nelson ainsi que la partie de la rivière Saint-Charles située en aval du présent tronçon feront, entre autres, l'objet d'études distinctes.

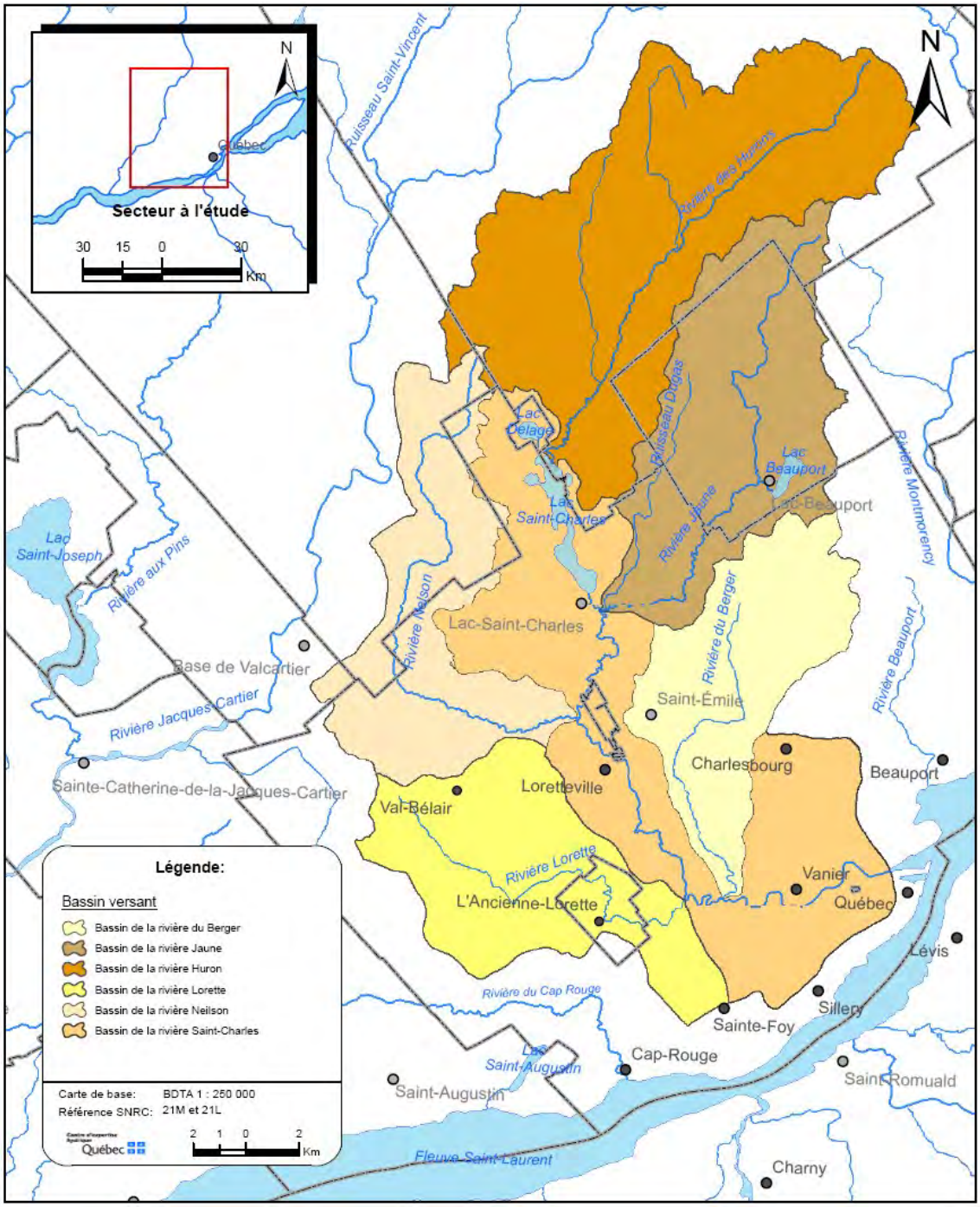


Figure 1 : Bassin versant de la rivière Saint-Charles et de ses principaux tributaires

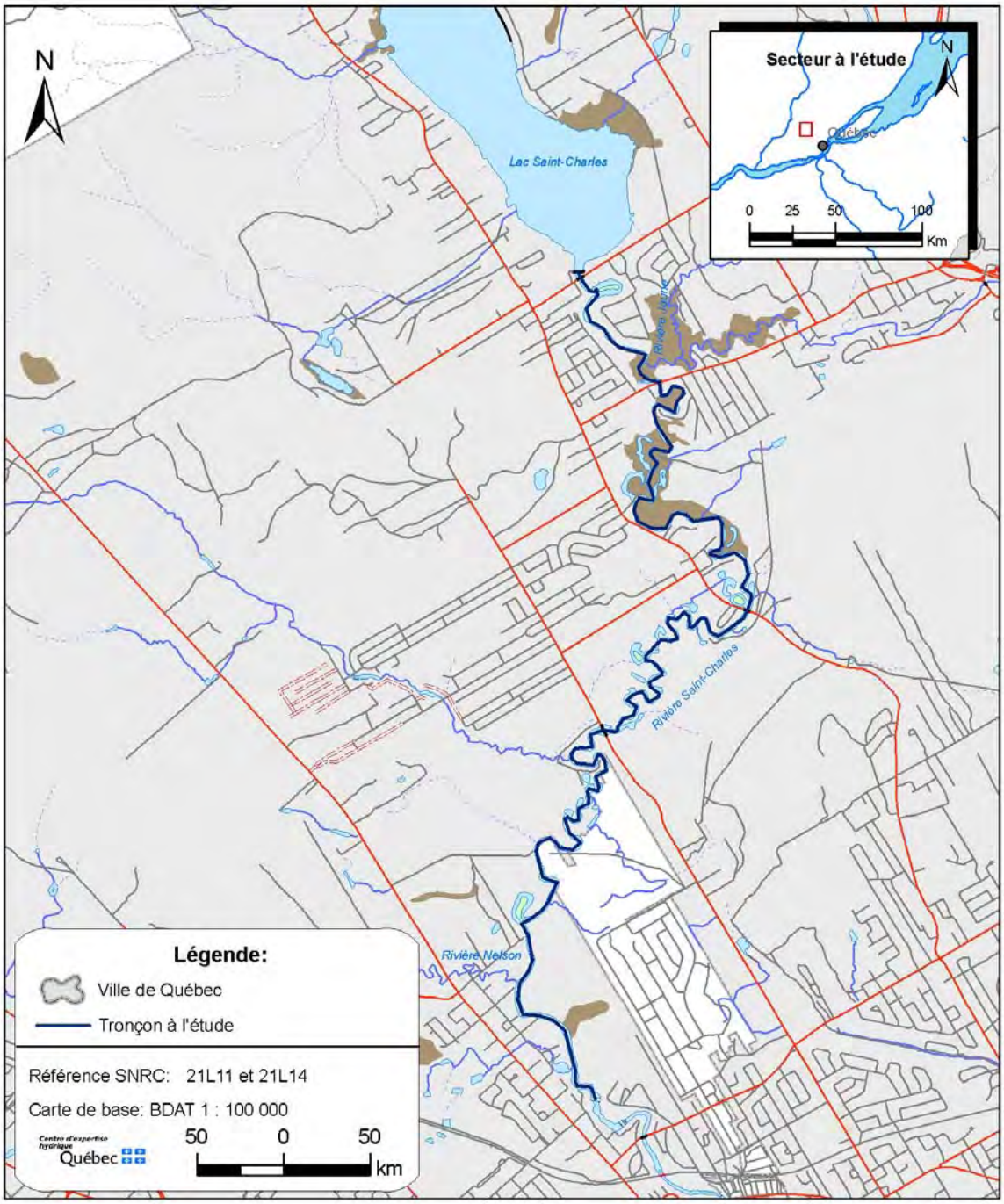


Figure 2 : Secteur à l'étude de la rivière Saint-Charles

3 Étude hydrologique

3.1 Objectif

Le but de l'étude hydrologique est d'établir les débits de crues de la rivière Saint-Charles 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.

