

# ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

## RÉVISION DES COTES DE CRUES DU FLEUVE SAINT-LAURENT DE LA MRC DE D'AUTRAY

MRC DE D'AUTRAY

DÉCEMBRE 2017







# ÉTUDE HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE

## RÉVISION DES COTES DE CRUES DU FLEUVE SAINT-LAURENT POUR LA MRC DE D'AUTRAY

MRC DE D'AUTRAY

RAPPORT FINAL

PROJET N° : 171-14878-00  
DATE : 18 DÉCEMBRE 2017

WSP CANADA INC.  
1125, BOULEVARD LEBOURGNEUF  
QUÉBEC (QUÉBEC) G2K 0M5

TÉLÉPHONE : +1 418-623-2254  
TÉLÉCOPIEUR : +1 418-624-1857  
WSP.COM

PHOTO DE LA PAGE COUVERTURE : SOURCE : DUPUIS, 2017



---

# SIGNATURES

## PRÉPARÉ PAR

---

Pierre Dupuis, ing., M. Sc.  
N° OIQ : 39255

## RÉVISÉ PAR

---

François Groux, ing., Master Génie de l'eau  
et de l'environnement  
N° OIQ : 5037284

Le présent rapport a été préparé par WSP Canada Inc. (WSP) pour le compte de la MRC de D'Autray conformément à l'entente de services professionnels. La divulgation de tout renseignement faisant partie du présent rapport incombe uniquement au destinataire prévu. Son contenu reflète le meilleur jugement de WSP à la lumière des informations disponibles au moment de la préparation du rapport. Toute utilisation que pourrait en faire une tierce partie ou toute référence ou toutes décisions en découlant sont l'entière responsabilité de ladite tierce partie. WSP n'accepte aucune responsabilité quant aux dommages, s'il en était, que pourrait subir une tierce partie à la suite d'une décision ou d'un geste basé sur le présent rapport. Cet énoncé de limitation fait partie du présent rapport.

L'original du document technologique que nous vous transmettons a été authentifié et sera conservé par WSP pour une période minimale de dix ans.

ÉMISSION/RÉVISION	PRÉPARÉ POUR	DATE (YYYY-MM-DD)
Préliminaire	MRC de D'Autray	2017-12-04
Finale	MRC de D'Autray	2017-12-18



---

# ÉQUIPE DE RÉALISATION

## MRC DE D'AUTRAY

Directeur général                                      Bruno Tremblay

Directeur du service de  
l'aménagement du territoire                      Jean Hubert

## WSP CANADA INC. (WSP)

Spécialiste hydraulicien                            Pierre Dupuis, ing., M. Sc.

### Référence à citer :

---

WSP. 2017. *Étude hydrologique et hydraulique - Révision des cotes de crues du fleuve Saint-Laurent pour la MRC de D'Autray*. Rapport scientifique de WSP Canada Inc. à la MRC de D'Autray. 125 p. et annexes.





Laval, le 18 décembre 2017

Monsieur Bruno Tremblay  
Directeur général  
MRC de D'Autray  
550, rue Montcalm  
Berthierville (Québec) J0K 1A0

**Objet : Rapport scientifique pour la révision des cotes de crues du fleuve Saint-Laurent  
pour la MRC de D'Autray  
Réf. : 171-14878-00**

Monsieur,

Veuillez trouver, ci-joint, la version finale de l'étude scientifique traitant de l'hydrologie pour la révision des cotes de crues du fleuve Saint-Laurent pour la MRC de D'Autray.

Nous vous remercions pour la confiance témoignée envers nous pour la réalisation de ce mandat.

Veuillez agréer, Monsieur Tremblay, l'expression de mes salutations distinguées.



Pierre Dupuis, ing., M. Sc.  
Spécialiste hydraulicien

PD/pd/np  
Réf. WSP : 171-14878-00



---

## RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Ce rapport scientifique présente la démarche et les analyses qui permettent de procéder à une révision des cotes de crues du fleuve Saint-Laurent pour la MRC de D'Autray. Plusieurs aspects doivent être étudiés qui mènent au choix d'une période de temps jugée adéquate pour représenter les conditions hydrologiques actuelles et futures pour cette région. Voici pourquoi le rapport peut être scindé en deux parties distinctes; La première partie qui présente les notions et analyses globales qui sont requises pour établir les conditions hydrologiques menant à la détermination des cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans; La seconde partie présente les résultats des calculs (cotes du fleuve Saint-Laurent) le long des rives de la MRC de D'Autray.

La première partie débute par une description de la région à l'étude au chapitre 1. Elle est suivie, au chapitre 2, de notions et de définitions qui sont utiles pour bien différencier les différentes cotes de crues. Le chapitre 3 est dédié à l'hydrologie des bassins versants du fleuve Saint-Laurent qui sont situés en amont du lac Saint-Pierre. Le but visé est d'établir la période de mesures qui représente adéquatement les conditions actuelles et futures dans ce système hydrique qui est influencé par la gestion humaine. La période 1980-2017 est retenue pour établir les cotes de crues pour des récurrences de 2, de 20 et de 100 ans. Des résultats provenant d'un modèle numérique bidimensionnel développé par Environnement Canada sont présentés au chapitre 4 qui permettent d'établir le gradient hydraulique dans le secteur à l'étude. Plusieurs conditions d'écoulement ont été simulées, qui couvrent toute une gamme de conditions, de l'étiage sévère à une crue jamais vécue. Comme les cotes de crues varient spatialement, les résultats produits par ce modèle sont utilisés pour établir les cotes de crues le long des rives.

La seconde partie débute au chapitre cinq, dans lequel sont présentées les analyses portant sur les limnigrammes des stations de mesures. Certains événements particuliers sont analysés, qui illustrent certaines conditions exceptionnelles. Pour répondre au mandat, les cotes de la ligne de hautes eaux (LHE), de la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) ainsi que les cotes de crues de récurrence de 2, de 20 et de 100 ans sont établies aux stations de Varennes et de la courbe #2 du lac Saint-Pierre. La méthode permettant d'obtenir les cotes de crues le long des rives de la MRC est présentée au chapitre 6 et certains résultats sont présentés pour illustrer le propos. Les cotes sont calculées le long des rives à des points espacés de 200 m au maximum. Compte tenu de la quantité appréciable de résultats, ces derniers sont présentés à l'annexe J sous formes de figures et de tableaux.

Le chapitre 7 présente une méthode de projection des cotes de crues vers les rives, qui permettent d'apprécier les zones inondées pour différentes récurrence. Les figures obtenues sont présentées à titre informatif, les cartes officielles devant être produites par un arpenteur-géomètre dûment qualifié. Une discussion suit (chapitre 8) suivie des conclusions (chapitre 9).

Plusieurs annexes sont produites, qui viennent appuyer ce rapport en présentant des analyses plus approfondies.



# TABLE DES MATIÈRES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>1</b>
1.1	CONTEXTE.....	1
1.2	LA POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES, DU LITTORAL ET DES PLAINES INONDABLES.....	6
1.3	LES CARTES LES PLUS RÉCENTES.....	6
1.4	PROBLÉMATIQUE.....	6
1.5	OBJECTIFS DE L'ÉTUDE.....	7
1.6	INFORMATION COMPLÉMENTAIRE.....	7
1.7	APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE.....	8
<b>2</b>	<b>NOTIONS ET DÉFINITIONS.....</b>	<b>9</b>
2.1	LA LIGNE DES HAUTES EAUX.....	9
2.1.1	LES DIFFÉRENTES LIGNES DES HAUTES EAUX.....	9
2.1.2	RISQUES DE CONFUSION.....	11
2.2	LES LIGNES D'EAU ASSOCIÉES À UNE CRUE DE RÉCURRENCE DONNÉE.....	12
2.2.1	LES LIGNES DE RÉCURRENCE DE 20 ANS ET DE 100 ANS.....	12
2.2.2	LA LIGNE D'EAU DE RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	13
2.3	COTES DÉPASSÉES UNE ANNÉE SUR DEUX POUR CHAQUE JOUR JULIEN.....	13
2.4	SUR LA VARIATION DU NIVEAU D'EAU DU LAC SAINT-PIERRE.....	15
<b>3</b>	<b>ÉTABLISSEMENT DE LA PÉRIODE HISTORIQUE DE RÉFÉRENCE POUR L'ANALYSE DES NIVEAUX DU FLEUVE.....</b>	<b>17</b>
3.1	LE BASSIN DES GRANDS LACS.....	17
3.2	LES OUVRAGES RÉGULATEURS SUR LE BASSIN DES GRANDS LACS - DÉBIT DU FLEUVE SAINT-LAURENT À LA SORTIE DU LAC ONTARIO.....	18
3.3	VARIATION DES STOCKS EN EAU DU BASSIN DES GRANDS LACS.....	22

3.4	<b>MODÉLISATION DES APPORTS EN EAU EN AVAL DU BASSIN DES GRANDS LACS.....</b>	<b>23</b>
3.4.1	LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS.....	24
3.4.2	LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE L'ASSOMPTION.....	25
3.4.3	LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE RICHELIEU .....	25
3.4.4	LES DÉBITS DES RIVIÈRES YAMASKA, SAINT-FRANÇOIS ET NICOLET.....	26
3.5	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>DÉTERMINATION DU GRADIENT HYDRAULIQUE DANS LE SECTEUR D'ÉTUDE .....</b>	<b>29</b>
4.1	DOMAINE MODÉLISÉ .....	29
4.2	LA RÉGION DE SAINT-BARTHÉLEMY .....	33
4.3	CAS DE SIMULATIONS.....	34
4.4	<b>NIVEAUX D'EAU OBTENUS PAR MODÉLISATION .....</b>	<b>35</b>
4.4.1	SIMULATION 1. CONDITIONS DU 11 NOVEMBRE 2016, DÉBIT DE 8 626 M <sup>3</sup> /S .....	37
4.4.2	SIMULATION 2. CONDITIONS DU 18 NOVEMBRE 2016, DÉBIT DE 8 535 M <sup>3</sup> /S .....	38
4.4.3	SIMULATION 3. CRUE DE PRINTEMPS DE 14 500 M <sup>3</sup> /S - SCÉNARIO P6 .....	39
4.4.4	SIMULATION 4. CRUE DE PRINTEMPS DE 17 500 M <sup>3</sup> /S - SCÉNARIO P7.....	40
4.4.5	SIMULATION 5. CRUE DE PRINTEMPS DE 20 500 M <sup>3</sup> /S, SCÉNARIO P8 .....	41
4.5	<b>RÉSULTATS DE LA PROJECTION DE POINTS D'INTÉRÊT SUR LES RÉSULTATS OBTENUS PAR MODÉLISATION .....</b>	<b>42</b>
4.6	DISCUSSION .....	45
<b>5</b>	<b>ÉTABLISSEMENT DES COTES DE CRUE AUX STATIONS.....</b>	<b>47</b>
5.1	<b>NIVEAUX D'EAU DU FLEUVE DANS LE TRONÇON VARENNES/TROIS-RIVIÈRES .....</b>	<b>47</b>
5.1.1	VARIATION DU NIVEAU DU LAC SAINT-PIERRE À LA STATION DE LA COURBE #2.....	48
5.1.2	ÉPISODES DE HAUTS NIVEAUX AU LAC SAINT-PIERRE .....	49

5.1.3	LES NIVEAUX D'EAU EXCEPTIONNELS DE 1981 ET 1998.....	50
5.1.4	LA CRUE DE 1983.....	51
5.1.5	LA CRUE DE 2008.....	51
5.1.6	LA CRUE DE 2017.....	52
5.1.7	LES EFFETS DE LA CRUE DU RICHELIEU DE 2011.....	53
5.1.8	EFFETS DE LA TEMPÊTE TROPICALE IRÈNE À LA FIN AOÛT 2011.....	55
5.1.9	LES EFFETS DE LA MARÉE AU LAC SAINT-PIERRE ....	56
<b>5.2</b>	<b>COTE DE LA LIGNE DES HAUTES EAUX À VARENNES ET À LA COURBE #2.....</b>	<b>56</b>
<b>5.3</b>	<b>COTE DE LA LIGNE NATURELLE DES HAUTES EAUX .....</b>	<b>59</b>
5.3.1	RELEVÉS RÉALISÉS SELON LA MÉTHODE BOTANIQUE EXPERTE .....	59
5.3.2	VISITE TERRAIN EFFECTUÉE LE 18 NOVEMBRE 2016.....	61
5.3.3	NIVEAUX D'EAU AUX STATIONS BOTANQUES DU SECTEUR OUEST.....	61
5.3.4	LES STATIONS BOTANQUES DU SECTEUR EST .....	62
5.3.5	DIFFÉRENCE DE NIVEAU D'EAU ENTRE SAINT-BARTHÉLEMY ET LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE .....	62
5.3.6	DISCUSSION .....	62
<b>5.4</b>	<b>COTES DE CRUES POUR LE LAC SAINT-PIERRE.....</b>	<b>63</b>
5.4.1	COMPLEMENT DU SIGNAL AVEC CELUI DE LA STATION DE SOREL.....	64
5.4.2	FONCTION DE TRANSFERT .....	66
5.4.3	COMPLEMENT DE LA SÉRIE DE NIVEAUX D'EAU À LA COURBE #2.....	68
5.4.4	ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX MAXIMA ANNUELS À LA COURBE #2 .....	68
5.4.5	COTES DE CRUES À LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE .....	71
<b>5.5</b>	<b>COTES DE CRUES À VARENNES .....</b>	<b>71</b>
5.5.1	ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX MAXIMA ANNUELS VARENNES.....	72
<b>5.6</b>	<b>SYNTHÈSE .....</b>	<b>74</b>

<b>6</b>	<b>COTES DE CRUES DU FLEUVE SAINT-LAURENT LE LONG DES RIVES DU FLEUVE .....</b>	<b>75</b>
6.1	DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EAU DE RÉCURRENCE DE 2, DE 20 ET DE 100 ANS .....	80
6.2	COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	81
6.3	COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	83
6.4	COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	85
<b>7</b>	<b>ÉVALUATION DES ZONES INONDÉES DE LA MRC DE D'AUTRAY .....</b>	<b>87</b>
7.1	MÉTHODE DE PROJECTION DES COTES DE CRUES EN RIVE.....	87
7.1.1	CRÉATION DES ENSEMBLES DE QUADANGLES .....	88
7.1.2	CALCUL DE LA LAME D'EAU OU PROFONDEUR D'EAU.....	90
7.2	ZONES INONDÉES LORS D'UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS .....	92
7.3	ZONES INONDÉES LORS D'UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS .....	98
7.4	ZONES INONDÉES LORS D'UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS .....	104
<b>8</b>	<b>DISCUSSION .....</b>	<b>111</b>
8.1	DISCUSSION SUR LES DIFFÉRENTES COTES OBTENUES AU LAC SAINT-PIERRE .....	111
8.2	DISCUSSION SUR LA VALIDITÉ DES COTES PUBLIÉES EN 1990 .....	112
8.3	DISCUSSION SUR LA PRÉCISION DES RELEVÉS LIDAR .....	114
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>117</b>
<b>10</b>	<b>DOCUMENTS ET RÉFÉRENCES .....</b>	<b>119</b>



## TABLEAUX

TABLEAU 4-1	COTES TIRÉES DES CAS SIMULÉS OBTENUS D'ENVIRONNEMENT CANADA .....	35
TABLEAU 4-2	COTE DE LA SURFACE DE L'EAU (M) À CERTAINS POINTS SÉLECTIONNÉS DU PARCOURS AUTRAY-01.....	44
TABLEAU 5-1	STATIONS LIMNIMÉTRIQUES ANALYSÉES .....	48
TABLEAU 5-2	COUPLES DE POINTS D'ÉLEVATION RETENUS POUR CRÉER LA FONCTION DE TRANSFERT.....	66
TABLEAU 5-3	RÉSULTATS OBTENUS SUITE AUX ANALYSES STATISTIQUES POUR LA COURBE #2 .....	70
TABLEAU 5-4	RÉSULTATS OBTENUS SUITE AUX ANALYSES STATISTIQUES POUR VARENNES.....	74
TABLEAU 5-5	RÉSULTATS OBTENUS SUITE AUX ANALYSES STATISTIQUES .....	74
TABLEAU 6-1	COTES DE CRUES DE RÉCURRENCES DE 2, DE 20 ET DE 100 ANS À CERTAINS POINTS DU PARCOURS AUTRAY-01 ÉTABLIES AVEC LA STATION DE LA COURBE #2 (NOTE : À NE PAS UTILISER CAR IL S'AGIT D'UN RÉSULTAT INTERMÉDIAIRE) .....	79
TABLEAU 6-2	COTES DE CRUES DE RÉCURRENCES DE 2, DE 20 ET DE 100 ANS À CERTAINS POINTS DU PARCOURS AUTRAY-01 ÉTABLIES AVEC LA STATION DE VARENNES (NOTE : À NE PAS UTILISER CAR IL S'AGIT D'UN RÉSULTAT INTERMÉDIAIRE) .....	79
TABLEAU 6-3	COTES DE CRUES DE RÉCURRENCES DE 2, DE 20 ET DE 100 ANS À CERTAINS POINTS DU	

	PARCOURS AUTRAY-01 OBTENUES SUITE À LA PONDÉRATION SPATIALE ENTRE LES STATIONS DE LA COURBE #2 ET DE VARENNES (VALEURS FINALES).....	80
TABLEAU 8-1	COTES ÉTABLIES À VARENNES ET POUR LE LAC SAINT-PIERRE À LA COURBE #2 .....	111
TABLEAU 8-2	STATIONS ET PÉRIODES RETENUES POUR ANALYSE PAR LE MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT EN 1990.....	112
TABLEAU 8-3	COTES RETENUES PAR LE GOUVERNEMENT DU QUÉBEC À VARENNES.....	113
TABLEAU 8-4	COTES ÉTABLIES PAR FAVRE ET AL À VARENNES .....	113
TABLEAU 8-5	COTES ÉTABLIES À LA STATION DE VARENNES DANS LE CADRE DE LA PRÉSENTE ÉTUDE .....	114