3.3 Cas de la rivière Saint-Charles (tronçon 5)

En ce qui concerne le tronçon 5 de la rivière Saint-Charles, il a été convenu d'utiliser une approche classique pour déterminer les débits nécessaires à l'établissement des cotes de crues. La station hydrométrique 050904 située sur la rivière Saint-Charles a fourni les données de débits nécessaires à l'analyse.

3.3.1 Analyse statistique

À cette étape, seule la moyenne journalière des débits enregistrés à la station est considérée dans la détermination des débits maximums annuels. Les caractéristiques de la station hydrométrique 050904 retenues aux fins de cette étude sont les suivantes :

Station 050904

Localisation :	À 0,8 km en amont de la rivière Lorette	
Coordonnées :	longitude :	71° 19’ 11’’
	latitude :	46° 48’ 58’’
	altitude :	12,2 m
Aire du bassin versant :	364 km^2	
Organisme exploitant :	Centre d’expertise hydrique du Québec	
Équipement de mesure :	1969 – 1997 : enregistreur à ruban perforé depuis 1997 : enregistreur électronique	
Période d’observation :	depuis 1968	
Période retenue :	1969 – 2010	
Condition d’écoulement :	régime influencé	

Au total, 42 valeurs de débits maximums annuels enregistrées à la station 050904 entre 1969 et 2010 sont utilisées pour réaliser une analyse statistique. Les données des années 2008 à 2010 ont été vérifiées, mais n’ont pas fait l’objet d’une validation finale de la part du gestionnaire des stations hydrométriques.

La valeur utilisée pour le débit maximum annuel correspond à la moyenne des débits mesurés au cours de la journée où le débit est maximal. Les caractéristiques de l’échantillon utilisé sont données au tableau 2 et le détail de l’analyse effectuée à l’aide du logiciel Hyfran est présenté à l’annexe 1.

Tableau 2 : Caractéristiques de la station hydrométrique 050904

	Station hydrométrique
Taille de l’échantillon	42
Minimum ($m^3 s^{-1}$)	43.3
Maximum ($m^3 s^{-1}$)	93.5
Moyenne ($m^3 s^{-1}$)	62.0
Écart-type ($m^3 s^{-1}$)	11.6
Médiane ($m^3 s^{-1}$)	61.5
Coefficient de variation (Cv)	0.18635
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0.39100
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2.6679

À ces débits, l’ensemble des lois statistiques généralement utilisées en hydrologie a été ajusté pour estimer les débits de crues à la station hydrométrique 050904. À la suite de l’analyse des ajustements principalement basée sur le critère d’adéquation bayésien, la loi lognormale a été sélectionnée comme celle décrivant le mieux l’échantillon de données à la station hydrométrique. Les résultats obtenus sont présentés au tableau 3, tandis que le détail des analyses statistiques est présenté à l’annexe 1.

Tableau 3 : Débits de crues de récurrences diverses - Station hydrométrique 050904

Station	Loi statistique	Débits de crues selon la récurrence ($m^3 s^{-1}$)					
		2 ans	5 ans	10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
050904	Lognormale	61,0	71,3	77,4	82,8	89,4	94,1

3.3.2 Transposition des débits au site à l'étude

La station 050904 se trouvant en aval du secteur étudié, les débits de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans calculés à la section précédente doivent être transposés au secteur à l'étude afin de mieux représenter les conditions qu'on y retrouve.

Afin de transférer les débits de la station 050904 à l'aval du secteur à l'étude (amont du seuil du secteur Château-d'Eau), la technique du transfert de bassin versant est utilisée (tableau 4 et figure 3). L'équation suivante permet de réaliser cette transposition :

$$Q_2 = Q_1\left[\frac{A_2}{A_1}\right] \qquad (1)$$

où

Q_2 = débit de crue instantané ($m^3 s^{-1}$) pour l'endroit souhaité sur la rivière Saint-Charles
Q_1 = débit de crue instantané ($m^3 s^{-1}$) de la rivière Saint-Charles à la station 050904
A_2 = superficie (km^2) du bassin versant à l'endroit souhaité
A_1 = superficie (km^2) du bassin versant de la rivière Saint-Charles à la station 050904

Tableau 4 : Débits de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)

Localisation	Aire BV (km^2)	Débits de crues ($m^3 s^{-1}$)		
		2 ans	20 ans	100 ans
Station 050904	364	61,0	82,8	94,1
Aval du secteur à l'étude (seuil Château-d'Eau)	347	58,2	78,9	89,7

Figure 3 : Transposition des débits de la station 050904 à l'aval du secteur étudié

Les débits ainsi transférés peuvent ensuite être répartis à différents endroits dans le secteur à l'étude afin d'améliorer la précision des simulations.

De façon à rester cohérents avec les débits évalués à la station 050904, les débits sont répartis de façon proportionnelle à la superficie des secteurs rencontrés grâce à la technique du transfert de bassin versant. Dans le cadre de cette étude, les débits ont été ajustés à trois reprises. Le tableau 5 et la figure 4 indiquent les endroits où les différents débits ont été calculés et utilisés.

Tableau 5 : Débits de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles - Secteur à l'étude

Localisation des endroits de calcul des débits	Aire BV (km^2)	Débits de crues ($m^3 s^{-1}$)			Débits utilisés de…
		2 ans	20 ans	100 ans	
Station 050904	364	61,0	82,8	94,1	
Aval du secteur à l'étude	347	58,2	78,9	89,7	Aval du secteur à l'étude à l'aval de la rivière Nelson (secteur rouge)
Amont de la rivière Nelson	276	46,3	62,8	71,4	Amont de la rivière Nelson à l'aval de la rivière Jaune (secteur orange)
Amont de la rivière Jaune	170	28,5	38,7	43,9	Amont de la rivière Jaune au barrage Cyrille-Delage (secteur vert)

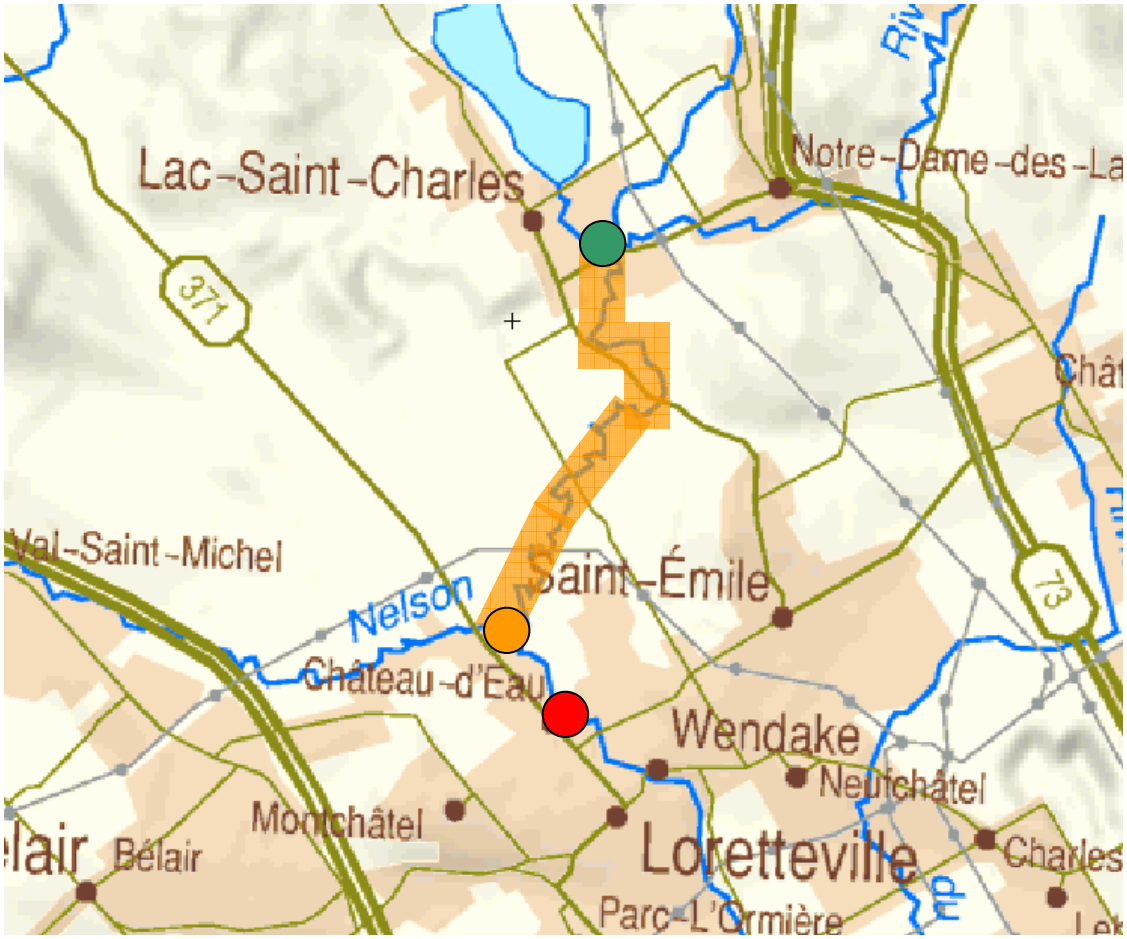


Figure 4 : Transposition des débits à différents endroits du secteur étudié

3.3.3 Facteur de pointe

Jusqu'à maintenant, les débits maximums annuels considérés sont évalués à partir de moyennes journalières. Ces débits doivent 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 maximales annuelles dont le débit maximum instantané est disponible afin d'évaluer un facteur de pointe moyen à la station. L'équation suivante est utilisée :

$$FP = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{Q_{inst.}}{Q_{moy.}}}{n} \right] \qquad (2)$$

où

$Q_{inst.}$ = débit de crue ($m^3\ s^{-1}$) instantané enregistré à la station 050904
$Q_{moy.}$= débit de crue ($m^3\ s^{-1}$) moyen enregistré à la station 050904
n = nombre de crues printanières dont le débit maximum instantané est disponible
i = crue donnée

Tel qu'il est présenté au tableau 6, le facteur de pointe a été fixé à 1.05 à l'aide de l'équation 2 et de 31 données recueillies entre 1969 et 2010.

Tableau 6 : Calcul du facteur de pointe - Station 050904 de la rivière Saint-Charles

Année	Débit de crue moyen ($m^3 s^{-1}$)	Débit de crue instantané ($m^3 s^{-1}$)	Facteur de pointe	Date (mois-jour)
1968	73,1	83,3	1,14	04-27
1969	71,6	74,2	1,04	05-10
1971	45,9	48,1	1,05	05-05
1979	74,9	79,1	1,06	04-29
1980	65,3	69,0	1,06	04-16
1982	54,6	55,8	1,02	04-28
1983	73,6	77,4	1,05	05-02
1984	56,8	62,4	1,10	04-18
1985	63,5	67,9	1,07	04-28
1986	62,2	69,3	1,11	04-01
1987	93,5	104,0	1,11	04-01
1989	82,0	85,2	1,04	05-07
1990	65,6	69,1	1,05	04-28
1991	59,7	60,6	1,02	04-11
1992	59,7	62,4	1,05	04-24
1993	61,0	66,3	1,09	04-18
1994	65,1	66,3	1,02	04-17
1995	48,2	49,4	1,02	04-23
1998	62,0	67,4	1,09	04-19
1999	36,9	37,5	1,02	04-22
2000	43,5	45,1	1,04	04-10
2001	46,0	48,7	1,06	04-25
2002	68,2	70,5	1,03	04-18
2003	39,4	40,5	1,03	04-28
2004	55,9	62,7	1,12	04-21
2005	63,6	65,2	1,02	04-29
2006	55,9	56,9	1,02	04-16
2007	63,0	67,1	1,06	04-25
2008	80,0	82,1	1,03	04-30
2009	52,9	54,9	1,04	04-07
2010	31,4	32,3	1,03	04-05
Moyenne			**1,05**	

3.3.4 Débits de crues instantanées de récurrence de 20 ans et de 100 ans

Les débits de crues de 20 ans et de 100 ans sont présentés au tableau 7. Les débits de récurrence de 20 ans et de 100 ans correspondent à des valeurs instantanées puisqu'ils ont été majorés par le facteur de pointe évalué à la section 3.3.3. Le débit de récurrence de 2 ans n'est toutefois pas multiplié par ce facteur, car il s'agit de déterminer un débit moyen de récurrence de 2 ans dont les résultats devraient se rapprocher de ceux d'une ligne des hautes eaux. Celle-ci se localiserait, en milieu naturel, à l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres.

Tableau 7 : Débits de crues instantanées de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles – Tronçon 5

Localisation des endroits de calcul des débits	Aire BV (km^2)	Débits de crues instantanées ($m^3 s^{-1}$)			Débits utilisés de…
		2 ans*	20 ans	100 ans	
Station 050904	364	61,0	86,9	98,8	
Aval du secteur à l'étude	347	58,2	82,8	94,2	Aval du secteur à l'étude à l'aval de la rivière Nelson (secteur rouge)
Amont de la rivière Nelson	276	46,3	65,9	75,0	Amont de la rivière Nelson à l'aval de la rivière Jaune (secteur orange)
Amont de la rivière Jaune	170	28,5	40,6	46,1	Amont de la rivière Jaune au barrage Cyrille-Delage (secteur vert)

**Débit non majoré par le facteur de pointe.*

4 Étude hydraulique

4.1 Objectif

Afin d'établir les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans nécessaires à la détermination des zones inondables de la rivière Saint-Charles dans sa partie amont, une étude hydraulique est réalisée. Cette étude permet aussi d'estimer les cotes de crues pour une récurrence de 2 ans, et ce, à titre de complément d'informations. 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 correspondant 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 (2010).

Une troisième méthode consiste à recourir à la modélisation hydrodynamique du secteur concerné à l'aide de modèles à deux dimensions. Parmi les logiciels utilisés au CEHQ, on trouve les logiciels Modeleur (Secretan, 2000) et Hydrosim (Heniche, 1999) mis au point par le Centre Eau, Terre et Environnement de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE), 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 St-Venant).

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

4.3 Cas de la rivière Saint-Charles (tronçon 5)

La simulation des niveaux d'eau à l'aide des logiciels Modeleur et Hydrosim est la méthode préconisée pour le secteur de la rivière Saint-Charles compris entre le barrage Cyrille-Delage et la prise d'eau de la Ville de Québec (secteur Château-d'Eau). Dans un premier temps, un modèle numérique de terrain (MNT) représentant le secteur à l'étude est construit. Ce MNT 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 déterminés au chapitre 3 sont simulés afin d'obtenir les cotes de crues correspondantes.

4.3.1 Données d'entrée du modèle hydrodynamique

4.3.1.1 Modèle numérique de terrain

Afin de représenter adéquatement le secteur de la rivière Saint-Charles à l'étude, un modèle numérique de terrain est réalisé. Ce MNT permettra l'utilisation du modèle hydrodynamique nécessaire à l'analyse du comportement de la rivière. La bathymétrie du secteur provient de relevés effectués par les techniciens du CEHQ à l'été et à l'automne 2009. La portion terrestre utilisée pour cette étude provient d'un modèle numérique d'altitude captée par méthode photogrammétrique, réalisé 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 permis la réalisation d'un modèle numérique de terrain représentant fidèlement le secteur en amont de la rivière Saint-Charles 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 Sites d'observations de niveaux d'eau et sites de calcul de niveaux d'eau

Afin de caler adéquatement le modèle hydrodynamique, il est essentiel de comparer les résultats des diverses simulations aux données relatives à des événements réels. Pour effectuer cette comparaison, le recours à des sites d'observation des niveaux d'eau est essentiel. C'est à ces sites que des mesures sur le terrain sont effectuées et servent ensuite lors du calage du modèle.