---

### *FIGURES*

FIGURE 1-1	LA ZONE D'ÉTUDE POUR LA MRC DE D'AUTRAY .....	1
FIGURE 1-2	COUVERTURE DE LA ZONE INONDABLE DE LA MRC DE D'AUTRAY .....	2
FIGURE 1-3	DÉCOUPAGE DU DOMAINE EN TUILE POUR LA CARTOGRAPHIE DES ZONES INONDABLES .....	3
FIGURE 1-4	CARTE 31103-020-1217 PRODUITE PAR LE MDDELCC .....	4
FIGURE 1-5	CARTE 31103-020-1315 PRODUITE PAR LE MDDELCC .....	4
FIGURE 1-6	ZONES IDENTIFIÉES COMME ÉTANT INONDABLES PAR LE MDDELCC (BLEU : 0-20 ANS, ORANGE : 20-100 ANS).....	5

FIGURE 2-1	VALEURS STATISTIQUES OBTENUES POUR CHAQUE JOUR JULIEN AU LAC SAINT-PIERRE .....	14
FIGURE 2-2	TOPOGRAPHIE DU FOND DU LAC SAINT-PIERRE .....	15
FIGURE 3-1	DÉLIMITATION DES SOUS-BASSINS DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT EN AMONT DE MONTRÉAL .....	17
FIGURE 3-2	PROFIL EN LONG DU RÉSEAU HYDROGRAPHIQUE DES GRANDS LACS.....	18
FIGURE 3-3	DÉBIT MOYEN JOURNALIER DU FLEUVE SAINT-LAURENT À MASSENA (NY) – CORNWALL (ONTARIO).....	19
FIGURE 3-4	EFFETS DE LA RÉGULARISATION SUR LES DÉBITS AU LAC SAINT- PIERRE ASSOCIÉS À DE FORTES RÉCURRENCES.....	20
FIGURE 3-5	ÉVOLUTION DES VOLUMES UTILES MINIMUM, MOYEN ET MAXIMUM POUR LES GRANDS LACS.....	22
FIGURE 3-6	SCHÉMA DÉCRIVANT LES APPORTS EN EAU DU FLEUVE SAINT-LAURENT EN AMONT DE TROIS-RIVIÈRES .....	23
FIGURE 3-7	DÉBIT DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS À CARILLON .....	24
FIGURE 3-8	HYDROGRAMME DES DÉBITS MOYENS JOURNALIERS POUR LA RIVIÈRE RICHELIEU AUX RAPIDES FRYERS.....	26
FIGURE 3-9	HYDROGRAMMES DES RIVIÈRES YAMASKA, SAINT-FRANÇOIS ET NICOLET POUR L'ANNÉE 2011 (POUR UNE PORTION DU BASSIN VERSANT TOTAL).....	27
FIGURE 4-1	LIMITE AMONT DU MODÈLE NUMÉRIQUE D'ENVIRONNEMENT CANADA À MONTRÉAL .....	30

FIGURE 4-2	LIMITE AVAL DU MODÈLE NUMÉRIQUE D'ENVIRONNEMENT CANADA SITUÉE À TROIS-RIVIÈRES.....	30
FIGURE 4-3	DOMAINE ENTIER COUVERT PAR LE MODÈLE HYDRODYNAMIQUE D'ENVIRONNEMENT CANADA .....	31
FIGURE 4-4	MAILLAGE DU DOMAINE À L'EXTRÉMITÉ AVAL DU MODÈLE .....	31
FIGURE 4-5	EXEMPLE DE VARIATION DU NIVEAU D'EAU DE LA SURFACE À L'EXTRÉMITÉ EST DU LAC SAINT- PIERRE .....	32
FIGURE 4-6	SAINT-BARTHÉLEMY ET LE CHENAL DU FLEUVE SAINT-LAURENT .....	33
FIGURE 4-7	LOCALISATION DES REVERSOIRS DANS LES ÎLES DE SOREL .....	34
FIGURE 4-8	LOCALISATION DES PARCOURS LE LONG DES RIVES POUR L'EXTRACTION DE LA COTE DE LA SURFACE DE L'EAU DANS LA RÉGION DES ÎLES DE SOREL .....	35
FIGURE 4-9	PARCOURS EN RIVE GAUCHE DU FLEUVE SAINT-LAURENT DANS LA RÉGION SUD DE LA MRC.....	36
FIGURE 4-10	ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU FLEUVE SAINT-LAURENT CALCULÉE POUR LES CONDITIONS DU 11 NOVEMBRE 2016 .....	37
FIGURE 4-11	ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU FLEUVE SAINT-LAURENT CALCULÉE POUR LES CONDITIONS DU 18 NOVEMBRE 2016 .....	38
FIGURE 4-12	ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU FLEUVE SAINT-LAURENT CALCULÉE POUR LE SCÉNARIO P6 .....	39
FIGURE 4-13	ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU FLEUVE SAINT-LAURENT CALCULÉE POUR LE SCÉNARIO P7 .....	40

FIGURE 4-14	ÉLÉVATION DE LA SURFACE DU FLEUVE SAINT-LAURENT CALCULÉE POUR LE SCÉNARIO P8 .....	41
FIGURE 4-15	COTE LE LONG DU PARCOURS AUTRAY-01. RÉGION DE SAINT-BARTHÉLEMY. SIMULATION 3.....	42
FIGURE 4-16	COTE LE LONG DU PARCOURS AUTRAY-01. RÉGION DE BERTHIERVILLE. SIMULATION 3 .....	43
FIGURE 4-17	COTE LE LONG DU PARCOURS AUTRAY-01. RÉGION DE LANORAIE. SIMULATION 3.....	43
FIGURE 4-18	COTE LE LONG DU PARCOURS AUTRAY-01. RÉGION DE LAVALTRIE. SIMULATION 3.....	44
FIGURE 5-1	LOCALISATION DES STATIONS LIMNIMÉTRIQUES LE LONG DU FLEUVE SAINT-LAURENT ENTRE VARENNES ET PORT SAINT-FRANÇOIS.....	47
FIGURE 5-2	NIVEAUX D'EAU MESURÉS À LA STATION DE LA COURBE #2 AU LAC SAINT-PIERRE DURANT LA PÉRIODE CONSIDÉRÉE SANS EFFET DE GLACE (AVRIL À DÉCEMBRE) .....	49
FIGURE 5-3	EXTRAIT D'UN ARTICLE CITANT DES CONDITIONS FRÉQUENTES D'EMBÂCLE AU LAC SAINT-PIERRE .....	49
FIGURE 5-4	NIVEAU D'EAU MAXIMUM SURVENU À LA FIN FÉVRIER 1981 À DIFFÉRENTES STATIONS .....	50
FIGURE 5-5	NIVEAU D'EAU MAXIMUM SURVENU AU DÉBUT AVRIL 1998 À DIFFÉRENTES STATIONS .....	50
FIGURE 5-6	LIMNIGRAMMES AUX STATIONS DE VARENNES, SOREL ET DE LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE EN 1983 .....	51

FIGURE 5-7	NIVEAU D'EAU MAXIMUM SURVENU EN AVRIL 2008 À DIFFÉRENTES STATIONS .....	52
FIGURE 5-8	LIMNIGRAMMES ENREGISTRÉS EN 1983 ET 2017 AU LAC SAINT-PIERRE.....	52
FIGURE 5-9	COTES DE CRUES ÉTABLIES À LA STATION DE LA COURBE #2.....	53
FIGURE 5-10	VARIATION DU NIVEAU D'EAU DU LAC CHAMPLAIN EN 2011 .....	54
FIGURE 5-11	NIVEAU D'EAU MAXIMUM SURVENU AU DÉBUT MAI 2011 À DIFFÉRENTES STATIONS .....	54
FIGURE 5-12	SURÉLÉVATIONS DU LAC SAINT-PIERRE ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT DURANT LA CRUE EXCEPTIONNELLE DU PRINTEMPS 2011 .....	55
FIGURE 5-13	SURÉLÉVATIONS DU LAC SAINT-PIERRE ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT SUITE AU PASSAGE DE LA DÉPRESSION TROPICALE IRÈNE À LA FIN AOÛT 2011.....	55
FIGURE 5-14	VARIATION DU NIVEAU D'EAU PROVOQUÉ PAR LA MARÉE AU LAC SAINT-PIERRE .....	56
FIGURE 5-15	VARIATION DU NIVEAU D'EAU DU LAC SAINT-PIERRE DE 1980 À 2016 AU PAS DE TEMPS HORAIRE .....	57
FIGURE 5-16	VARIATION DU NIVEAU D'EAU À VARENNES DE 1980 À 2016 AU PAS DE TEMPS HORAIRE .....	57
FIGURE 5-17	EXTREMA ET NIVEAUX MOYENS ET MÉDIAN À VARENNES ET À LA STATION DE LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE POUR LA PÉRIODE 1980-2016 .....	58
FIGURE 5-18	LOCALISATION DES STATIONS DE MESURES ÉTABLIES POUR DÉTERMINER LA COTE DE LA LIGNE NATURELLE DES HAUTES EAUX .....	59

FIGURE 5-19	RAPPORT DE SIMULATION POUR LA DATE DU 11 NOVEMBRE 2016.....	60
FIGURE 5-20	RAPPORT DE SIMULATION POUR LA DATE DU 11 NOVEMBRE 2016.....	61
FIGURE 5-21	NIVEAU D'EAU DU LAC SAINT-PIERRE MESURÉ À LA COURBE #2 .....	64
FIGURE 5-22	NIVEAUX D'EAU MESURÉS À SOREL ET AU LAC SAINT-PIERRE DEPUIS 1980 .....	65
FIGURE 5-23	COMPARAISON DES MESURES DE NIVEAU D'EAU À SOREL ET À LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE POUR L'ANNÉE 2011 .....	65
FIGURE 5-24	FONCTION DE TRANSFERT ENTRE LE NIVEAU MESURÉ À SOREL ET CELUI MESURÉ À LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE .....	66
FIGURE 5-25	DIFFÉRENCE MARQUÉE OBSERVABLE EN PÉRIODE HIVERNALE EN 1993 .....	67
FIGURE 5-26	EXCELLENTS RÉSULTATS OBTENUS À HAUTS NIVEAUX AVEC LA FONCTION DE TRANSFERT.....	67
FIGURE 5-27	SIGNAL RECONSTITUÉ DU NIVEAU D'EAU À LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE POUR LA PÉRIODE 1980-2016 .....	68
FIGURE 5-28	VARIATION DU NIVEAU D'EAU DU LAC SAINT-PIERRE À LA COURBE #2 DU DÉBUT AVRIL À LA FIN DÉCEMBRE.....	69
FIGURE 5-29	AJUSTEMENT D'UNE LOI D'EXTRÊME DE TYPE LOG-PEARSON III AUX NIVEAUX D'EAU MAXIMA ANNUELS À LA COURBE #2.....	69
FIGURE 5-30	AJUSTEMENT D'UNE LOI D'EXTRÊME DE TYPE WEIBULL AUX NIVEAUX D'EAU MAXIMA ANNUELS À LA COURBE #2 .....	70

FIGURE 5-31	NIVEAUX D'EAU MESURÉS À LA STATION DE VARENNES.....	71
FIGURE 5-32	VARIATION DU NIVEAU D'EAU À VARENNES DU DÉBUT AVRIL À LA FIN DÉCEMBRE .....	72
FIGURE 5-33	AJUSTEMENT D'UNE LOI D'EXTRÊME DE TYPE LOG-PEARSON III AUX NIVEAUX D'EAU MAXIMA ANNUELS À VARENNES.....	73
FIGURE 5-34	AJUSTEMENT D'UNE LOI D'EXTRÊME DE TYPE WEIBULL AUX NIVEAUX D'EAU MAXIMA ANNUELS À VARENNES.....	73
FIGURE 6-1	LOCALISATION DES PARCOURS LE LONG DES RIVES POUR L'EXTRACTION DE LA COTE DE LA SURFACE DE L'EAU DANS LA RÉGION DE SAINT-BARTHÉLEMY.....	75
FIGURE 6-2	POINTS FORMANT UNE PARTIE DU PARCOURS AUTRAY-01 DESQUELS LA COTE DE LA SURFACE DE L'EAU EST EXTRAITE .....	76
FIGURE 6-3	AJUSTEMENT D'UNE FONCTION QUADRATIQUE AUX CINQ DOUBLETS TIRÉS DES SIMULATIONS NUMÉRIQUES D'ENVIRONNEMENT CANADA EN RETENANT LA STATION DE LA COURBE #2.....	77
FIGURE 6-4	AJUSTEMENT D'UNE FONCTION QUADRATIQUE AUX CINQ DOUBLETS TIRÉS DES SIMULATIONS NUMÉRIQUES D'ENVIRONNEMENT CANADA EN RETENANT LA STATION DE VARENNES.....	78
FIGURE 6-5	COTES DE CRUES DANS LA RÉGION NORD DE LA MRC DE D'AUTRAY, RÉCURRENCE DE 2 ANS .....	81
FIGURE 6-6	COTES DE CRUES DANS LA RÉGION SUD DE LA MRC DE D'AUTRAY, RÉCURRENCE DE 2 ANS .....	82



FIGURE 6-7	COTES DE CRUES DANS LA RÉGION NORD DE LA MRC DE D'AUTRAY, RÉCURRENCE DE 20 ANS .....	83
FIGURE 6-8	COTES DE CRUES DANS LA RÉGION SUD DE LA MRC DE D'AUTRAY, RÉCURRENCE DE 20 ANS .....	84
FIGURE 6-9	COTES DE CRUES DANS LA RÉGION NORD DE LA MRC DE D'AUTRAY, RÉCURRENCE DE 100 ANS .....	85
FIGURE 6-10	COTES DE CRUES DANS LA RÉGION SUD DE LA MRC DE D'AUTRAY, RÉCURRENCE DE 100 ANS .....	86
FIGURE 7-1	PARCOURS IMPOSÉ POUR LEQUEL ON EXTRAIT LA COTE DE LA SURFACE DE L'EAU .....	88
FIGURE 7-2	REPRÉSENTATION D'UN QUADANGLE DANS LE SYSTÈME DE RÉFÉRENCE UNITAIRE ET DANS LE MONDE RÉEL.....	89
FIGURE 7-3	UN ENSEMBLE DE QUADANGLES CRÉÉS POUR RÉALISER LA PROJECTION EN RIVE .....	90
FIGURE 7-4	CALCUL DE LA PROFONDEUR D'EAU AVEC LES GRILLES DE SURFACE ET D'ÉLÉVATION.....	90
FIGURE 7-5	ZONE COUVERTE PAR LES TUILES D'ÉLÉVATIONS DU SOL OBTENUES D'ENVIRONNEMENT CANADA, COTES DU DOMAINE TERRESTRE AFFICHÉES .....	91
FIGURE 7-6	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, RÉGION NORD EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	92
FIGURE 7-7	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, RÉGION CENTRALE EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	93
FIGURE 7-8	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, RÉGION	

	SUD EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	94
FIGURE 7-9	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, RÉGION NORD (À TITRE INFORMATIF) .....	95
FIGURE 7-10	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, RÉGION CENTRALE (À TITRE INFORMATIF).....	96
FIGURE 7-11	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, RÉGION SUD (À TITRE INFORMATIF) .....	97
FIGURE 7-12	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS, RÉGION NORD EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF).....	98
FIGURE 7-13	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS, RÉGION CENTRALE EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	99
FIGURE 7-14	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS, RÉGION SUD EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	100
FIGURE 7-15	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS, RÉGION NORD (À TITRE INFORMATIF) .	101
FIGURE 7-16	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS, RÉGION CENTRALE (À TITRE INFORMATIF) .....	102
FIGURE 7-17	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS, RÉGION SUD (À TITRE INFORMATIF) ....	103
FIGURE 7-18	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS, RÉGION NORD EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF).....	104
FIGURE 7-19	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS,	

	RÉGION CENTRALE EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	105
FIGURE 7-20	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS, RÉGION SUD EN TRANSPARENCE (À TITRE INFORMATIF) .....	106
FIGURE 7-21	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS, RÉGION NORD (À TITRE INFORMATIF) .	107
FIGURE 7-22	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS, RÉGION CENTRALE (À TITRE INFORMATIF) .....	108
FIGURE 7-23	ZONES INONDÉES POUR UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS, RÉGION SUD (À TITRE INFORMATIF) ....	109