Le logiciel permet de connaître les niveaux d'eau en tous points du modèle. Pour les besoins de cette étude, 112 sites de calcul de niveaux d'eau ont été utilisés. Les distances entre ces sites ont été évaluées à partir du modèle numérique de terrain. Ils sont présentés au tableau 8. De plus, les figures 5 et 7 présentent la localisation de ces sites sur un plan à l'échelle de 1 : 5 000.

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 afin 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 Saint-Charles sont majoritairement boisées. Toutefois, certains secteurs situés dans des zones urbanisées ont des berges et une plaine inondable gazonnées ou couvertes de broussailles. Le lit de la rivière est constitué de différents matériaux allant du sable aux grosses pierres. Les coefficients de Manning correspondant au lit, aux berges et à la plaine inondable de la rivière varient de 0.012 à 0.1.

Tableau 8 : Distance entre les sites de calcul - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)

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	0		Seuil (Prise d'eau de la Ville de Québec)
2	140	140		
3	71	211		
4	179	390		
5	110	500		
6	148	648		
7	101	749	2	Rue des Aulnaies
8	46	795		
9	122	917		
10	83	1 000	3	Rue Joanne-Laliberté
11	64	1 064		
12	190	1 254		
13	188	1 442	4	Rue de la rivière Nelson
14	60	1 502		
15	191	1 693		
16	103	1 796		
17	196	1 992		
18	65	2 057		
19	141	2 198		
20	203	2 401		
21	87	2 488		
22	26	2 514		
23	76	2 590		
24	144	2734		
25	32	2 766		
26	180	2 946		
27	163	3 109		
28	72	3 181		
29	42	3 223		
30	157	3 380		
31	87	3 467		
32	71	3 538		
33	56	3 594		
34	103	3 697		
35	75	3 772		
36	56	3 828		
37	77	3 905		
38	54	3 959		
39	91	4 050		
40	59	4 109	5a	Aval du pont de la colline
41	17	4 126	5b	Amont du pont de la colline
42	117	4 243		
43	64	4 307		

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation	
des niveaux d'eau		**Commentaires**		
44	100	4 407		
45	97	4 504		
46	44	4 548		
47	87	4 635		
48	202	4 837		
49	38	4 875		
50	148	5 023		
51	47	5 070		
52	105	5 175		
53	155	5 330		
54	159	5 489		
55	89	5 578		
56	316	5 894		
57	267	6 161		
58	104	6 265		
59	89	6 354	6	Rue Rae
60	51	6 405		
61	211	6 616		
62	57	6 673	7a	Aval du pont Lapierre
63	15	6 688	7b	Amont du pont Lapierre
64	60	6 748		
65	136	6 884		
66	219	7 103	8	Rue Marie-Didace
67	203	7 306		
68	36	7 342		
69	204*	7 546	9	Rue Survenant
70	298	7 844		
71	150	7 994		
72	83	8 077		
73	59	8 136		
74	99*	8 235	10	1152 Lapierre
75	50	8 285		
76	60	8 345		
77	47	8 392		
78	73	8 465		
79	105	8 570		
80	132	8 702		
81	127	8 829		
82	139	8 968		
83	41	9 009		

Site de calcul des niveaux d'eau	Distance entre les sections (m)	Distance cumulée (m)	Site d'observation des niveaux d'eau	Commentaires
84	93	9 102		
85	138	9 240		
86	64	9 304		
87	78*	9 382	11	Rue Clair-Soleil
88	29	9 411		
89	310	9 721		
90	98	9 819		
91	176	9 995	12a	Aval du pont Jacques-Bédard
92	12	10 007	12b	Amont du pont Jacques-Bédard
93	78	10 085		
94	116	10 201		
95	153	10 354		
96	36	10 390		
97	31	10 421		
98	37	10 458		
99	94	10 552		
100	51	10 603		
101	71	10 674		
102	49*	10 723	13	Rue Thibaudeau
103	31	10 754		
104	80	10 834		
105	102	10 936		
106	116	11 052		
107	144	11 196		
108	124	11 320		
109	90	11 410		
110	87	11 497	14a	Aval du pont Delage
111	12	11 509	14b	Amont du pont Delage
112	32	11 541		

* *Distance interpolée à partir des points amont et aval*

4.3.1.4 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. Les niveaux d'eau ont été relevés aux sites d'observation de niveaux d'eau. Dans le cadre de cette étude, cinq campagnes de mesures de niveaux d'eau et de débits ont été réalisées : deux au printemps 2007 et trois au printemps 2008. Un résumé de ces campagnes de mesures réalisées dans le secteur à l'étude est présenté au tableau 9.

Tableau 9 : Résumé des relevés hydrométriques - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)

Site	Description	Niveau d'eau (m)				
		2007-04-25	2007-04-26	2008-04-25	2008-04-29	2008-04-30
2	Rue des Aulnaies	148,80	148,57	148,93	149,03	149,14
3	Rue Joanne-Laliberté	148,89	148,62	149,04	149,19	149,29
5	Rue de la rivière Nelson	148,99	148,70	149,15	149,33	149,45
5a	Aval du pont de la colline	149,47	149,19	149,62	149,69	149,73
5b	Amont du pont de la colline	149,48	149,22	149,61	149,67	149,77
6	Rue Rae	149,83	149,60	149,91	149,96	150,06
7a	Aval du pont Lapierre	149,88	149,64	150,02	150,05	150,15
7b	Amont du pont Lapierre	149,90	149,68	150,04	150,10	150,19
8	Rue Marie-Didace	150,01	149,75	150,13	150,19	150,31
9	Rue Survenant	150,20	149,92	150,36	150,40	150,56
10	1152 Lapierre	150,37	150,08	150,58	150,64	150,73
11	Rue Clair-Soleil	150,59	150,27	150,81	150,90	150,98
12a	Aval du pont Jacques-Bédard	150,70	150,42	150,89	150,96*	151,02
12b	Amont du pont Jacques-Bédard	150,79	150,47	150,98	151,10	151,17
13	Rue Thibaudeau	150,91	150,57	150,18	151,27	151,43
14a	Aval du pont Delage	150,97	150,57	151,23*	151,27	151,44
14b	Amont du pont Delage	151,00	150,63	151,26	151,32	151,48
Débit jaugé						
Rivière Saint-Charles *(pont Delage)* (m^3/s)		30,0	25,4	39,9	33,6	44,0
Rivière Jaune *(Pont Jacques-Bédard)* (m^3/s)		10,5*	9,0*	14,1	14,5*	19,1

* Données manquantes. Les valeurs mentionnées sont des estimations

4.3.2 Calage du modèle hydrodynamique

En simulant les débits issus de ces 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. Tel que mentionné précédemment, les coefficients de rugosité de Manning sont l'un des principaux paramètres permettant de caler le modèle. Pour la présente étude, quatre des cinq campagnes de mesures ont été retenues pour le calage. Puisque le modèle tente de reproduire des événements de crues, les quatre campagnes choisies sont celles avec les débits les plus élevés.

4.3.2.1 Événement de 2007 (25 avril)

Les résultats présentés au tableau 10 permettent de comparer les niveaux d'eau observés à ceux obtenus lors des simulations. 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 10 : Calage - Rivière Saint-Charles (tronçon 5) - Campagne du 25 avril 2007

Site	Niveau simulé (m)	Niveau observé (m)	Écart (cm)	Site	Niveau simulé (m)	Niveau observé (m)	Écart (cm)
2	148,75	148,80	-5	9	150,11	150,20	-9
3	148,86	148,89	-3	10	150,28	150,37	-9
4	148,96	148,99	-3	11	150,52	150,59	-7
5a	149,44	149,47	-3	12a	150,63	150,70	-7
5b	149,48	149,48	0	12b	150,66	150,79	-13
6	149,77	149,83	-6	13	150,85	150,91	-6
7a	149,89	149,88	1	14a	150,93	150,97	-4
7b	149,91	149,90	1	14b	150,95	151.00	-5
8	150,02	149,99	3				

Pour la campagne du 25 avril 2007, les écarts entre les niveaux d'eau simulés et mesurés sont en grande majorité égaux ou inférieurs à ± 10 cm. Le calage du modèle pour cet événement est donc satisfaisant.

4.3.2.2 Événement de 2008 (25, 29 et 30 avril)

Pour l'événement de 2008, le modèle semble avoir tendance à sous-estimer les niveaux d'eau dans la partie amont du secteur à l'étude, et ce, de façon similaire pour les trois campagnes de mesures. Il est cependant difficile de bien représenter les débits qui s'écoulaient dans la rivière Saint-Charles lors des campagnes de mesures de 2008 puisque deux tributaires d'importance, les rivières Jaune et Nelson, ont contribué à grossir les débits de la rivière Saint-Charles. En 2008, la Ville de Québec avait d'ailleurs mandaté le CEHQ afin de caractériser la crue du 30 avril 2008 (Francoeur, 2008). Dans son analyse, le CEHQ avait constaté que le débit instantané de la rivière Saint-Charles en amont de la rivière Jaune était, toute proportion gardée, plus grand que le débit enregistré à la station hydrométrique 050904 situé plus en aval.

Le calage du modèle a cependant pu être ajusté et validé à l'aide de photographies aériennes du secteur prises à la demande de la Ville de Québec lors de la journée du 30 avril 2008. Les limites de la zone inondée simulées par le modèle sont similaires à la réalité observée le 30 avril. De ce fait, le calage du modèle pour cet événement très significatif est jugé satisfaisant.

4.3.2.3 Calage global du modèle

Considérant le fait que le modèle reproduit à ± 10 cm les niveaux d'eau de l'événement de 2007 et que la zone inondée par l'événement de 2008 concorde bien avec celle produite par le modèle, nous concluons 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.

4.3.3 Conditions limites utilisées dans le modèle pour les simulations de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans

Pour le calcul des cotes de crues, il faut fournir au modèle hydrodynamique les conditions de niveau d'eau à sa limite aval. Pour obtenir des résultats fiables dès l'amont du seuil, la modélisation doit débuter à l'aval de ce dernier. La limite aval du modèle se situe donc en « bas » du seuil qui agit comme une section de contrôle. Les conditions limites ont été évaluées de façon à ce que les niveaux d'eau soient plus bas que la crête du seuil. Ces niveaux ont été par la suite validés à l'aide d'une relation niveau-débit en aval du seuil de Château-d'Eau extraite du rapport de Boucher et Hébert (1990).

Le modèle requiert également des débits d'entrée à l'amont du secteur à l'étude ainsi qu'à différents endroits le long du secteur à l'étude. Ces débits ont été calculés au chapitre 3 et le tableau 10 les présente.

4.4 Cotes de crues associées aux crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans

Les résultats obtenus à la suite de la simulation des débits associés aux crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans pour la rivière Saint-Charles (tronçon 5) sont présentés au tableau 11. Les profils des plans d'eau apparaissent aux figures 6 et 8.

Tableau 11 : Cotes de crues associées aux crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans - Rivière Saint-Charles (tronçon 5)

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans		20 ans		100 ans	
	Niveau (m)	Débit (m^3/s)	Niveau (m)	Débit (m^3/s)	Niveau (m)	Débit (m^3/s)
De l'aval du secteur à l'étude à l'aval de la rivière Nelson						
1	148,55	58,2	148,74	82,8	148,81	94,2
2	148,58		148,79		148,88	
3	148,59		148,81		148,90	
4	148,65		148,89		148,99	
5	148,70		148,96		149,06	
6	148,75		149,03		149,14	
7	148,79		149,08		149,20	
8	148,80		149,09		149,21	
9	148,85		149,16		149,29	
10	148,89		149,21		149,34	
11	148,92		149,25		149,38	

Site de calcul des niveaux d'eau	2 ans		20 ans		100 ans	
	Niveau (m)	**Débit (m^3/s)**	**Niveau (m)**	**Débit (m^3/s)**	**Niveau (m)**	**Débit (m^3/s)**
De l'amont de la rivière Nelson à l'aval de la rivière Jaune						
12	148,97	46,3	149,32	65,9	149,47	75,0
13	149,01		149,37		149,52	
14	149,02		149,38		149,53	
15	149,06		149,41		149,56	
16	149,08		149,42		149,57	
17	149,11		149,44		149,59	
18	149,11		149,45		149,59	
19	149,14		149,46		149,60	
20	149,17		149,48		149,62	
21	149,18		149,49		149,63	
22	149,19		149,50		149,63	
23	149,20		149,50		149,64	
24	149,23		149,52		149,65	
25	149,23		149,52		149,65	
26	149,25		149,53		149,66	
27	149,30		149,56		149,68	
28	149,30		149,56		149,68	
29	149,30		149,56		149,68	
30	149,33		149,58		149,70	
31	149,34		149,59		149,70	
32	149,37		149,60		149,72	
33	149,37		149,61		149,72	
34	149,40		149,62		149,73	
35	149,40		149,63		149,74	
36	149,41		149,63		149,74	
37	149,42		149,64		149,75	
38	149,43		149,65		149,75	
39	149,45		149,68		149,79	
40	149,48		149,71		149,82	
41	149,49		149,73		149,84	
42	149,53		149,78		149,88	
43	149,54		149,78		149,89	
44	149,55		149,80		149,90	
45	149,56		149,81		149,91	
46	149,56		149,81		149,91	
47	149,57		149,81		149,91	
48	149,59		149,83		149,93	

49	149,59	149,83	149,93
50	149,61	149,84	149,94
51	149,61	149,85	149,95
52	149,63	149,86	149,96
53	149,64	149,87	149,96
54	149,64	149,87	149,96
55	149,66	149,88	149,98
Site de calcul des niveaux d'eau	**2 ans**	**20 ans**	**100 ans**
	Niveau (m) **Débit (m^3/s)**		
56	149,70	149,92	150,02
57	149,75	149,96	150,05
58	149,77	149,98	150,06
59	149,80	150,00	150,09
60	149,83	150,03	150,11
61	149,88	150,09	150,17
62	149,92	150,14	150,22
63	149,94	150,16	150,25
64	149,97	150,21	150,30
65	150,01	150,24	150,33
66	150,08	150,31	150,40
67	150,12	150,36	150,44
68	150,13	150,36	150,45
69	150,15	150,38	150,47
70	150,24	150,46	150,54
71	150,27	150,49	150,57
72	150,29	150,50	150,58
73	150,30	150,51	150,59
74	150,32	150,53	150,61
75	150,34	150,55	150,63
76	150,36	150,56	150,63
77	150.36	150,56	150,64
78	150,38	150,58	150,65
79	150,39	150,58	150,66
80	150,40	150,60	150,67
81	150,42	150,62	150,69
82	150,45	150,65	150,72
83	150,45	150,66	150,73
84	150,47	150,68	150,75
85	150,50	150,71	150,78
86	150,52	150,74	150,82

87	150,56	150,80	150,88
88	150,57	150,81	150,89
89	150,63	150,86	150,94
90	150,64	150,87	150,95
91	150,68	150,92	151,00
92	150,72	150,98	151,08
93	150,82	151,14	151,26
94	150,84	151,16	151,28

Site de calcul des niveaux d'eau	**2 ans**		**20 ans**		**100 ans**	
	Niveau (m)	**Débit (m^3/s)**	**Niveau (m)**	**Débit (m^3/s)**	**Niveau (m)**	**Débit (m^3/s)**
De l'amont de la rivière Jaune à l'aval du barrage Cyrille-Delage						
95	150.85	28,5	151,18	40,6	151,30	46,1
96	150,86		151,18		151,30	
97	150,86		151,18		151,31	
98	150,87		151,19		151,32	
99	150,88		151,21		151,33	
100	150,89		151,22		151,34	
101	150,90		151,22		151,35	
102	150,90		151,23		151,36	
103	150,91		151,24		151,37	
104	150,93		151,26		151,39	
105	150,95		151,29		151,41	
106	150,96		151,30		151,43	
107	150,96		151,30		151,43	
108	150,96		151,30		151,43	
109	150,97		151,31		151,43	
110	150,97		151,31		151,44	
111	150,99		151,33		151,46	
112	150,99		151,34		151,47	