---

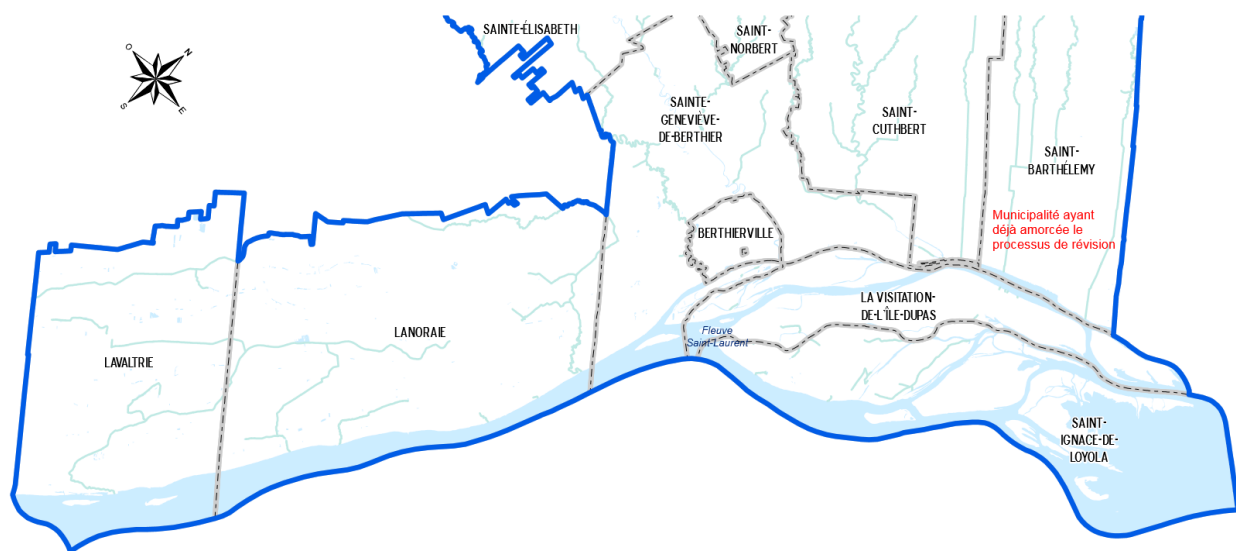
## ANNEXES

- A** LA POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES, DU LITTORAL ET DES PLAINES INONDABLES, VERSION 2017-08-01
- B** NOTIONS SUR LES LIGNES D'EAU
- C** HYDROLOGIE DU BASSIN DES GRANDS LACS
- D** HYDROLOGIE DU BASSIN DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS
- E** HYDROLOGIE DU TRONÇON MONTRÉAL\LAC SAINT-PIERRE
- F** ANALYSE DES NIVEAUX D'EAU DU TRONÇON MONTRÉAL\LAC SAINT-PIERRE
- G** COMPARAISON DES SIGNAUX DE VARENNES, SOREL ET DU LAC SAINT-PIERRE
- H** COMPARAISON DES SIGNAUX DE VARENNES, REPENTIGNY, VERCHÈRES, CONTRECOEUR ET LAVALTRIE
- I** NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES ANNUELS
- J** RELATIONS NIVEAU-NIVEAU ET COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA MRC DE D'AUTRAY
- K** ANALYSES STATISTIQUES DES NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES
- L** MODÈLE HYDRODYNAMIQUE 2D D'ENVIRONNEMENT CANADA
- M** INTERPOLATION SUR UN QUADANGLE
- N** LA CRUE DE 2017
- O** LICENCE D'UTILISATION DES DONNÉES PUBLIÉES PAR ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA

# 1 INTRODUCTION

## 1.1 CONTEXTE

La municipalité régionale de Comté (MRC) de D’Autray occupe une portion du territoire québécois située en rive nord du fleuve Saint-Laurent de l’entrée du lac Saint-Pierre à sa limite Est jusqu’à Lavaltrie à sa limite Ouest. Une bonne partie de la région orientale est caractérisée par des terres basses et par des longueurs en rives le long du fleuve qui sont significatives. Plusieurs des îles de l’archipel de Sorel font partie de la MRC (Figure 1-1).



Source : MRC de D'Autray, 2017

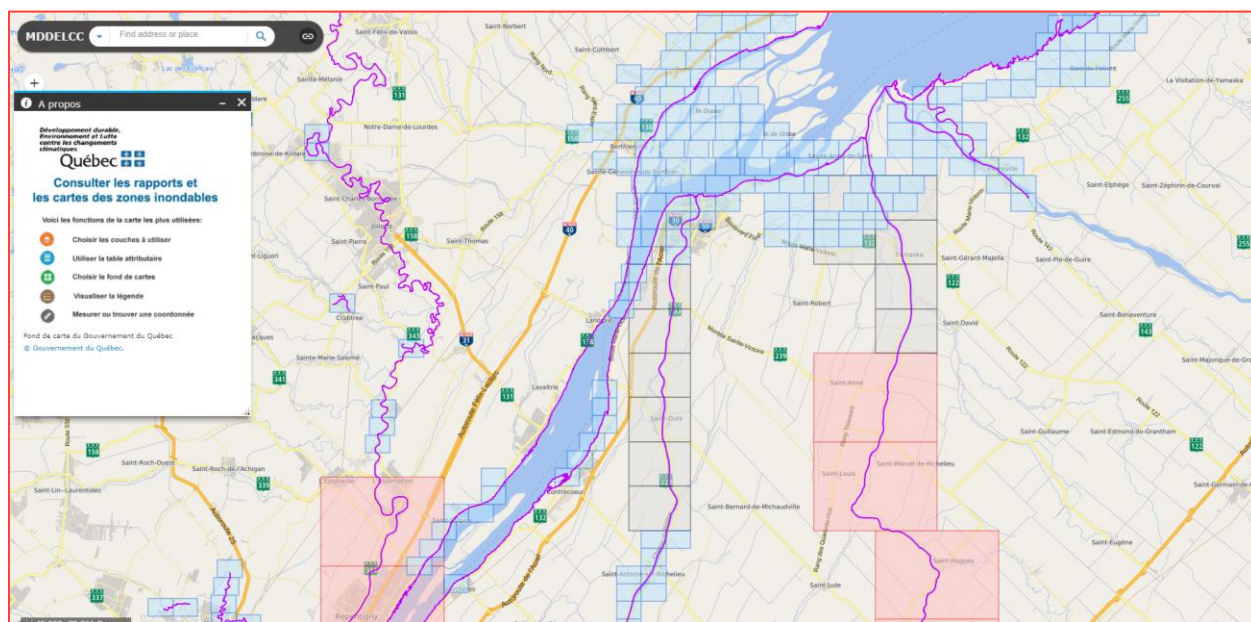
**Figure 1-1 La zone d'étude pour la MRC de D'Autray**

Il appert que les cotes de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans actuellement retenues par le Gouvernement du Québec sont celles qui sont publiées dans le rapport intitulé :

« Ministère de l'Environnement. Direction du domaine hydrique. Service Hydrographie. Fleuve Saint-Laurent, Varennes-Grondines. MH-90-05. Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent. Calcul des niveaux de récurrence 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Tronçon Varennes-Grondines. MH-90-05 ». Ce rapport a été préparé par Monsieur Denis Lapointe, géographe, et publié en septembre 1990 (réf. 3). Des cartes plus récentes ont été élaborées par le Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques (MDDELCC). Ces cartes se basent toutefois sur les cotes publiées dans le rapport de 1990. Pour la MRC de D'Autray, ces cartes sont publiées par le MDDELCC sur son site Web. On peut consulter ces cartes à l'adresse :

<https://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/rapports-carto.htm>

La zone couverte par les cartes du ministère se limite toutefois à la région Nord-Est de la MRC (Figure 1-2).



**Figure 1-2 Couverture de la zone inondable de la MRC de D'Autrain**

Dans l'avis à l'utilisateur, on confirme que les cartes ont été établies à partir « du calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Tronçon : Varennes-Grondines, MH-90-05, septembre 1990. » (Voir encadré ci-dessous tiré de la carte 31103-020-1217 pouvant être téléchargée du site ci-haut sous format pdf).

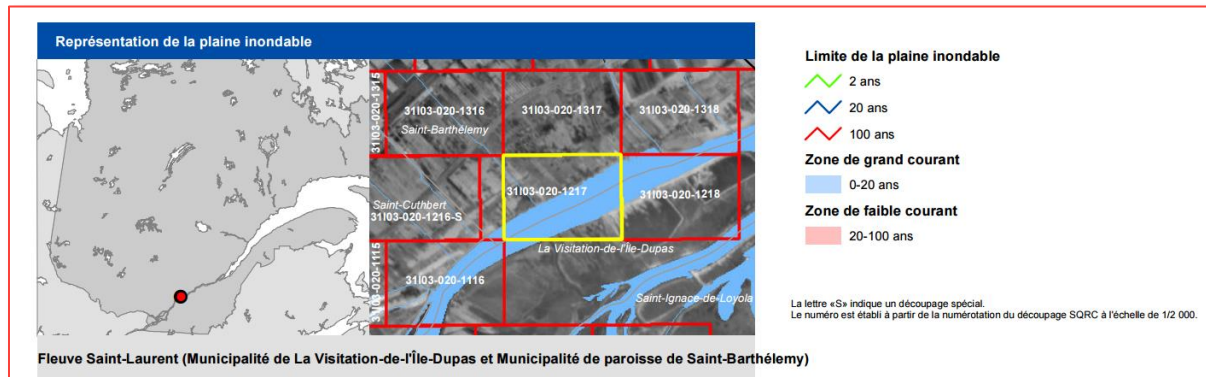
<p><b>Avis à l'utilisateur</b></p> <p>Compte tenu de l'échelle des photographies aériennes utilisées pour produire l'orthophotographie illustrée sur cette carte, un écart peut être observé entre la position réelle d'un emplacement ou d'une infrastructure par rapport aux limites de la plaine inondable. Un contrôle visant à quantifier cet écart peut être fait en ayant recours aux cotes de crue ayant servies à l'élaboration de la présente carte.</p> <p>La représentation graphique de la plaine inondable des crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans est basée sur les cotes de crues tirées du rapport technique Zones Inondables - Fleuve Saint-Laurent, calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans, Tronçon: Varennes-Grondines, MH-90-05, Septembre 1990.</p> <p>Les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans sont associées à des probabilités théoriques d'occurrence. Par exemple, une crue de récurrence de 20 ans indique une probabilité de 1 sur 20, soit 5%, que le niveau d'eau atteigne cette cote au cours d'une année.</p>	<p><b>Orthophotographie</b></p> <p>L'orthophotographie présente sur ce document est réalisée à partir d'une Photographie aérienne à l'échelle 1/15 000.</p> <p><b>Relevé topographique</b></p> <p>Le modèle numérique d'altitude utilisé pour tracer les courbes de niveau, déterminer les cotes et tracer les limites de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans utilise des relevés topographiques effectués par laser aéroporté.</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Source : Extrait de la carte 31103-020-1217 produite par le CEHQ

Ces cartes, à l'échelle du 1 : 2 000<sup>e</sup>, ont été produites par la division de la géomatique de la direction de l'expertise hydrique au centre d'expertise hydrique du Québec (voir encadrés à la page suivante). Le découpage est présenté à la Figure 1-3. On doit noter que le Centre d'expertise hydrique n'existe plus et que les unités le constituant ont été intégrées au MDDELCC. Ces cartes sont donc, selon notre compréhension, celles qui ont été adoptées par le Ministre et qui doivent être considérées comme étant les plus récentes.

La carte 31103-020-1217 (Figure 1-4), illustre le produit final publié par le ministère. La trame en bleu indique un territoire qui se situe dans la zone 0-20 ans alors que la trame de couleur orangée identifie la zone 20-100 ans. Les traits de couleur vert indiquent la ligne pour la cote de récurrence de 2 ans.

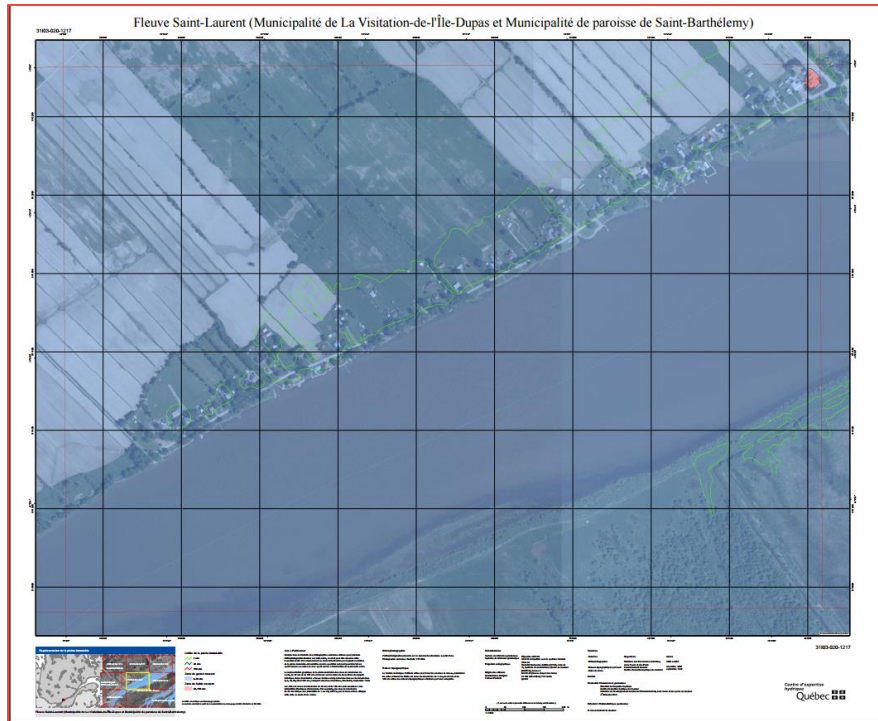
Selon l'analyse réalisée par certains élus de la MRC, ces cartes ne seraient pas représentatives des conditions de crues que vivent les riverains. La MRC demande donc qu'une étude scientifique soit réalisée, qui permette de réviser ou de valider les cotes de crues le long de ses rives.



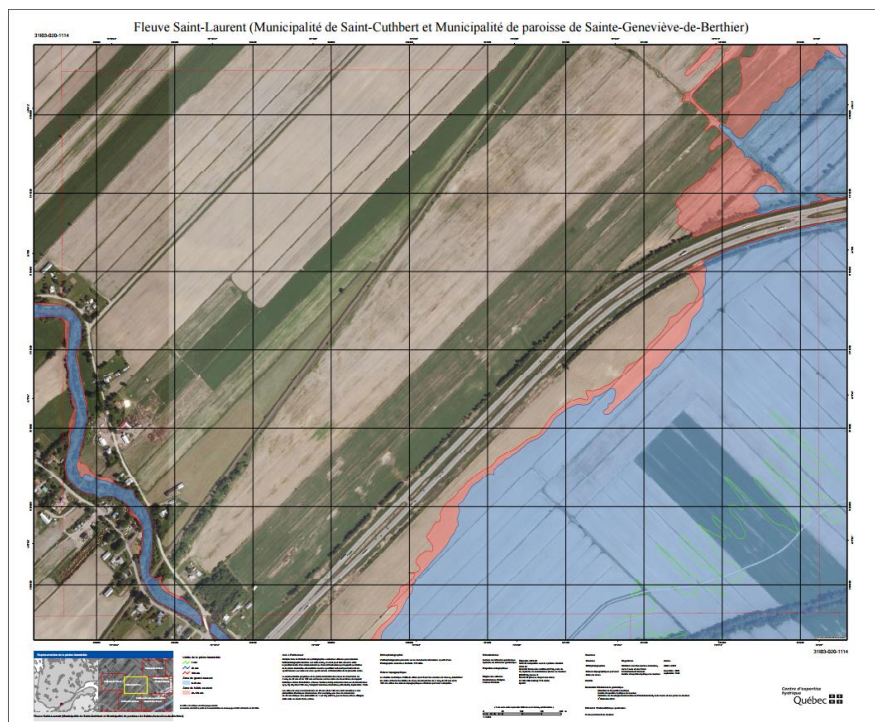
**Figure 1-3** Découpage du domaine en tuile pour la cartographie des zones inondables

<b>Sources</b>		
<b>Données</b>	<b>Organisme</b>	<b>Année</b>
Orthophotographies	Ministère des Ressources naturelles, de la Faune et des Parcs	2008 à 2010
Relevés topographiques par laser	Environnement Canada	novembre 2001
Cotes de crues	Centre d'expertise hydrique du Québec	septembre 1990
<b>Crédits</b>		
Réalisation : Division de la géomatique Direction de l'expertise hydrique Centre d'expertise hydrique du Québec Ministère du développement durable de l'Environnement, de la faune et des parcs du Québec 3 <sup>e</sup> trimestre 2013		
Diffusion : Photocartotheque québécoise		
© Gouvernement du Québec		

Source : Extrait de la carte 31103-020-1217 produite par le CEHQ



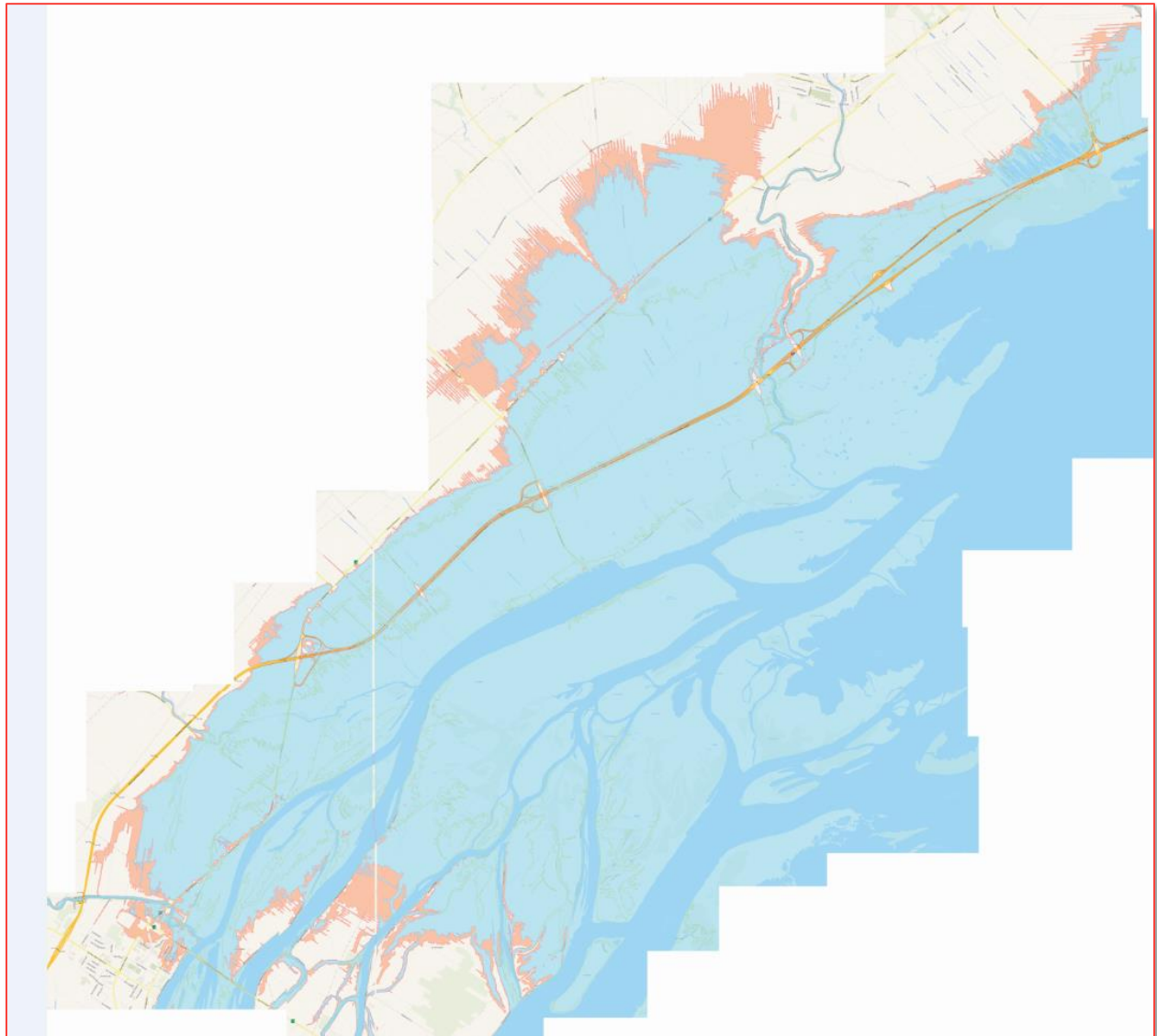
**Figure 1-4** Carte 31103-020-1217 produite par le MDDELCC



**Figure 1-5** Carte 31103-020-1315 produite par le MDDELCC



Enfin, la Figure 1-6 permet d'apprécier l'étendue de la zone inondable, telle qu'établie par le gouvernement du Québec. Cette figure a été produite par un collage de tuiles, obtenue en zoomant sur la carte accessible du site web. Elle permet de constater qu'une grande partie de la région Nord-Est de la MRC est considérée comme étant située dans la zone inondable 0-20 ans.



**Figure 1-6** Zones identifiées comme étant inondables par le MDDELCC (bleu : 0-20 ans, orange : 20-100 ans)

---

## 1.2 LA POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES, DU LITTORAL ET DES PLAINES INONDABLES

Selon la réglementation en vigueur au Québec, « ce sont les cotes d'inondation de récurrence de 20 ans et de 100 ans qui sont prises en compte pour déterminer les limites d'inondation. »<sup>1</sup>

Le gouvernement du Québec fournit également, à titre indicatif, la ligne de démarcation pour des conditions hydrologiques de récurrence de 2 ans. Quoique sujette à débat, cette ligne est fréquemment retenue par les représentants du Gouvernement pour « établir quels sont les constructions, ouvrages et travaux autorisés dans le littoral ou sur la rive »<sup>2</sup>. Le lecteur est prié de se référer à la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (définie comme « la Politique » par la suite)<sup>3</sup> pour en connaître la portée (une version est produite à l'annexe A).

Des cartes qui indiquent les limites des zones inondables ont été émises, comme celles présentées à la section précédente. Selon la Politique « s'il survient un conflit dans l'application de différents moyens, et qu'ils sont tous susceptibles de régir une situation donnée selon le droit applicable, la plus récente carte ou la plus récente cote d'inondation, selon le cas, dont la valeur est reconnue par le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, devrait servir à délimiter l'étendue de la plaine inondable. » (Politique, article 2.4, dernier paragraphe). Il faut noter l'emploi du conditionnel qui permet de déroger à cette condition mais selon l'expérience de l'auteur, cette « suggestion » est souvent retenue par la Cour.

La question traitant de la validité de la ligne de crue de récurrence de 2 ans est abordée à l'annexe B. Les résultats présentés dans ce rapport devront donc être éventuellement acceptés par le MAMOT.

---

## 1.3 LES CARTES LES PLUS RÉCENTES

Il appert donc que les cartes les plus récentes sont celles qui ont été produites par le MDDELCC en 2013 (l'une d'elles présentée à la Figure 1-4) puisqu'elles ont été produites par le Ministère (et donc forcément avec l'approbation du Ministre).

---

## 1.4 PROBLÉMATIQUE

Suite à l'étude des cartes produites par le MDDELCC, la MRC de D'Autray a constaté que la zone inondable n'était pas représentative des conditions vécues. En conséquence, les élus s'interrogent sur la validité de ces cotes et des cartes émises. Par suite, ils demandent à ce

---

1 <http://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/index.htm>

2 <http://www.cehq.gouv.qc.ca/zones-inond/index.htm>

3 <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035>

qu'une nouvelle étude hydrologique soit réalisée pour permettre de procéder, le cas échéant, à une révision des cotes de crues et des zones considérées comme étant inondables au sens de la Politique.

Les conditions hydrologiques associées à des périodes de retour de 2, de 20 et de 100 ans doivent donc être établies suite à une analyse approfondie de toute l'information hydrologique et géomatique qui est disponible à ce jour et les cotes de crues de crues établies tout le long du littoral de la MRC de D'Autray.

---

## 1.5 OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'étude hydrologique doit permettre d'établir quelles sont les conditions hydrologiques et hydrauliques du tronçon du fleuve reliant Varennes au Lac Saint-Pierre. Ce pan de l'étude doit être réalisé car une étude réalisée par Favre et al (2010, réf. 22), produite dans le cadre de la révision des cotes de crues pour la MRC de Laval, a résulté en une révision à la baisse des niveaux du fleuve Saint-Laurent établis à Varennes pour les périodes de retour de 2, de 20 et de 100 ans.

L'objectif principal consiste donc d'abord à établir quelles sont les cotes du fleuve Saint-Laurent le long des rives de la MRC de D'Autray bordées par le fleuve pour des crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans.

L'étude doit également produire, aux fins d'analyses subséquentes par la municipalité, une présentation des zones considérées inondées avec les nouvelles cotes obtenues. Ce résultat est toutefois produit à titre informatif, car seul un arpenteur-géomètre peut réaliser l'acte légal de positionner les lignes indiquant les limites d'inondation sur une carte qui pourra alors être considérée comme officielle en retenant les conditions hydrologiques et hydrauliques établies par l'ingénieur hydraulicien pour les crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans.

---

## 1.6 INFORMATION COMPLÉMENTAIRE

La MRC devra éventuellement faire établir la cote associée à la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE), au sens de la Politique pour des zones autres que celles de la municipalité de Saint-Barthélemy. Pour ce faire, elle devra mandater un botaniste expert, spécialisé dans l'application de la méthode botanique experte, pour établir quel est l'endroit où il y a une répartition 50 %-50 % entre les plantes de type aquatique et les plantes de type terrestre. L'élévation du terrain à ces endroits devra ensuite être relevée par un arpenteur-géomètre, pour s'assurer d'une localisation officielle et légale.

Mentionnons que cet exercice a été réalisé en rive nord du fleuve pour la municipalité de Saint-Barthélemy, qui a mandaté un biologiste spécialisé dans l'application de la méthode botanique experte pour l'établir. Normalement, la variation de cette cote de la LNHE le long des rives

devrait être parallèle au profil longitudinal du fleuve. Des relevés réalisés selon la méthode botanique experte devraient confirmer cette hypothèse.

---

## 1.7 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour atteindre les objectifs visés, la méthodologie suivie s'articule selon les axes suivants :

- une clarification des termes techniques en lien avec l'établissement des cotes de crue (chapitre 2);
- la détermination de la période historique de référence à retenir, considérant notamment la régularisation des débits du fleuve Saint-Laurent (chapitre 3);
- la caractérisation du comportement hydraulique du fleuve dans le secteur à l'étude à partir de résultats de simulations numériques fournis par Environnement Canada. Le but est ici d'établir les relations entre le niveau à deux stations de mesures et le niveau en tout point du secteur d'étude (chapitre 4);
- la détermination des cotes de crue aux stations de mesure de référence (chapitre 5);
- l'établissement des cotes de crue dans l'ensemble du secteur d'étude à partir des cotes de crue à la station et de relations niveau-niveau établis précédemment (chapitre 6);
- l'évaluation des zones inondées (chapitre 7).

## 2 NOTIONS ET DÉFINITIONS

Certains documents permettent de préciser les notions relatives à la détermination de la ligne des hautes eaux ainsi qu'à mieux connaître et comprendre les conditions hydrologiques et hydrauliques du fleuve Saint-Laurent dans le tronçon Varennes\Lac Saint-Pierre, et plus particulièrement dans la région de la MRC de D'Autray.

Ce chapitre présente, de manière succincte, des éléments d'information qui s'avèrent d'intérêt pour la compréhension des analyses qui sont présentées par la suite. Certains aspects sont traités avec plus de détails dans les annexes au présent rapport et le lecteur peut s'y référer s'il désire approfondir certaines notions.

---

### 2.1 LA LIGNE DES HAUTES EAUX

Pour les analyses, il importe de présenter les définitions relatives à différentes lignes d'eau. Les résultats d'une recherche plus approfondie sont présentés à l'annexe B de ce rapport. Le lecteur peut s'y référer pour obtenir plus de précision sur certaines définitions ainsi qu'une analyse critique de certaines méthodes d'analyse retenues par le Gouvernement du Québec.

---

#### 2.1.1 LES DIFFÉRENTES LIGNES DES HAUTES EAUX

Plusieurs lignes peuvent être tracées sur une carte pour identifier des zones ou aires sujettes à une réglementation urbanistique ou à des lois et politiques gouvernementales. Certaines servent à délimiter le domaine privé de celui de l'État, d'autres à identifier des zones sujettes à l'application de règlements d'urbanisme. Les cotes de ces lignes sont établies suite à l'analyse de la variation des niveaux d'eau par un ingénieur hydrologue ou hydraulicien, ou suite à l'analyse de la flore peuplant les zones riveraines des cours d'eau. La méthode préconisée varie selon les politiques, règlements ou lois qui s'appliquent.

Les principales définitions de lignes d'eau sont celles :

- du niveau d'eau moyen;
- des niveaux d'eau de crue de récurrence 2 ans, de 20 ans et de 100 ans;
- du niveau des hautes eaux tel que défini pour établir la limite de propriété de l'État (la ligne des hautes eaux ou LHE au sens du code civil);
- du niveau des hautes eaux tel que défini dans la Politique sur la protection des rives, du littoral et des plaines inondables (la ligne naturelle des hautes eaux ou LNHE).

On doit d'abord différencier la « ligne des hautes eaux », telle que définie dans la Politique de protection des rives et du littoral (identifiée comme la « Politique » par la suite) de celle retenue pour établir la limite de propriété de l'État.

Cette discussion est nécessaire pour éviter toute confusion par la suite, le législateur ayant malheureusement associé une même expression soit « ligne des hautes eaux » à deux lignes dont la cote d'élévation est différente.

Pour les fins du présent rapport, nous utilisons les termes suivants pour discerner les deux concepts (toutes les justifications sont présentées à l'annexe B) :

### **Ligne des hautes eaux (LHE) :**

Il s'agit de la **ligne utilisée pour délimiter le domaine privé du domaine de l'État**. Cette ligne était également identifiée comme :

1. ligne des hautes eaux ordinaires sans débordement (LHEO);
2. ligne des hautes eaux naturelles (notez que l'adjectif « naturelles » suit le terme « hautes eaux »).

Beaulieu (réf. 9) présente la définition de la ligne des hautes eaux (LHE) :

« Par définition, il s'agit d'une ligne se situant à la limite du plan d'eau lorsqu'il coule à pleins bords, tout juste avant qu'il commence à déborder ou à inonder les terrains au-delà de la rive ».

La ligne des hautes eaux naturelles sans débordement, telle qu'identifiée dans la référence 6 à la page 41, est synonyme de la ligne des hautes eaux ordinaires sans débordement (LHE dans le présent rapport) et s'avérerait être la ligne des hautes eaux au sens défini par Beaulieu (réf. 9). En effet, ces lignes servent à la même fin, soit à délimiter le domaine qui est propriété de l'État de celui appartenant au particulier.

Selon l'usage et les décisions rendues par les tribunaux, la cote pour la ligne des hautes eaux doit être établie hors de la période de crue. En vertu des définitions du BAPE, la LHE serait la démarcation entre le lit mineur et le lit majeur d'un cours d'eau.

Les lignes des hautes eaux ordinaires sans débordement (LHE) est forcément à une élévation inférieure à la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) qui est définie dans le cadre de la Politique de protection des rives et du littoral en vertu de la référence 6 et des définitions du lit mineur et du lit majeur.

### **Ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) :**

Il s'agit de la **ligne utilisée pour délimiter la rive du littoral tel que définie dans la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables** (réf. 1). Notez que l'adjectif « naturelle » précède le terme « hautes eaux ».

- a) selon le texte de la politique, la méthode « officielle » pour établir la ligne des hautes eaux définies au sens de la Politique de protection des rives et du littoral (LNHE) est la méthode botanique experte (réf. 1 et réf. 8);

- b) la cote de cette ligne est à une élévation supérieure à celle de la ligne des hautes eaux établie au sens du code civil (LHE);
- c) la LNHE se situerait dans la zone de Prairie humide (CMI, réf. 36);
- d) le long du fleuve Saint-Laurent, cette zone est sujette à une forte variabilité de sa flore selon que les mesures sont réalisées lors d'une période de forte ou de faible hydraulicité (CMI, réf. 36);
- e) l'utilisation de la cote de récurrence de 2 ans pour établir la LNHE ne devrait être utilisée que si l'on ne peut utiliser la méthode botanique.

Dans le cadre de ce rapport, on retient les acronymes LHE (ligne des hautes eaux) et LNHE (ligne naturelle des hautes eaux) pour respectivement différencier la ligne des hautes eaux servant à délimiter la propriété de celle définie dans le cadre de la Politique de protection des rives et du littoral.

---

### 2.1.2 RISQUES DE CONFUSION

Le BAPE reconnaît que « diverses définitions de lignes d'eau diffèrent en fonction des fins qu'elles poursuivent et des contextes légaux qu'elles desservent... » (réf. 5, page 26).

Le BAPE indique que « Dans les faits, il y a autant de lignes de hautes eaux qu'il y a de définitions. Il s'agit alors de savoir à quelles fins elles sont utilisées ou pour quels motifs l'une d'entre elles doit être retenue par rapport à une autre. Une bonne partie de la confusion entourant les diverses définitions de lignes des hautes eaux est causée par l'existence des deux vocations du Ministère de l'Environnement de la Faune (MEF) touchant les rives, soit la gestion du domaine hydrique et la protection de l'environnement. » (réf. 5, page 27).

Cette constatation est toujours pertinente en 2006, alors que Beaulieu conclut (réf. 9) que « bien des incompréhensions du concept de la ligne des hautes eaux découlent d'un vocabulaire peu approprié et portant à confusion ». Elle l'est toujours au moment d'écrire ces lignes, rendant ardue toute représentation devant les tribunaux concernant des litiges portant sur la détermination des propriétés et des zones qualifiées d'inondables.

Le lecteur doit d'ailleurs prendre garde, lors de la consultation des figures du guide d'interprétation produit par le MDDELCC (références 6 et 7), car dans ces documents, la LNHE est en fait identifiée par l'acronyme LHE, ce qui porte à nouveau à confusion. On doit comprendre que le guide réfère habituellement à la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) et non à la LHE (au sens du code civil). L'utilisation de « LHE » dans les figures diffère donc de la convention que nous proposons à la section précédente.

---

## 2.2 LES LIGNES D'EAU ASSOCIÉES À UNE CRUE DE RÉCURRENCE DONNÉE

Les cotes des lignes d'eau associées à une crue de récurrence donnée sont établies par l'ingénieur hydraulicien suite à une analyse statistique des niveaux d'eau extrêmes mesurés sur un cours d'eau ou un plan d'eau. Une façon de faire consiste à ajuster une loi statistique d'extrêmes aux valeurs de niveau d'eau maximum atteint à chaque année. Les calculs requis permettent d'obtenir une valeur de cote qui est associée à une période de retour (ou récurrence) donnée ou, en d'autres termes, à un événement qui a une certaine probabilité de réalisation.

Pour un événement maximum annuel, sa probabilité de réalisation à chaque année est donnée par la formule :

$$P = 1.0/T \quad (\text{la probabilité est l'inverse de la période de retour})$$

Avec  $P$  : probabilité que l'événement survienne  
 $T$  : période de retour en année.

Ainsi, la probabilité pour qu'un événement de récurrence de 100 ans survienne est de 1/100 chaque année, soit 0,01 ou 1 pourcent. Rappelons toutefois que peu importe qu'il se soit produit l'année précédente ou récemment, la même probabilité persiste, année après année. En d'autres termes, ce n'est pas parce qu'un tel événement s'est produit récemment qu'il n'a pas de chance de se reproduire à nouveau l'année suivante. La probabilité demeure et persiste. Soulignons que la valeur calculée peut toutefois varier selon la durée de la série temporelle utilisée pour réaliser les calculs et selon la qualité des données retenues pour analyse. Plus la série est longue et plus stables sont les valeurs établies si les conditions de stationnarité sont respectées.