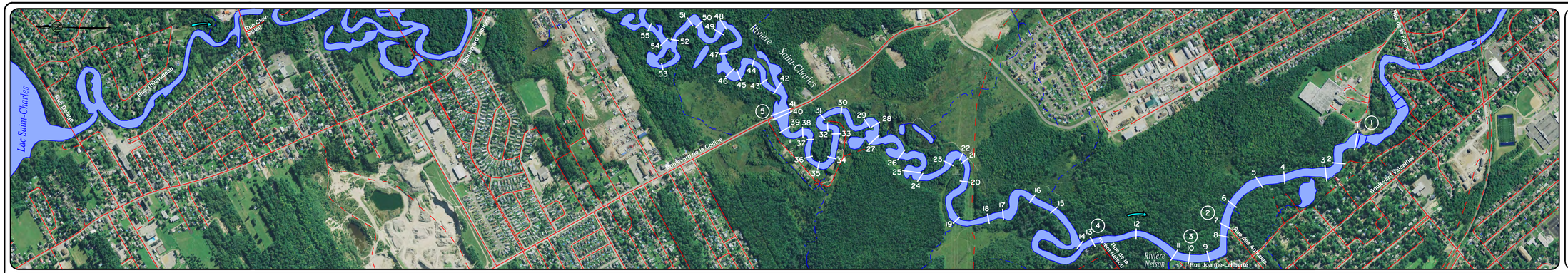


FIGURE 5

VUE EN PLAN DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES (Tronçon 5)
ET LOCALISATION DES SITES DE CALCUL DE NIVEAUX D'EAU
ET DES SITES D'OBSERVATION DE NIVEAUX D'EAU (Sites 1 à 55)

LÉGENDE :

- Route
- Site de calcul de niveaux d'eau
- Autre cours d'eau
- Sens de l'écoulement
- Rapides
- Site d'observation de niveaux d'eau

Échelle 1 : 5 000

50 0 50 100 m

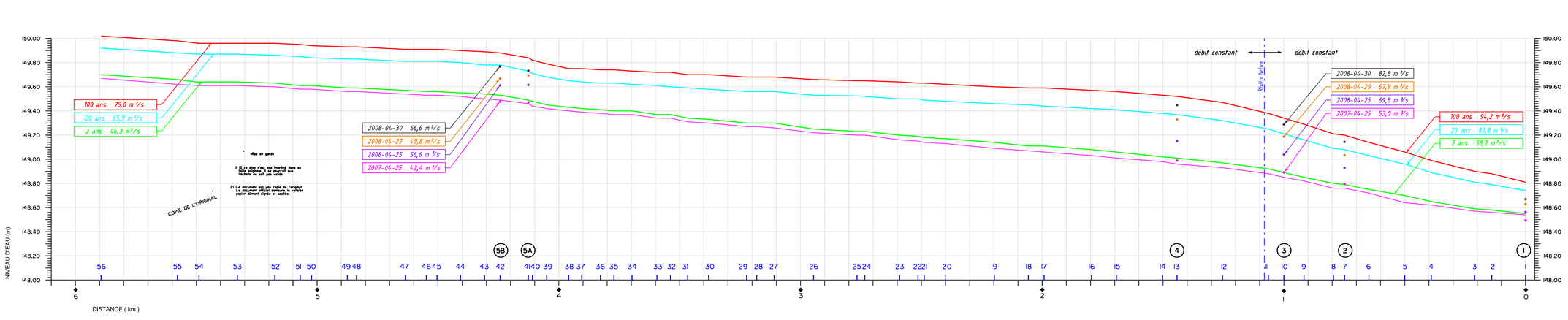


FIGURE 6

PROFIL DES PLANS D'EAU DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES
(Tronçon 5) (Site 1 à 55)

LÉGENDE :

- Profil du plan d'eau de récurrence de 100 ans
- Profil du plan d'eau de récurrence de 20 ans
- Profil du plan d'eau de récurrence de 2 ans
- Profil du plan d'eau du 2007-04-25
- Site de calcul de niveaux d'eau
- Observation du 2008-04-30
- Observation du 2008-04-29
- Observation du 2008-04-25
- Observation du 2007-04-25
- Site d'observation de niveaux d'eau
- Distance en kilomètres

ÉCHELLE HORIZONTALE : 1 : 10 000
ÉCHELLE VERTICALE : 1 : 20

Ingénieur responsable :
Audrey Lavoie, ingénieure jr.

Ingénieur superviseur :
Jean Francoeur, ingénieur M. Sc.

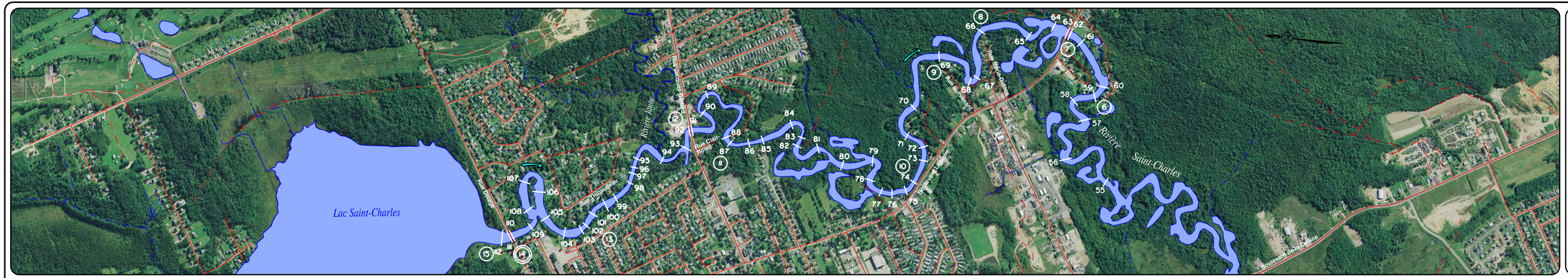
Références :
CEHQ : 4132-0509-05-8756
Ville de Québec : PPD2009608

Figures et mise en plan : Renée Lavergne
Technicienne en géomatique

Centre d'expertise hydrique Québec

RIVIÈRE SAINT-CHARLES (TRONÇON 5) (Site 1 à 55)
VILLE DE QUÉBEC

Direction de l'expertise hydrique
SEPTEMBRE 2011



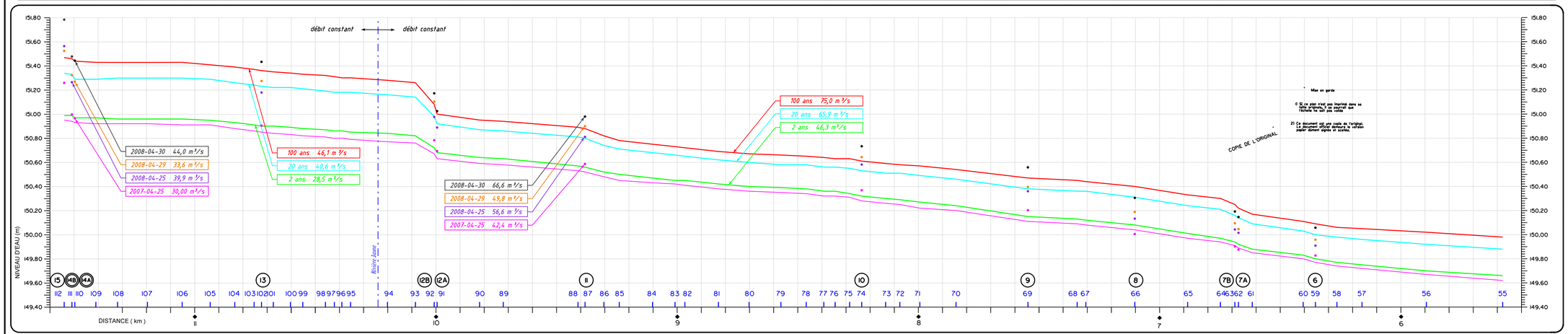


FIGURE 7

VUE EN PLAN DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES (Tronçon 5)
ET LOCALISATION DES SITES DE CALCUL DE NIVEAUX D'EAU
ET DES SITES D'OBSERVATION DE NIVEAUX D'EAU (Sites 56 à 112)