---

### 2.2.1 LES LIGNES DE RÉCURRENCE DE 20 ANS ET DE 100 ANS

Les lignes pour les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans ont été établies au Québec dans le cadre de la Convention Canada-Québec relative à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation. Depuis le programme initial, certaines zones ont été révisées, notamment par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ), agence relevant du ministère du développement durable, de l'environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MDDELCC). Cet agence a récemment été dissoute et ses spécialistes intégrés au MDDELCC. Les cotes correspondant à ces récurrences sont établies suite au traitement de séries temporelles de débits ou de niveaux d'eau. Il est mentionné dans le rapport publié par le BAPE, que ces limites n'ont pas force légale, à moins de se retrouver dans une réglementation municipale. Dans les rapports du CEHQ, il est mentionné que « Ces cotes sont fournies aux municipalités régionales de comté pour les soutenir dans l'application de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables » (réf. 19).



Les lignes de récurrence de 20 ans et de 100 ans, établies dans le cadre de la Convention Canada-Québec relative à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation, visent à identifier les zones inondables à risque élevé (0-20 ans) et à risque moyen (20-100 ans) afin de réglementer les ouvrages à être érigés et de protéger aussi les zones écologiques. Ces limites n'ont pas force légale, à moins de se retrouver dans une réglementation municipale. Actuellement, 220 municipalités sur plus de 500 concernées possèdent une cartographie officielle de ces lignes.

Source : Réf. 5 page 29.

---

## 2.2.2 LA LIGNE D'EAU DE RÉCURRENCE DE 2 ANS

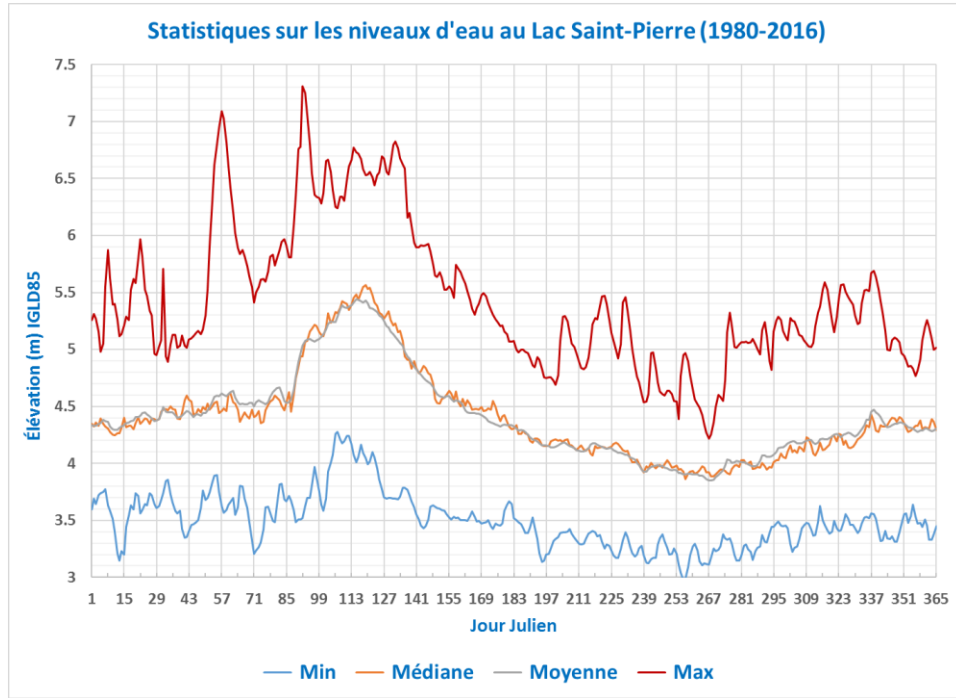
Tout comme pour les crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans, on peut établir le niveau d'eau de récurrence de 2 ans à partir d'analyses statistiques sur les valeurs extrêmes. On doit réaliser toutefois que comme la probabilité de réalisation est de 0,5 (ou 50 %) on ne peut parler d'événement extrême. En fait, un riverain dirait qu'il s'agit de conditions souvent vécues au printemps et non de conditions exceptionnelles. L'analyse des niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent dans le tronçon Varennes/Trois-Rivières fait l'objet du chapitre 5.

---

## 2.3 COTES DÉPASSÉES UNE ANNÉE SUR DEUX POUR CHAQUE JOUR JULIEN

Une analyse statistique des tendances centrales et des extrêmes est réalisée pour la période débutant en 1980 et se terminant en 2016. La sélection de cette période spécifique est expliquée plus loin dans ce rapport au Chapitre 3 portant sur l'hydrologie des bassins versants en amont du lac Saint-Pierre. On constate que la médiane de la hauteur d'eau en période de crue pour chaque jour julien(\*) qui est représentative du fleuve Saint-Laurent au lac Saint-Pierre, atteint une valeur maximum de 5,57 m au jour julien 119, soit le 27 avril.

\* Le jour julien est le numéro du jour compté depuis le 1<sup>er</sup> janvier d'une année (1<sup>er</sup> janvier = 1, 1<sup>er</sup> février = 32 et ainsi de suite jusqu'à 365 ou 366 (année bissextile) pour le 31 décembre).



**Figure 2-1 Valeurs statistiques obtenues pour chaque jour julien au lac Saint-Pierre**

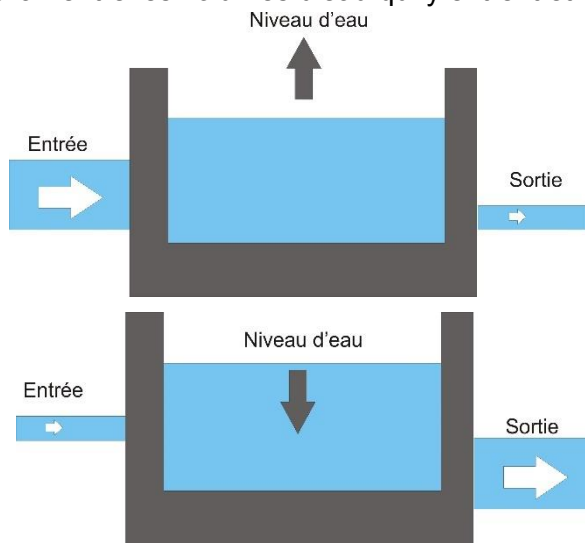
Pour le cas présent, on dispose de 37 valeurs de niveau d'eau qui est atteint pour chaque jour de l'année. Une fois ordonnée par ordre croissant, c'est la 19<sup>e</sup> valeur qui sert à tracer la courbe de la médiane. Cette valeur, qui est dépassée une année sur deux, pour ce jour donné, signifie qu'un observateur placé le long de la rive du lac Saint-Pierre à un jour julien donné aurait eu une chance sur deux de voir un niveau d'eau supérieur à celui indiqué par la courbe médiane. Il ne faut toutefois pas confondre cette valeur médiane avec celle de la crue de récurrence de 2 ans, qui est une valeur obtenue par l'analyse statistique des valeurs extrêmes annuelles et qui peut se produire à n'importe quel jour de l'année. De ce fait la valeur maximum du niveau médian est plus basse que le niveau d'eau de crue de récurrence de 2 ans obtenu par l'analyse statistique des extrêmes.

L'analyse avec la médiane est cependant intéressante car elle indique, pour chaque jour de l'année, quelle est la cote pour ce niveau qui serait dépassé une année sur deux. Comme il s'agit d'une valeur centrale, plus la période couverte par la série est longue, plus stable devient la courbe. En fait l'ajout d'un épisode exceptionnel changera peu la courbe si cette dernière est établie avec plusieurs dizaines d'années de mesures. La médiane doit donc être considérée comme étant une excellente variable pour établir la fin habituelle de la période de crue car elle tend à se stabiliser au fil des ans.

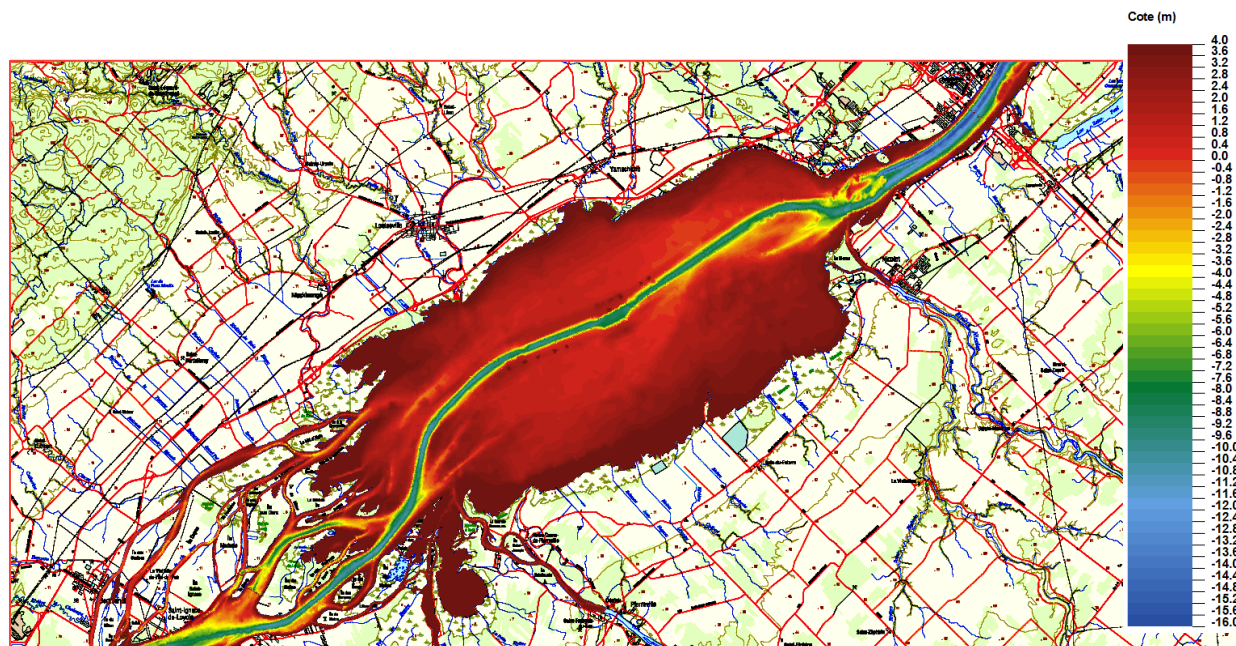
Des calculs, présentés par la suite, illustrent l'utilité de l'évaluation de la courbe médiane pour la recherche d'une corrélation qui soit significative avec l'évaluation de la LNHE.

## 2.4 SUR LA VARIATION DU NIVEAU D'EAU DU LAC SAINT-PIERRE

La variation du niveau d'eau d'un lac dépend du bilan entre les volumes d'eau qui y entrent et les volumes d'eau qui en sortent. Comme illustré à la figure ci-contre, si les débits entrants sont supérieurs à ceux qui sortent, le niveau du plan d'eau monte. Lorsque les débits qui sortent sont supérieurs aux débits qui entrent, le niveau du lac baisse. Pour le lac Saint-Pierre, plusieurs tributaires s'y déversent mais le principal apport est celui du fleuve Saint-Laurent, auquel s'ajoute, à Sorel, le débit de la rivière Richelieu.



En fait, le lac Saint-Pierre s'avère être un élargissement du fleuve Saint-Laurent dans une zone caractérisée par de faibles profondeurs et par une constriction à son exutoire, ce qui crée une large cuvette peu profonde. Sa grande superficie et son exutoire étroit font en sorte que le lac amortit fortement l'onde de marée en provenance du tronçon du fleuve Saint-Laurent qui est à l'aval de Port Saint-François (à l'exutoire du lac).



Source des données pour la bathymétrie : Environnement Canada, Traitement par WSP.

**Figure 2-2 Topographie du fond du lac Saint-Pierre**

Cette variation du niveau du lac a des répercussions sur les cotes de la surface du bief amont du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Sorel. En effet, pour un même débit du fleuve, un rehaussement du niveau du lac Saint-Pierre produit un rehaussement du profil de la ligne d'eau vers Montréal. De ce fait, le niveau d'eau mesuré le long des rives de la MRC de D'Autray se voit aussi rehaussé. On voit donc que **la variation des niveaux d'eau du fleuve le long des rives de la MRC de D'Autray dépend d'une combinaison des débits provenant du fleuve et des rivières qui se jettent dans le lac et du niveau résultant du lac Saint-Pierre.** Comme les rives de la MRC sont situées entre les stations de mesures de la courbe #2 du lac Saint-Pierre et Varennes, ce sont les niveaux d'eau observés à ces deux stations, qui intègrent tous les effets des conditions hydrologiques, qui doivent être privilégiés pour établir les conditions de crues pour les récurrences de 20 et de 100 ans.

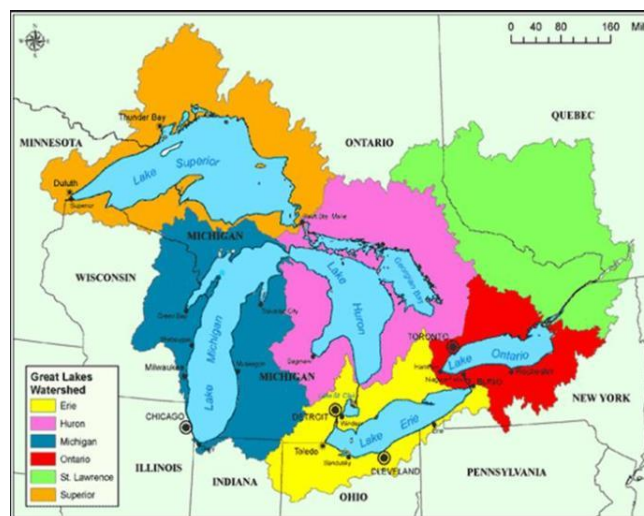
Avant de traiter les séries temporelles de mesures et de procéder à l'étude hydraulique du tronçon Varennes/Lac Saint-Pierre, on doit établir qu'elle est l'hydrologie des bassins versants en amont qui contribuent aux apports en eau au lac Saint-Pierre et à Varennes. Une revue historique des modifications apportées au système hydrique du Saint-Laurent est également requise afin d'établir quelle est la période pour laquelle les données peuvent raisonnablement être considérées comme étant homogènes. Ce n'est que suite à cette détermination qu'on peut procéder à des analyses plus pointues. Elle permet également d'évaluer les effets potentiels des changements climatiques sur l'hydraulité future du système hydrique du fleuve Saint-Laurent. Cette revue hydrologique fait l'objet du prochain chapitre.

### 3 ÉTABLISSEMENT DE LA PÉRIODE HISTORIQUE DE RÉFÉRENCE POUR L'ANALYSE DES NIVEAUX DU FLEUVE

Les niveaux d'eau le long des rives du Saint-Laurent de la MRC de D'Autray sont tributaires du niveau du lac Saint-Pierre, du niveau d'eau à Varennes et de l'importance du débit du fleuve Saint-Laurent. Tel que mentionné au chapitre précédent, le lac Saint-Pierre est en fait une expansion latérale du fleuve Saint-Laurent dans une zone caractérisée par de faibles profondeurs et par une constriction à son exutoire, résultant, entre autres de dépôts sédimentaires provenant des rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet. La grande superficie du lac et son exutoire étroit font en sorte qu'il amortit quasi entièrement l'onde de marée qui se propage dans le tronçon du fleuve qui est en aval de Port Saint-François. La variation de la cote de la surface dépend des apports en eau des principaux bassins hydrographiques localisés en amont de cet exutoire. Les particularités de chaque bassin sont présentées dans ce chapitre. On aborde également la question des changements climatiques et des effets qui pourraient leur être attribués. Ce chapitre présente une synthèse de l'information présentée à l'annexe C. Le lecteur est prié de s'y référer s'il désire approfondir certaines notions. L'objectif de cette analyse est d'établir la période de mesures à retenir pour établir les cotes de crues pour la MRC de D'Autray.

#### 3.1 LE BASSIN DES GRANDS LACS

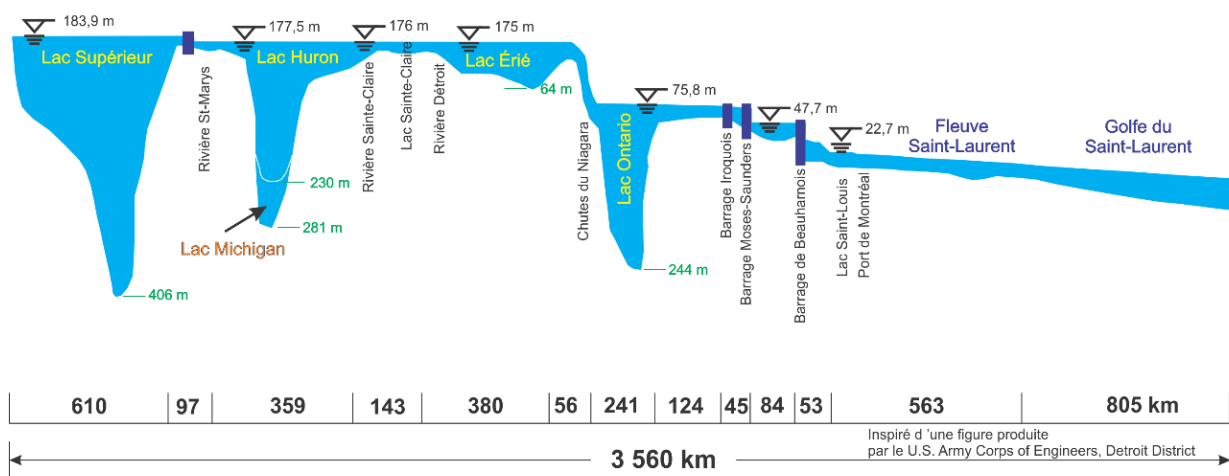
L'empreinte des bassins de chacun des Grands Lacs est présentée à la Figure 3-1. Des facteurs naturels tels que les précipitations, l'évaporation et le ruissellement influent sur la variation des niveaux d'eau des cinq Grands Lacs. Trois ensembles d'ouvrages régulateurs permettent d'exercer un certain contrôle sur ces niveaux.



**Figure 3-1** Délimitation des sous-bassins des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent en amont de Montréal

Ce sont les ouvrages sur la rivière St-Marys à la sortie du lac Supérieur, sur la rivière Niagara à la sortie du lac Érié et sur le fleuve Saint-Laurent à la sortie du lac Ontario à Cornwall (Barrage Moses-Saunders).

Le profil en long de la ligne d'eau est présenté à la Figure 3-2. La cote du niveau d'eau maximum de chaque Grand Lac y est identifiée. L'ouvrage régulateur de St-Marys permet de gérer le débit sortant du lac Supérieur. Celui-ci se déverse dans les lacs Huron et Michigan, qui forment un même plan d'eau. La différence de niveau d'eau est faible entre les lacs Huron et Érié. La différence de niveau d'eau entre le lac Érié et le lac Ontario atteint pratiquement les 100 m. Un ouvrage régulateur est localisé sur le fleuve Niagara. Le niveau d'eau du lac Ontario est géré avec l'ouvrage Moses-Saunders, en amont du lac Saint-François. Le débit du fleuve emprunte le canal de Beauharnois et le chenal Les Cèdres pour atteindre le lac Saint-Louis, au sud de Montréal. Les rapides de Lachine séparent ce lac du port de Montréal. Les rapides de Lachine séparent ce lac du port de Montréal.



**Figure 3-2 Profil en long du réseau hydrographique des Grands Lacs**

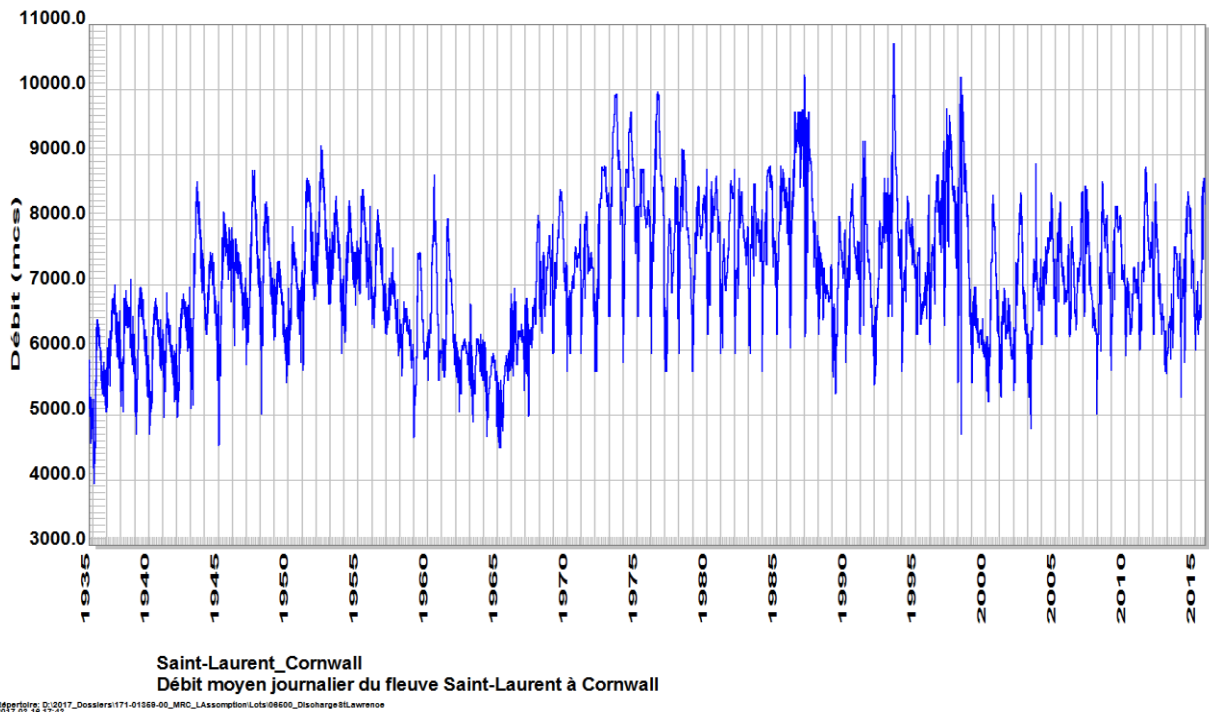
La gestion de ces trois ouvrages est sous la supervision de la Commission Mixte Internationale (CMI). Cette Commission a été créée en 1909 pour traiter toute problématique reliée à la gestion des eaux transfrontalières. La CMI a établi des conseils (« boards ») affectés à chacun de ces ouvrages pour contrôler les niveaux et débits.

## 3.2 LES OUVRAGES RÉGULATEURS SUR LE BASSIN DES GRANDS LACS - DÉBIT DU FLEUVE SAINT-LAURENT À LA SORTIE DU LAC ONTARIO

Les ouvrages situés sur la rivière St-Marys à l'exutoire du lac Supérieur, ceux situés sur la rivière Niagara à la sortie du lac Érié et ceux situés sur le fleuve Saint-Laurent à la sortie du lac Ontario à Cornwall (Barrage Moses-Saunders) permettent une certaine gestion des débits et des niveaux des Grands Lacs. De ce fait, le système hydrographique des Grands Lacs est donc considéré comme étant un système influencé par la gestion de l'homme. La description des ouvrages et l'énumération des règles de gestion peuvent être consultées à l'annexe C. Pour la

présente étude, l'intérêt se porte principalement sur les ouvrages situés à l'exutoire du lac Ontario. Ils sont utilisés pour gérer le niveau du lac Ontario et les débits qui en sortent vers le fleuve Saint-Laurent.

Le résultat de cette gestion est visible sur la Figure 3-3. Il est facile de constater qu'avant la mise en opération de la voie maritime du Saint-Laurent, le débit n'a dépassé la valeur de 9 000 m<sup>3</sup>/s qu'une fois, soit en 1952. Cette valeur de référence a été dépassée quatre fois durant les années 1970', atteignant quasiment les 10 000 m<sup>3</sup>/s. On constate que les plus forts débits ont été vécus durant les années 1990' atteignant 10 200 m<sup>3</sup>/s certains jours en 1993. Il faut noter que ces valeurs sont ponctuelles, le débit des jours qui précèdent et suivent une telle valeur sont plutôt de l'ordre de 10 000 m<sup>3</sup>/s. Finalement, depuis 1998, le débit sortant n'a pas dépassé la valeur plafond de 9 000 m<sup>3</sup>/s (à l'exception de l'année 2017 avec un débit maximum de 10 400 m<sup>3</sup>/s) et rarement la valeur plancher de 5 000 m<sup>3</sup>/s.

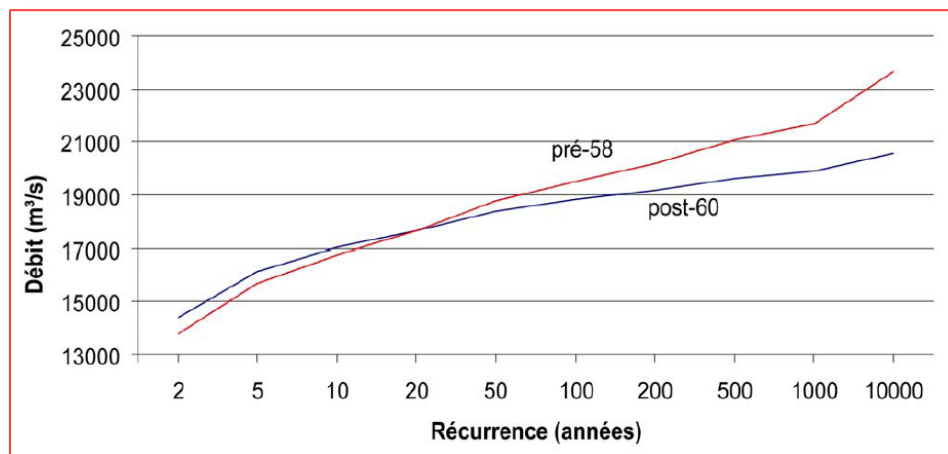


**Figure 3-3 Débit moyen journalier du fleuve Saint-Laurent à Massena (NY) – Cornwall (Ontario)**

L'aspect le plus important à considérer demeure la capacité de pouvoir gérer ponctuellement les débits sortant du lac Ontario durant la période de crue de printemps afin de mieux gérer les conditions de crues du fleuve Saint-Laurent dans la région de Montréal et en aval de cette dernière. Cet aspect sera développé lors de l'analyse des conditions hydrologiques du bassin de la rivière des Outaouais.

Quoique fortement dépendant des conditions climatiques génératrices des apports en eau provenant des précipitations et du ruissellement ainsi que de l'évaporation, le niveau de chaque Grand Lac est affecté en partie par la gestion des ouvrages régulateurs. Pour la détermination

des cotes de crues pour la MRC de D'Autray, c'est la gestion du niveau d'eau du lac Ontario et des débits qui en sortent qui sont d'intérêt. Selon Morin et Bouchard (2001) la mise en opération du barrage Moses-Saunders à la fin des années 1950' a permis d'abaisser le débit de crue pour des épisodes dont la récurrence est supérieure à 20 ans au lac Saint-Pierre.



Source : Morin et Bouchard, 2001

**Figure 3-4 Effets de la régularisation sur les débits au lac Saint-Pierre associés à de fortes récurrences**

Les contraintes de régularisation pour le lac Ontario sont décrites sur une page de la toile du Conseil international du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent.<sup>4</sup> Une ordonnance de la Commission exigeait de régulariser la hauteur des eaux du lac Ontario entre les cotes 74,2 et 75,4 m au-dessus du niveau de la mer selon le référentiel vertical « International Great Lake Datum de 1985 » (IGLD 85). Le nouveau plan de gestion, mis en vigueur en janvier 2017 semble plus permissif (voir section suivante). Les ouvrages de Moses-Saunders reliant Massena (NY) à Cornwall (Ontario) ainsi que celui de Long-Sault en Ontario permettent de gérer les débits sortant du lac Ontario suivant certaines règles. Une disposition existe, la règle K, qui permet de déroger aux consignes usuelles d'exploitation. Cette disposition est invoquée lorsque les conditions hydrologiques excèdent celles usuellement rencontrées. Elle permet de gérer pour corriger au mieux la situation au profit des propriétaires riverains autant en amont qu'en aval de ces ouvrages. Sur ce site on confirme que la gestion tient compte de la crue de la rivière des Outaouais et nous citons « l'expérience a montré qu'au moment de la crue printanière de la rivière des Outaouais, qui est un grand affluent, les inondations dans la région de Montréal ont été réduites grâce à la diminution temporaire des débits sortants du lac Ontario ». D'ailleurs, le texte suivant, publié sur le site web de la CMI, le confirme<sup>5</sup> :

« Historiquement, la ville de Montréal était sujette aux inondations, car elle est située au confluent de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent. La régularisation des débits du lac Ontario a réduit l'occurrence des inondations printanières dans la région de Montréal.

4 [http://ijc.org/fr/\\_islrbc/Regulating\\_Lake\\_Ontario-St.\\_Lawrence\\_River](http://ijc.org/fr/_islrbc/Regulating_Lake_Ontario-St._Lawrence_River)

5 [http://ijc.org/fr/\\_islrbc/FAQ\\_2](http://ijc.org/fr/_islrbc/FAQ_2)



Les crues printanières dans le bassin de la rivière des Outaouais peuvent être très élevées ; elles peuvent décupler en quelques heures. La régularisation en temps opportun du débit du lac Ontario a très souvent contribué à éviter de graves inondations dans les régions de Montréal et du lac Saint-Louis durant les crues de la rivière des Outaouais. D'ordinaire, la réduction de ce débit est compensée par des débits plus élevés avant ou peu après la crue de la rivière des Outaouais. De plus, tel qu'indiqué précédemment, la réduction des embâcles dans le fleuve, rendue possible par l'aménagement de Moses-Saunders, a grandement réduit l'occurrence d'inondations causées par des embâcles. »

Un exemple de cette gestion est présenté pour la crue de 1998 durant laquelle les débits à la sortie de Cornwall ont été drastiquement abaissés durant une période de 10 jours pour, d'une part minimiser le débit total au niveau de l'archipel de Montréal, et d'autre part augmenter la dénivelée entre les lacs des Deux Montagnes et le lac Saint-Louis pour minimiser les débits dans les rivières des Mille Îles et des Prairies. Ce cas est traité en détail à l'annexe C.

Cette gestion est à comparer avec celle survenue en 1976, année durant laquelle le débit total du fleuve à Montréal a atteint une valeur inégalée. L'absence de diminution du débit à Moses-Saunders au moment de la montée de crue de la rivière des Outaouais a résulté en un niveau d'eau extrême culminant à 24,36 m au lac des Deux Montagnes. Ce n'est que plusieurs jours plus tard que les débits sortants du lac Ontario ont été légèrement diminués. C'était, selon l'appréciation de l'auteur, trop peu, trop tard. Il eut fallu augmenter les débits provenant du lac Ontario plus tôt, sachant que les conditions étaient propices à un ruissellement important dans le bassin du lac Ontario et dans partie australe du bassin de la rivière des Outaouais pour ensuite les diminuer durant la crue de la rivière des Outaouais. Il faut toutefois réaliser qu'à cette époque, les modèles hydrologiques de prédiction en étaient à leurs premiers balbutiements et les réseaux d'information hydrologiques n'étaient pas aussi sophistiqués qu'à présent. Cet épisode est également présenté à l'annexe C.

L'enseignement qu'on peut tirer de l'analyse de ces cas extrêmes est qu'il est utile de prévoir une réserve de crue dans le lac Ontario dont la tranche serait de l'ordre de 20 cm pour permettre d'abaisser les débits à la sortie du lac Ontario à environ 5 000 m<sup>3</sup>/s durant une dizaine de jours, le temps qu'une crue rapide et intense de la rivière des Outaouais soit évacuée par le fleuve Saint-Laurent en aval sans créer trop de problèmes dans la région de Montréal.

Un nouveau plan de gestion a été tout récemment mis en opération pour le lac Ontario, le 7 janvier 2017<sup>6</sup>. Ce nouveau plan tient compte de préoccupations propres au temps présent et non de celles qui existaient à la fin des années 1950' au moment de la mise en opération de l'ouvrage Moses-Saunders. Ce plan peut être téléchargé<sup>7</sup> du site de la Commission (réf. 40). On y retrouve les règles de gestion préconisées. La Commission doit également s'assurer que le débit au barrage Moses-Saunders est conforme à l'ordonnance supplémentaire émise le

---

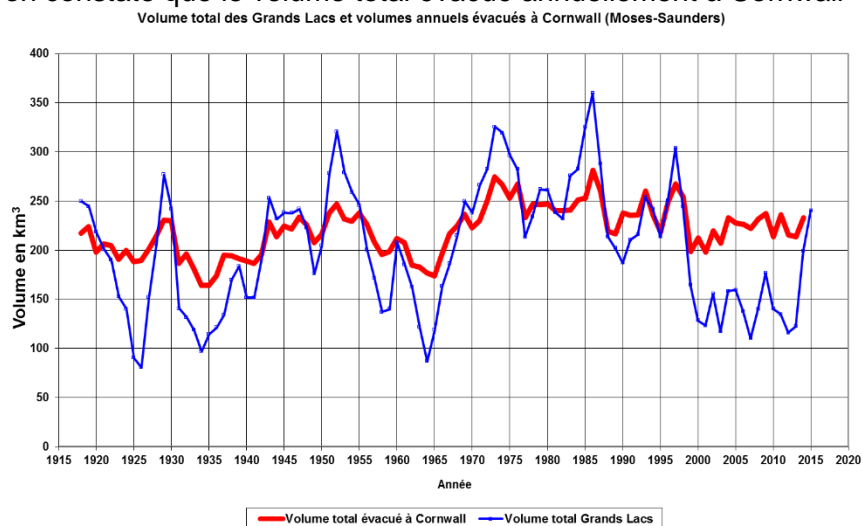
6 [http://ijc.org/fr/\\_islrbc/Home](http://ijc.org/fr/_islrbc/Home)

7 [http://ijc.org/en\\_/Plan2014/Compendium\\_Report](http://ijc.org/en_/Plan2014/Compendium_Report)

8 décembre 2016, qui peut également être consultée sur ce site. Tout comme pour le plan de gestion antérieur, la commission peut déroger des règles usuelles de gestion lors de conditions exceptionnelles. Le lecteur peut consulter la référence 44 pour en savoir plus. Ce qu'il faut en retenir c'est que le plan de gestion est modifié depuis le début janvier 2017, et que ce n'est qu'à l'usage qu'on pourra évaluer quelles seront les répercussions potentielles sur les hauts niveaux du lac Saint-Pierre.

### 3.3 VARIATION DES STOCKS EN EAU DU BASSIN DES GRANDS LACS

Il est évident que les modifications anthropiques apportées au système hydrique en ont modifié sa réponse, du moins régionalement. Il n'est donc pas recommandé d'évaluer les effets des changements climatiques en analysant un seul Grand Lac. Dans un contexte de changements climatiques anticipés, il est plutôt recommandé d'évaluer la variation des stocks en eau au niveau du bassin dans son entier. Les données de niveaux d'eau sont disponibles au pas de temps mensuel pour la période 1917-2015. Le détail des calculs et de l'analyse est présenté à l'annexe C. Sur la Figure 3-5, on constate que le volume total évacué annuellement à Cornwall est relativement stable depuis les 15 dernières années et que cette période est sensiblement similaire à celle des années 40' et du début des années 50'. Le volume total emmagasiné en 2015 était légèrement supérieur à la valeur moyenne des 100 dernières années.