LÉGENDE :
- Route
- Site de calcul de niveaux d'eau
- Autre cours d'eau
- Sens de l'écoulement
- Site d'observation de niveaux d'eau
- Site d'observation de niveaux d'eau et de jaugeage

Échelle 1 : 5 000
50 0 50 100 m

FIGURE 8

PROFIL DES PLANS D'EAU DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES
(Tronçon 5) (Site 56 à 112)

LÉGENDE :
- Profil du plan d'eau de récurrence de 100 ans
- Profil du plan d'eau de récurrence de 20 ans
- Profil du plan d'eau de récurrence de 2 ans
- Profil du plan d'eau du 2007-04-25
- Site de calcul de niveaux d'eau
- Observation du 2008-04-30
- Observation du 2008-04-29
- Observation du 2008-04-25
- Observation du 2007-04-25
- Site d'observation de niveaux d'eau
- Site d'observation de niveaux d'eau et de jaugeage
- Distance en kilomètres

ÉCHELLE HORIZONTALE : 1 : 10 000
ÉCHELLE VERTICALE : 1 : 20

Mise en garde

1) Si ce plan n'est pas imprimé dans sa pleine grandeur, il pourrait être l'échelle ne soit pas réelle.

2) Ce document est une copie de l'original. Le document officiel demeure la version papier dûment signée et scellée.

Ingénieur responsable :
Audrey Lavoie, ingénieure jr.

Ingénieur superviseur :
Jean Francoeur, ingénieur M. Sc.

Références :
CEHQ : 4132-0509-05-8756
Ville de Québec : PPD2009608

Figures et mise en plan : Renée Lavergne
Technicienne en géomatique

Centre d'expertise hydrique
Québec

RIVIÈRE SAINT-CHARLES (TRONÇON 5) (Site 56 à 112)
VILLE DE QUÉBEC

Direction de l'expertise hydrique
SEPTEMBRE 2011

Profil St-Charles-Amont-TR5-Ptie2.dgn 2011-11-02 15:09:38

5 Conclusion

L'objectif de cette étude était de mettre à jour l'étude de 1990 menant à la détermination des cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans relatives à la rivière Saint-Charles pour le secteur compris entre l'aval du barrage Cyrille-Delage et l'amont du seuil de la prise d'eau de la Ville de Québec dans le secteur du Château-d'Eau, 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, une étude hydrologique basée sur des lois statistiques a été réalisée. La loi qui représentait le mieux les débits enregistrés à la station a été retenue. Les résultats de cette étude ont été présentés et ceux-ci ont été retenus pour déterminer les cotes de crues associées aux crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans.

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 crues de récurrence ont été simulés. Les cotes de crues correspondantes ont ainsi été déterminées.

6 Références citées

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).

FRANCOEUR, Jean (2008). *Caractérisation de la récurrence de crue du 30 avril 2008 en amont de la station hydrométrique 050904 – Rivière Saint-Charles, Ville de Québec*, rapport produit pour le compte de la Ville de Québec, CEHQ.

ROY, Y., Yves Secretan et coll. (1999), *Document modeleur* 1,0a06, guide d'utilisation de Modeleur/Hydrosim, rapport INRS-Eau R482-G2, p. 88.

HENICHE, Mourad., Yves Secretan et Michel Leclerc, (1999), *Document modeleur 1,0a06, guide d'utilisation de Modeleur/Hydrosim*, rapport INRS-Eau R482-G1, p. 212.

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 pendant une période continue.

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 d'eau pour un débit de crue donné.

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.

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 ».
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.

Annexe 1

Analyse statistique des débits maximums annuels enregistrés à la station 050904 – Rivière Saint-Charles à 0.8 km en amont de la rivière Lorette

1 Échantillon

1.1 Débits maximums journaliers considérés

Débit (m3 s-1)	Date	Probabilité empirique	Code	Débit (m^3 s^{-1})	Date	Probabilité empirique	Code
71,6	1969-05-10	0,7551		58,7	2003-11-21	0,3724	
55,8	1970-05-03	0,2704	E	55,9	2004-04-21	0,2959	
45,9	1971-05-05	0,0663		77,2	2005-09-27	0,9337	
53,8	1972-08-29	0,2194		55,9	2006-04-16	0,3214	
60,9	1973-04-24	0,4490	J	63,0	2007-04-25	0,5510	
74,2	1974-05-02	0,8571	E	80	2008-04-30	0.9384	P
46,2	1975-06-15	0,1173		52.9	2009-04-07	0.2275	P
69,7	1976-04-04	0,7296		47.2	2010-10-02	0.1327	P
72,5	1977-04-23	0,8061					
62,5	1978-05-11	0,5255					
74,9	1979-04-29	0,9082					
65,3	1980-04-16	0,6276					
65,5	1981-02-23	0,6531					
54,6	1982-04-28	0,2449					
73,6	1983-05-02	0,8316					
56,8	1984-04-18	0,3469					
63,5	1985-04-28	0,5765					
51,9	1986-04-22	0,1939					
93,5	1987-04-01	0,9847					
50,3	1988-04-18	0,1684	E				
82	1989-05-07	0,9592					
65,6	1990-04-29	0,6786					
59,7	1991-04-11	0,3980					
59,7	1992-04-24	0,4235					
61,0	1993-04-18	0,4745					
65,1	1994-04-18	0,6020					
48,2	1995-04-23	0,1429					
74,6	1996-04-22	0,8827	M				
71,8	1997-05-03	0,7806					
62,0	1998-04-19	0,5000					
43,3	1999-10-24	0,0153					
43,5	2000-04-10	0,0408					
46,0	2001-04-25	0,0918					
68,2	2002-04-18	0,7041					

E : Estimé
J : Jaugeage
M : Manque de données
P : Préliminaire

1.2 Statistiques de base sur l'échantillon

	Données actives	
Nombre d'observations	42	
Minimum	43,3	m s^{-1}
Maximum	93,5	m s^{-1}
Moyenne	62,0	m s^{-1}
Écart-type	11,6	m s^{-1}
Médiane	61.5	m s^{-1}
Coefficient de variation (Cv)	0,1864	
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,3910	
Coefficient d'aplatissement (Ck)	2,6679	

1.3 Tests statistiques

- **Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz)**

Hypothèses
H0 : Les observations sont indépendantes.
H1 : Les observations sont dépendantes (autocorrélation d'ordre 1).

Résultats
Valeur de la statistique |U| = 0,9786
p-value p = 0,3278

Conclusion
Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %.

- **Test de stationnarité (Kendall)**

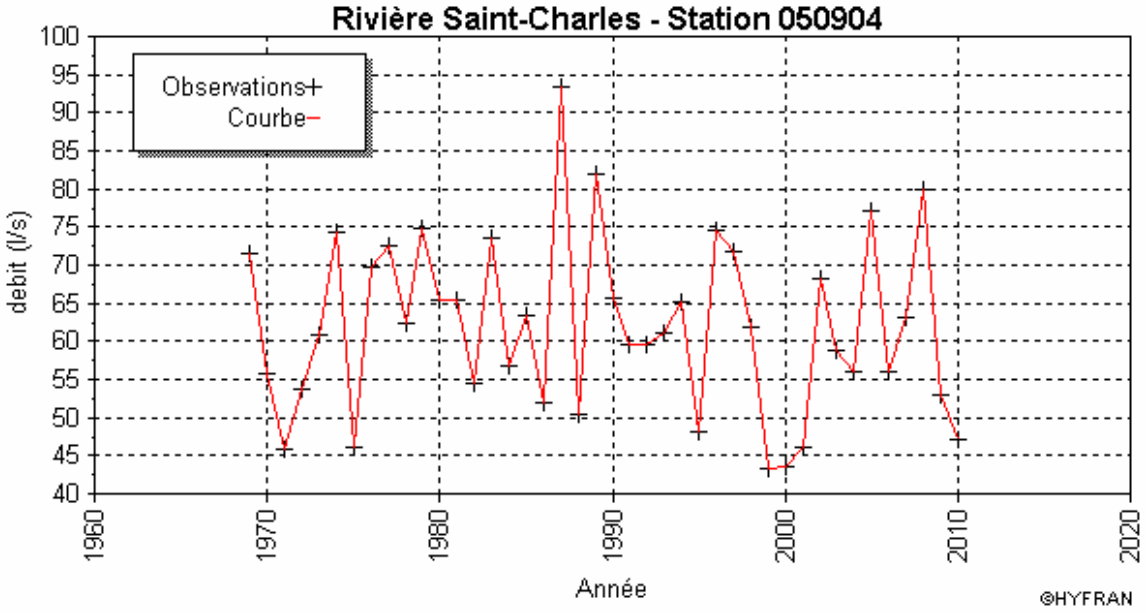
Hypothèses
H0 : Il n'y a aucune tendance dans les observations.
H1 : Il y a une tendance dans les observations.