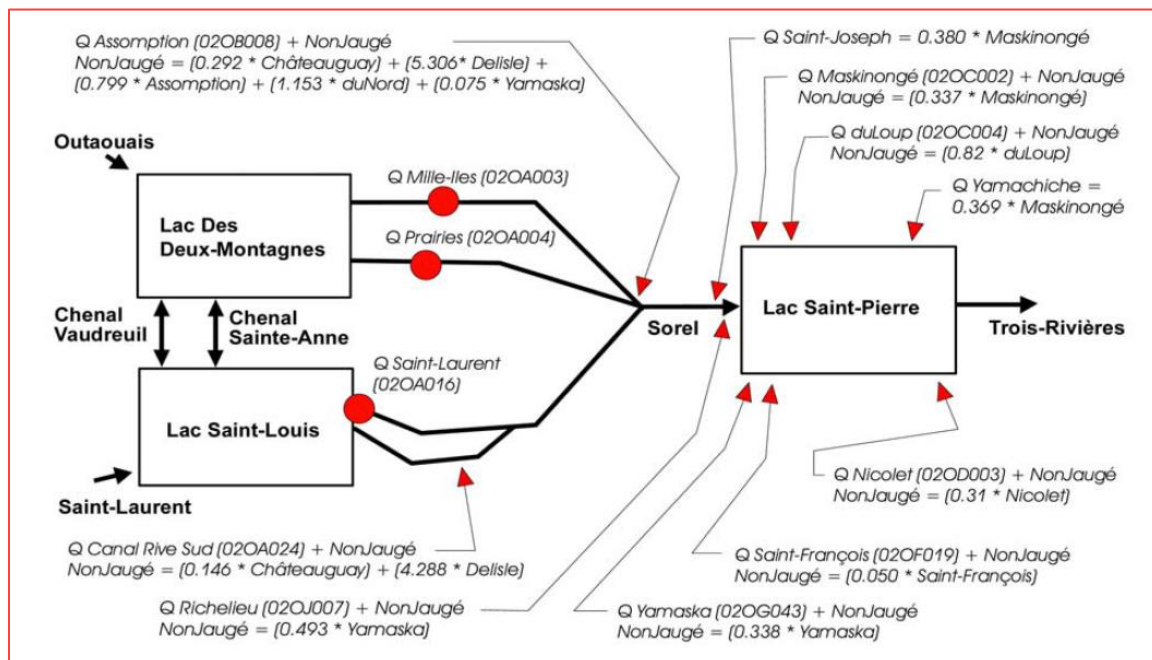
**Figure 3-5** Évolution des volumes utiles minimum, moyen et maximum pour les Grands Lacs

L'analyse de la variation du volume d'eau disponible pour l'ensemble des Grands Lacs permet donc de conclure qu'à ce jour, il n'y a pas d'effet identifiable pouvant être attribué aux changements climatiques sur les bilans des volumes d'eau provenant du système des Grands Lacs.

### 3.4 MODÉLISATION DES APPORTS EN EAU EN AVAL DU BASSIN DES GRANDS LACS

Morin et Bouchard (réf. 27) présentent un schéma illustrant la méthode de calculs des apports en eau pour obtenir le débit du fleuve Saint-Laurent dans le tronçon Montréal/Trois-Rivières. Ce schéma a été proposé par Morse en 1990 (Figure 3-6). On comprend que le débit du fleuve va en augmentant lorsqu'on se déplace vers l'aval, au fur et à mesure que s'ajoutent les débits provenant de tributaires. En tout, douze tributaires contribuent à augmenter le débit du fleuve entre Montréal et Trois-Rivières.

Les apports de ces tributaires varient dans le temps, ce qui produit une infinité de combinaisons de conditions d'apport possibles. À cette complexité s'ajoute la régularisation partielle de certains sous-bassins, rendant encore plus complexe la détermination de conditions pouvant être associées à une récurrence donnée.



Source : Morin et Bouchard, 2001

**Figure 3-6 Schéma décrivant les apports en eau du fleuve Saint-Laurent en amont de Trois-Rivières**

Dans le cadre du développement d'un modèle hydrodynamique opérationnel du fleuve Saint-Laurent on doit pouvoir connaître quels sont les apports provenant de ces tributaires au pas de temps journalier. C'est ce qui justifie le développement du modèle présenté à la Figure 3-6. On notera que les formules affichées sur cette figure ont été établies durant les années 1990' et qu'à notre avis elles devraient être réévaluées puisque nous disposons d'un quart de siècle de données supplémentaires. En effet certaines équations de cette figure doivent être réévaluées

car certaines séries de débits moyens journaliers contiennent des données inexactes durant certaines périodes, tel que l'a démontré Dupuis (2007, réf. 55 et 2014, réf. 21).

On reconnaît toutefois que le niveau d'eau moyen journalier du lac Saint-Pierre est tributaire de la combinaison de tous ces apports moyens journaliers ainsi que du niveau d'eau moyen journalier établi à la limite aval du bief, soit à Trois-Rivières. En d'autres termes, à une combinaison d'apports donnés correspond un niveau donné du lac Saint-Pierre.

C'est donc le niveau d'eau moyen journalier du lac Saint-Pierre qui doit être considéré comme étant un excellent intégrateur de la somme de toutes ces conditions qui agissent sur le système hydrique de ce tronçon.

### 3.4.1 LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS

Nous disposons des débits moyens journaliers à la centrale de Carillon pour la période 1980-2008. Cette série a été reconstituée par Hydro-Québec suite aux mesures réalisées durant la crue de 2008 lors d'une importante campagne de mesures qui avait pour objectif d'établir avec précision la répartition des débits parmi les exutoires du lac des Deux Montagnes (réf. 53). Suite à cette campagne, certaines relations niveau-débit ont été corrigées.

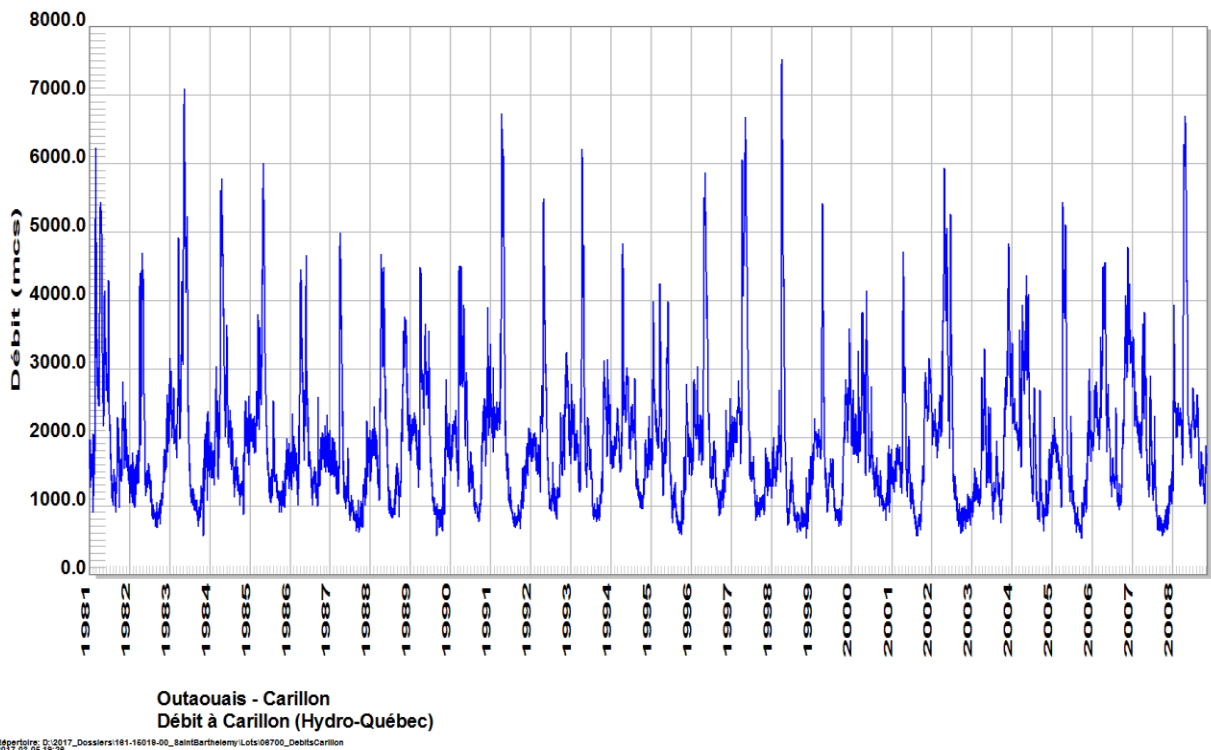


Figure 3-7 Débit de la rivière des Outaouais à Carillon

Cette série de débits moyens journaliers est d'une durée suffisante pour permettre d'établir que le débit de la rivière des Outaouais peut atteindre près de 8 000 m<sup>3</sup>/s en période de crue. Cette valeur est donc à ajouter au débit du fleuve Saint-Laurent provenant du lac Saint-François. La décennie 1990 voit plusieurs épisodes de crues durant lesquels le débit a été supérieur à 6 000 m<sup>3</sup>/s. Un débit de 7 000 m<sup>3</sup>/s n'a été dépassé que deux fois depuis 1981. La crue extrême pour cette période s'est produite en 1998. La durée du pic de crue est toutefois faible, ce qui permet une certaine régularisation du débit total entrant l'Archipel de Montréal en forçant une diminution du débit sortant du lac Ontario. Mentionnons toutefois qu'en 2017, le débit de crue aurait atteint les 9 300 m<sup>3</sup>/s en amont du barrage de Carillon. Cette valeur exceptionnelle correspondrait à une crue de récurrence 375 ans si on s'appuie sur toutes les années de mesures ou à une crue de près de 1 000 ans si on retient la période 1986-2016.

---

### 3.4.2 LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE L'ASSOMPTION

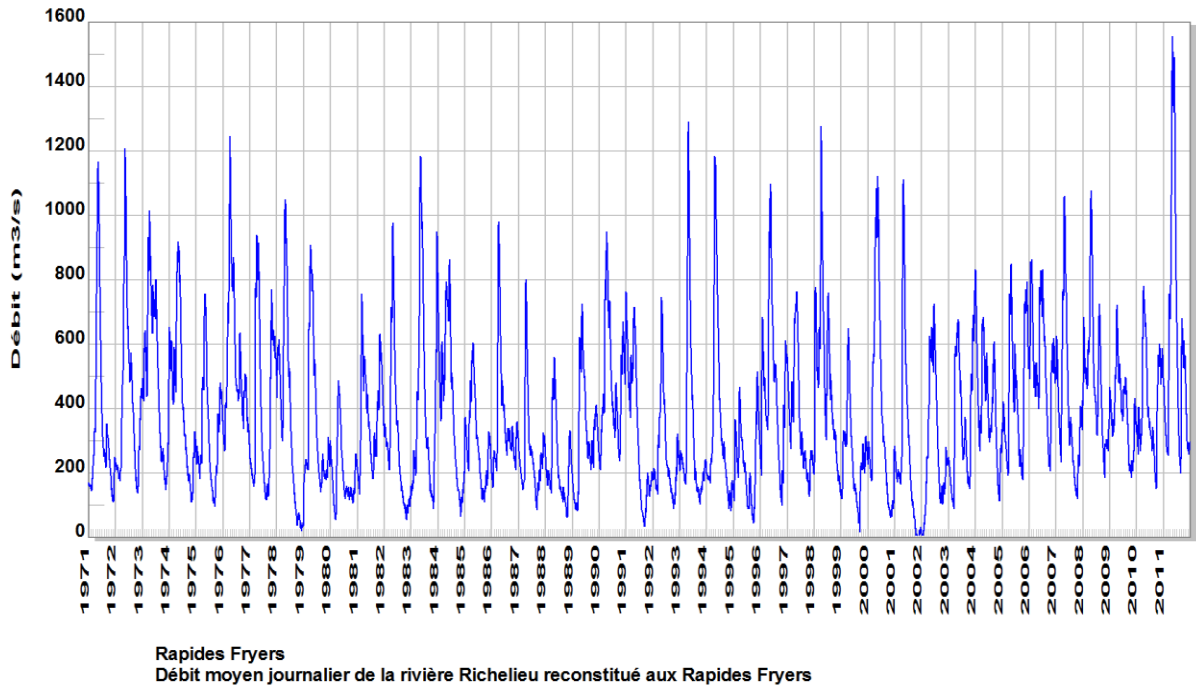
Le débit de la rivière l'Assomption doit être ajouté aux débits provenant du lac Saint-Louis et des rivières des Prairies et des Mille Îles. Comme le bassin est localisé au nord du fleuve, la fonte a souvent lieu plus tardivement que celle des bassins situés au sud, notamment ceux des rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et Nicolet. Le débit maximum mesuré à Joliette ne dépasse pas les 300 m<sup>3</sup>/s. Considérant les apports provenant du sous bassin intermédiaire en aval de la station et le type de terrain, même en doublant le débit, l'apport de la rivière l'Assomption n'est pas considéré contribuer significativement aux variations des niveaux d'eau extrême du fleuve Saint-Laurent. Il ne représente en effet qu'un faible pourcentage du débit total du fleuve en aval de Repentigny lors du pic de crue du fleuve Saint-Laurent et le pic de crue est souvent déphasé par rapport à celui de la rivière des Outaouais.

---

### 3.4.3 LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE RICHELIEU

Quoique de moindre importance que le débit provenant de la rivière des Outaouais, le débit de la rivière Richelieu, qui se jette dans le fleuve Saint-Laurent à Sorel, contribue au rehaussement du niveau du lac Saint-Pierre. L'hydrogramme des débits aux rapides Fryers est présenté à la Figure 3-8. Le débit dépasse rarement 1 200 m<sup>3</sup>/s. Une crue exceptionnelle a été vécue au printemps 2011, qui a vu le débit dépasser les 1 500 m<sup>3</sup>/s.

Le pic de crue de cette rivière se produit habituellement plus tardivement que celui du fleuve Saint-Laurent à Sorel, du fait que l'importante superficie du lac Champlain lamine significativement la crue. Il faut savoir que les débits de cette rivière sont fortement influencés par la constriction de la rivière Richelieu aux rapides de Saint-Jean à Saint-Jean-sur-Richelieu. Le laminage produit toutefois une période de crue qui s'étire dans le temps et qui se termine vers la mi-juillet.

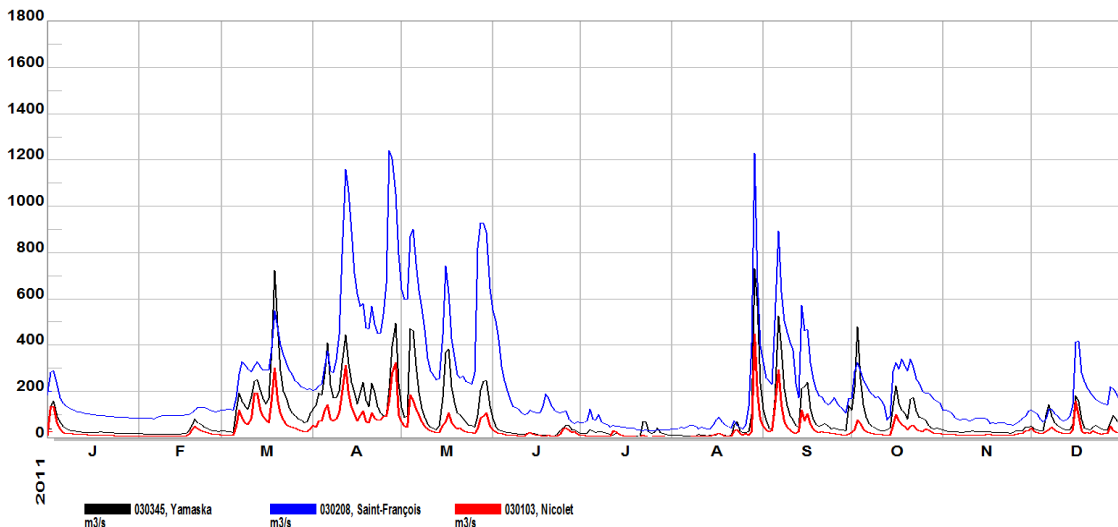


**Figure 3-8 Hydrogramme des débits moyens journaliers pour la rivière Richelieu aux rapides Fryers**

On ne peut donc pas simplement additionner les débits des pics de crues du fleuve et de la rivière Richelieu à Sorel pour établir les niveaux extrêmes du lac Saint-Pierre. On doit considérer le décalage entre les deux pics de crue.

### 3.4.4 LES DÉBITS DES RIVIÈRES YAMASKA, SAINT-FRANÇOIS ET NICOLET

Les bassins versants drainés par ces trois rivières couvrent une région qui est au sud-est du lac Saint-Pierre. Ces rivières se déversent dans le lac Saint-Pierre, en rive droite du fleuve. Des stations, opérées par le MDDELCC, sont localisées à une certaine distance des exutoires pour éviter l'influence de la variation du niveau du lac Saint-Pierre sur les niveaux mesurés aux stations. Les débits calculés à ces stations sont donc forcément inférieurs à ceux qui seraient mesurés à leur exutoire dans le lac Saint-Pierre. Les hydrogrammes présentés à la Figure 3-9 pour l'année 2011 permettent quand même d'établir l'ordre de grandeur des débits issus de ces bassins versants. Cette année était particulière, caractérisée par la plus forte crue de la rivière Richelieu en avril et mai et par des précipitations importantes produites par le passage de la dépression tropicale Irène à la fin août. Ces hydrogrammes démontrent une quasi-simultanéité dans la réponse des trois bassins versants. On peut déduire que la somme des apports de ces trois rivières peut dépasser les 2 000 m<sup>3</sup>/s. La réponse des bassins versants à des événements pluvieux exceptionnels est rapide, tant en montée qu'en descente de crue. L'importance que peut atteindre la somme de ces apports indique que ces trois rivières ont une influence sur le niveau d'eau du lac Saint-Pierre à certains moments de l'année.