Résultats
Valeur de la statistique |K| = 0,6502
p-value p = 0,5156

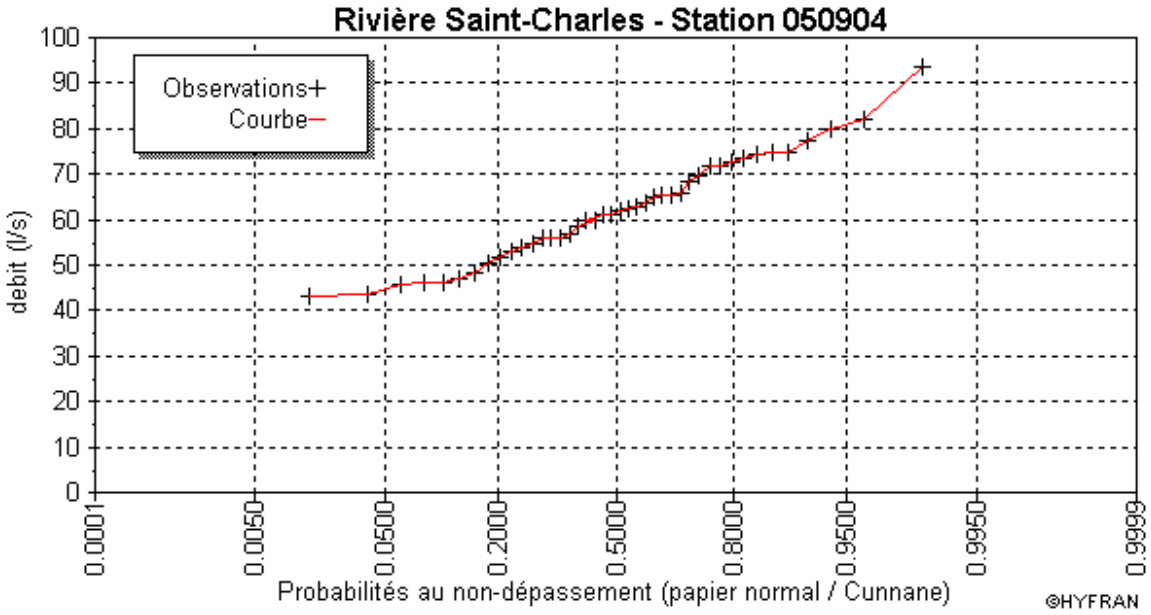
Conclusion
Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %.

1.4 Représentations graphiques de l'échantillon

Débits maximums annuels ($m^3 s^{-1}$) en fonction de la chronologie



Débits maximums annuels ($m^3 s^{-1}$) en fonction des probabilités au non-dépassement



2 Lois d'ajustement lognormale (MV)

- **Résultats de l'ajustement**

Nombre d'observations : 42

Paramètres

mu	4,1104
sigma	0,1863

Quantiles
q = F(X) (probabilité au non-dépassement)
T = 1/(1-q)

T	q	X	Écart-type	Intervalle de confiance (95 %)
10 000	0,9999	121,9	9,97	102,39 - 141,47
2000	0,9995	112,6	8,28	96,34 - 128,81
1000	0,999	108,5	7,57	93,61 - 123,29
200	0,995	98,5	5,94	86,89 - 110,19
100	0,99	94,1	5,25	83,77 - 104,36
50	0,98	89,4	4,57	80,45 - 98,37
20	0,95	82,9	3,68	75,63 - 90,06
10	0,9	77,4	3,02	71,50 - 83,34
5	0,8	71,3	2,39	66,63 - 76,02
3	0,6667	66,1	1,99	62,17 - 69,96
2	0,5	61,0	1,75	57,54 - 64,41
1,4286	0,3	55,3	1,70	51,97 - 58,63
1,2500	0,2	52,1	1,75	48,70 - 55,56
1,1111	0,1	48,0	1,87	44,35 - 51,69
1,0526	0,05	44,9	1,99	40,97 - 48,78
1,0204	0,02	41,6	2,13	37,42 - 45,75
1,0101	0,01	39,5	2,21	35,20 - 43,85
1,0050	0,005	37,7	2,28	33,27 - 42,19
1,0010	0,001	34,3	2,39	29,59 - 38,97
1,0005	0,0005	33,0	2,43	28,26 - 37,79
1,0001	0,0001	30,5	2,49	25,61 - 35,38

- **Test d'adéquation (Shapiro-Wilk)**

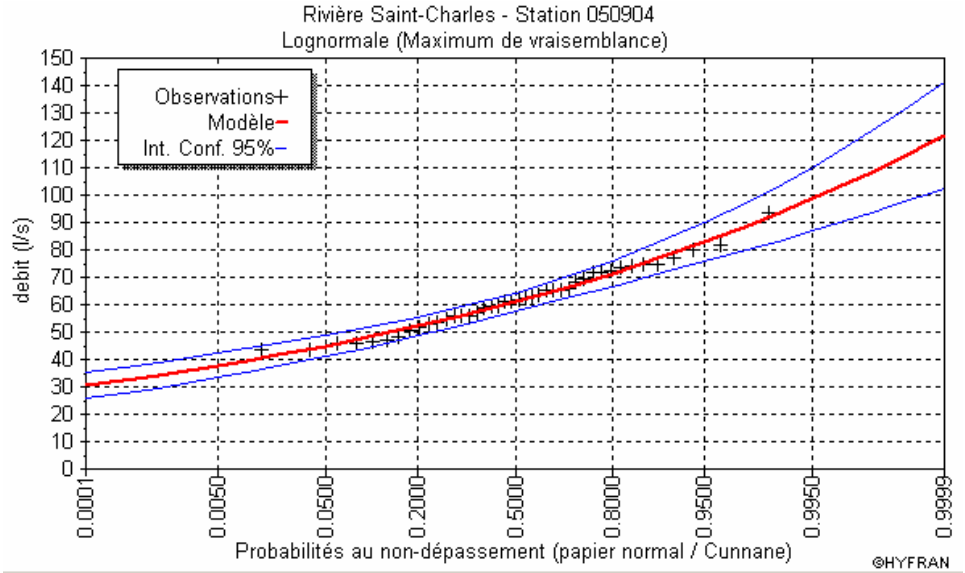
Hypothèses
H0 : L'échantillon provient d'une loi Lognormale
H1 : L'échantillon ne provient pas d'une loi Lognormale

Résultats

p-value : SW = 0,98
Valeur de la statistique : P = 0,9390

Conclusion
Nous pouvons accepter H0 au niveau de signification de 5 %.

- **Comparaison des caractéristiques de la loi et de l'échantillon**

	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum	0,0 m s^{-1}	43,3 m s^{-1}
Maximum	Aucun	93,5 m s^{-1}
Moyenne	62,0 m s^{-1}	62,0 m s^{-1}
Écart-type	11,7 m s^{-1}	11,6 m s^{-1}
Médiane	61.0 m s^{-1}	61,5 m s^{-1}
Coefficient de variation (Cv)	0,1880	0,1864
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,5705	0,3910
Coefficient d'aplatissement (Ck)	3,5843	2,6679

- **Graphique de l'ajustement**