**Figure 3-9 Hydrogrammes des rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet pour l'année 2011 (pour une portion du bassin versant total)**

### 3.5 CONCLUSIONS

L'analyse des conditions hydrologiques qui influencent la variation des niveaux du lac Saint-Pierre indique que la régularisation des débits provenant des bassins des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais a significativement modifié les conditions hydrologiques du bief Montréal/Trois-Rivières et du lac Saint-Pierre.

L'information consultée permet d'établir que la période à retenir pour réaliser la révision des cotes de crues doit assurément être postérieure à la mise en opération de la voie maritime du Saint-Laurent. L'étude de Favre et al, produite en 2010 (réf. 22) repousse le début de cette période au début des années 1970'. La comparaison de la gestion des crues de 1976 force à repousser le début de la période d'analyse à la fin des années 1970'.

Finalement, une gestion accrue des débits provenant de la rivière des Outaouais durant les années 1980' fait glisser le début de la période propice aux analyses au début des années 1980'. C'est aussi depuis le début des années 1980' que les niveaux d'eau du lac Saint-Pierre sont mesurés de façon continue.

Donc, pour toutes ces considérations, on retient, dans le cadre de cette étude, les séries temporelles couvrant la période 1980-2016 pour réaliser les analyses statistiques sur les valeurs extrêmes qui servent à déterminer les cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans pour la MRC de D'Autray. On obtient ainsi des séries de données d'une durée 37 années qui sont considérées comme étant homogènes et représentatives des conditions actuelles.





# 4 DÉTERMINATION DU GRADIENT HYDRAULIQUE DANS LE SECTEUR D'ÉTUDE

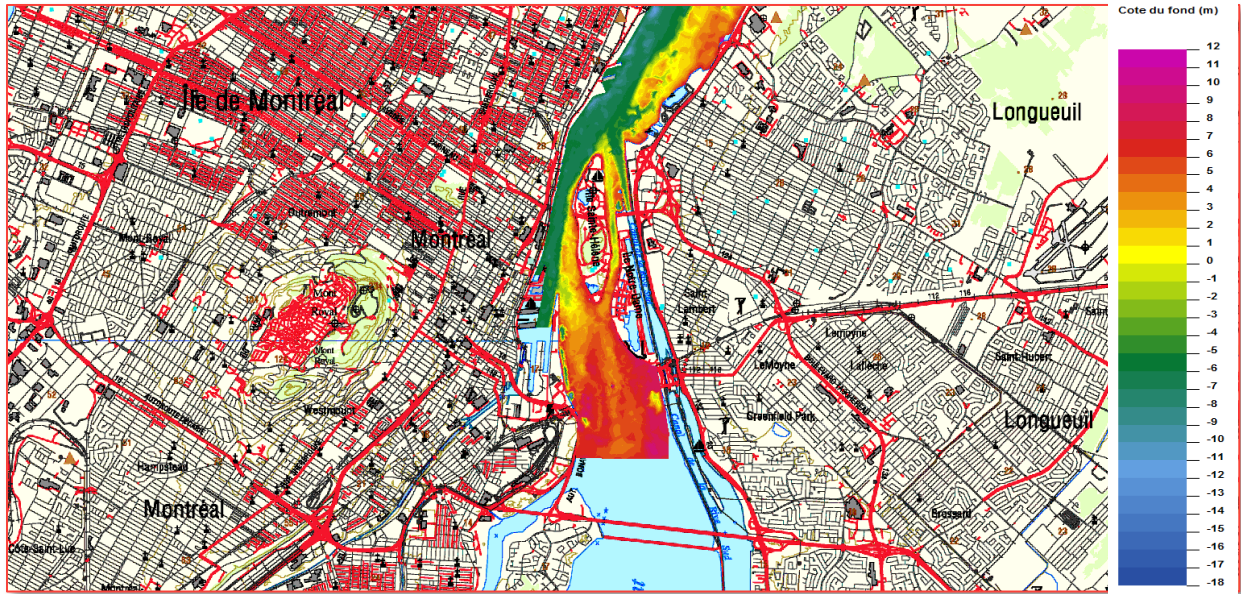
Un modèle hydrodynamique numérique bidimensionnel existe, qui simule les écoulements dans le tronçon du fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Trois-Rivières. Ce modèle est opéré par une équipe de spécialistes en modélisation fluviale des Services Hydrologiques Nationaux d'Environnement Canada qui est basée à Québec. Ce modèle calcule les conditions d'écoulement dans le fleuve à chaque jour à 18h00 UTC. Une description des bases ayant servi à la création du modèle est présentée dans la référence 27. Les scénarios de référence y sont décrits. Le modèle est également utilisé pour réaliser des analyses poussées sur les écosystèmes du Saint-Laurent (réf. 28). La qualité de la représentation des conditions hydrodynamiques peut être appréciée en consultant les fiches de qualité produites à chaque jour qui comparent les résultats du modèle de simulation aux valeurs des stations de mesures. De telles fiches sont présentées aux sections 5.3.2 et 5.3.3.

L'équipe de modélisation nous a gracieusement fourni les résultats pour cinq cas de simulations hydrodynamiques. Deux cas représentent des conditions réelles, soient les conditions d'écoulement pour les dates du 11 et du 18 novembre 2016, dates durant lesquelles des niveaux d'eau ont été relevés par la firme d'arpenteurs géomètres Laurier Isabelle le long des rives de Saint-Barthélemy. Les trois autres cas sont des conditions d'écoulement typiques représentatives de crues de printemps. Les traitements de ces cinq cas sont présentés à l'annexe L. Une synthèse de la démarche d'analyse est présentée dans ce chapitre, avec la présentation de résultats pertinents à l'analyse. L'auteur tient à remercier les spécialistes d'Environnement Canada pour leur support.

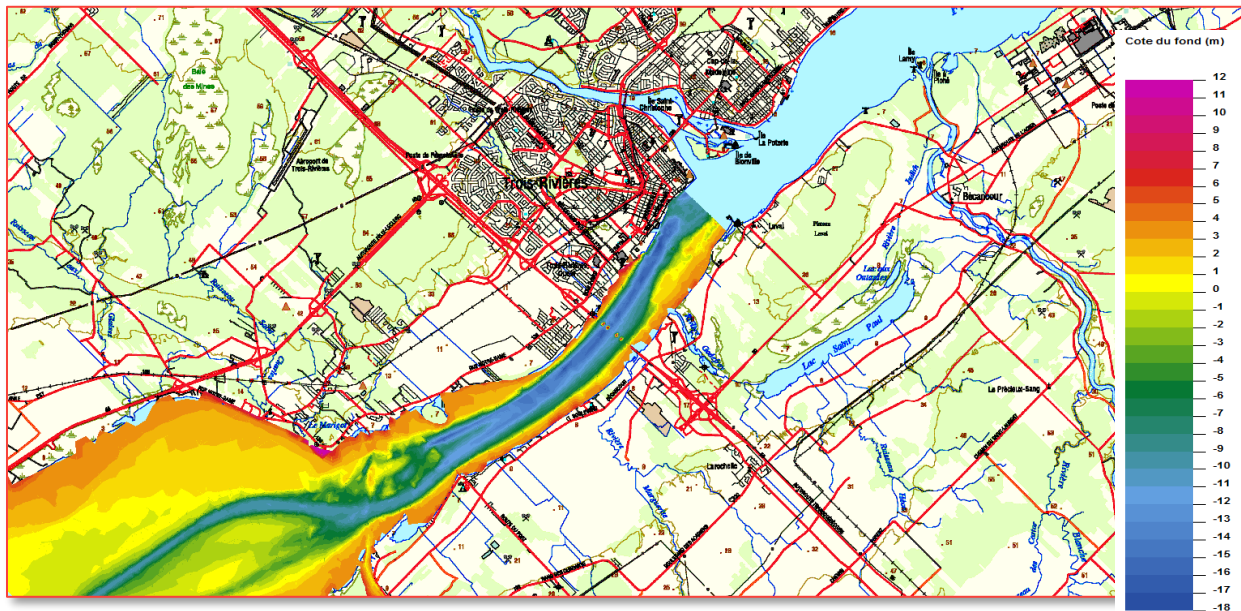
---

## 4.1 DOMAINE MODÉLISÉ

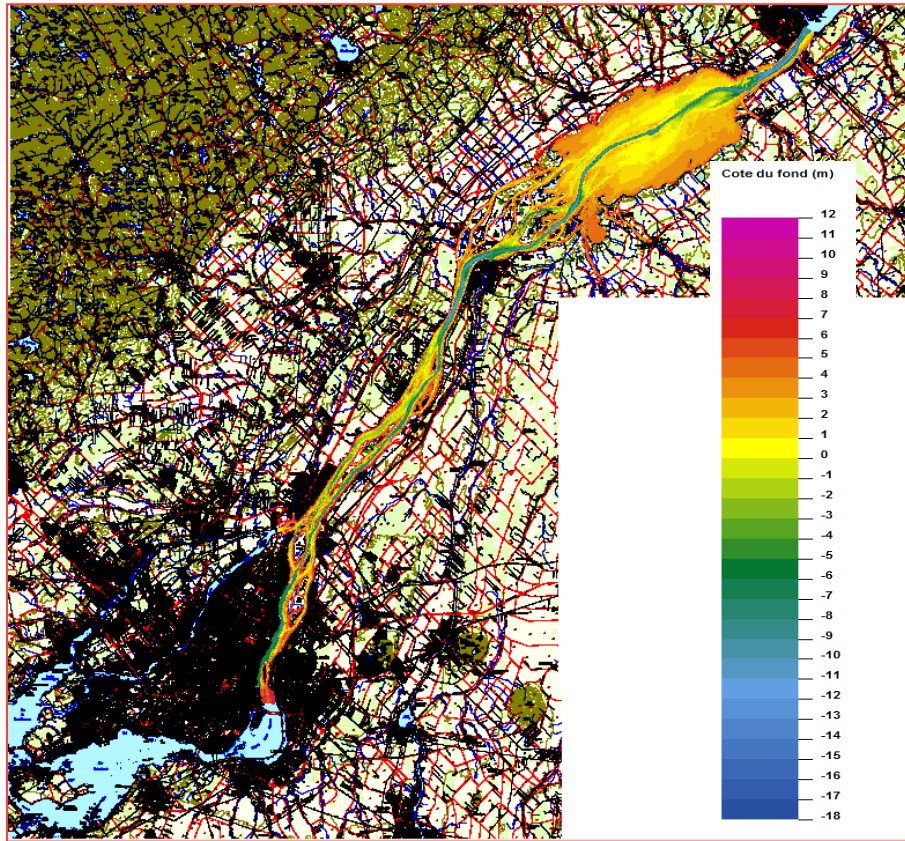
Le tronçon du fleuve qui est modélisé se situe entre le pont Champlain à Montréal et l'embouchure de la rivière Saint-Maurice à Trois-Rivières. La limite amont du modèle numérique est présentée à la Figure 4-1 alors que la limite aval est présentée à la Figure 4-2. On notera que les empreintes des piliers du pont Laviolette sont intégrées au modèle. Le domaine entier est présenté à la Figure 4-3. La palette de couleur permet d'afficher la cote du fond du cours d'eau. Le modèle numérique est constitué de 135 440 éléments triangulaires de type T6L et de 276 433 nœuds.



**Figure 4-1** Limite amont du modèle numérique d'Environnement Canada à Montréal

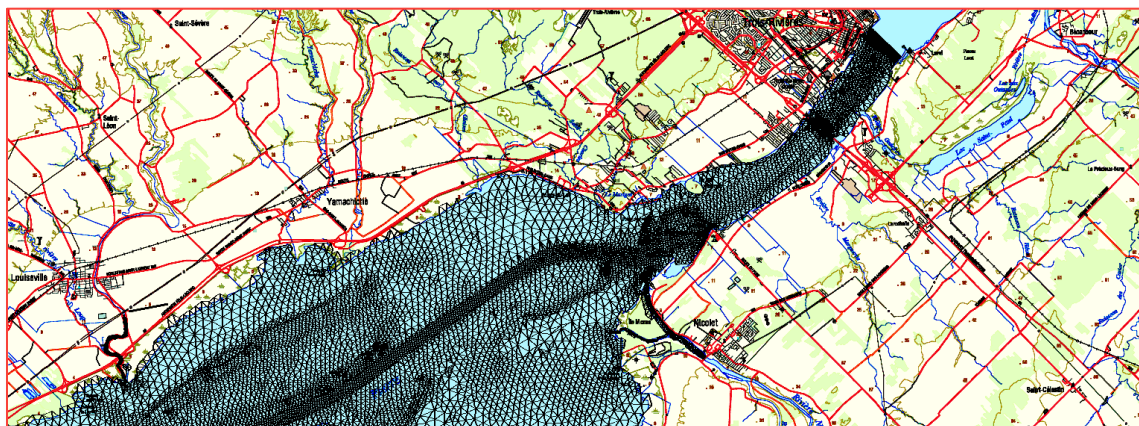


**Figure 4-2** Limite aval du modèle numérique d'Environnement Canada située à Trois-Rivières



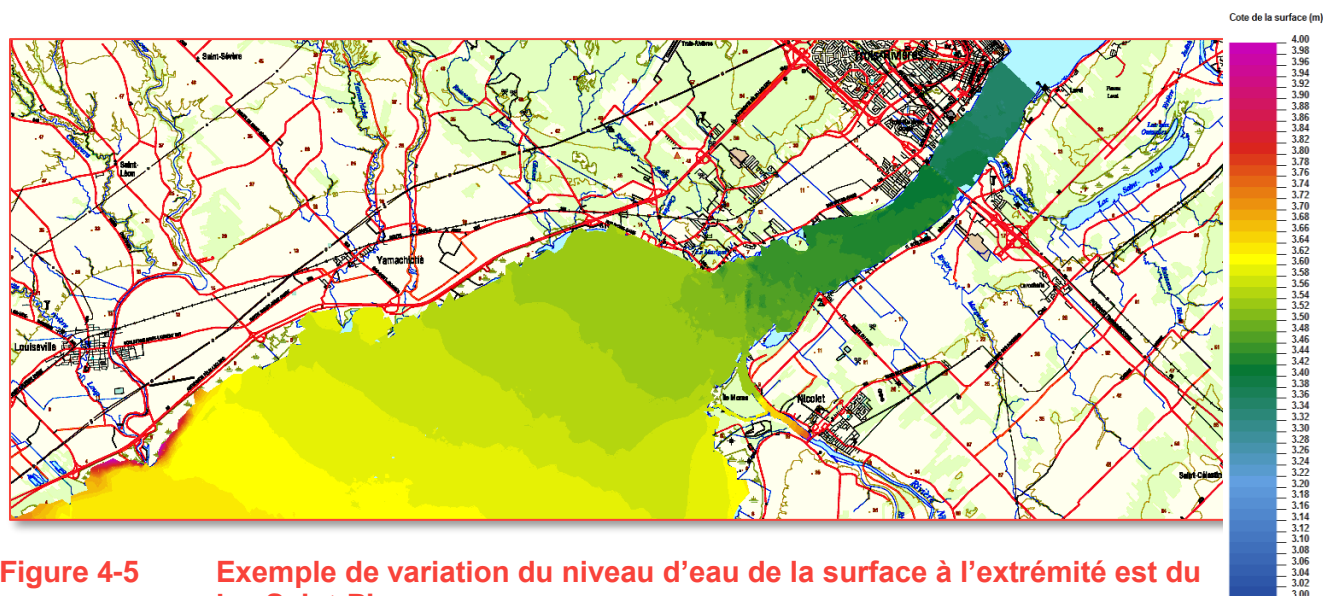
**Figure 4-3**      **Domaine entier couvert par le modèle hydrodynamique d'Environnement Canada**

Ces triangles couvrent le domaine et forment ce que l'on appelle « un maillage ». La densité des triangles est choisie de façon à bien représenter les particularités du domaine, notamment le chenal de la voie maritime, comme on peut le constater à la Figure 4-4.



**Figure 4-4**      **Maillage du domaine à l'extrémité aval du modèle**

Le niveau d'eau est imposé à la limite aval et des débits sont imposés à la limite amont ainsi qu'à d'autres limites ouvertes du domaine qui servent à inclure les apports des rivières du bassin intermédiaire. Le niveau d'eau est calculé à tous les points sommets des triangles. L'objectif est d'obtenir une représentation adéquate de la surface de l'eau partout sur le domaine lorsqu'on impose ces conditions aux limites. La qualité des résultats obtenus peut être établie à chaque jour pour le modèle opérationnel en consultant des fiches de validation produites suite à chaque simulation. De telles fiches sont présentées aux sections 5.3.1 et 5.3.2. Ces fiches confirment l'excellente qualité des résultats obtenus du modèle. En effet les résultats, lorsque comparés aux mesures du niveau d'eau en certains points du domaine, notamment aux stations limnimétriques installées par le gouvernement fédéral le long du fleuve Saint-Laurent, ne diffèrent que de quelques centimètres. Des mesures ponctuelles, comme celles réalisées les 11 et 18 novembre 2016 à Saint-Barthélemy par la firme d'arpenteurs Laurier Isabelle, permettent également d'apprécier la précision du modèle (consulter la section 5.3 portant sur la ligne naturelle des hautes eaux établie pour Saint-Barthélemy).

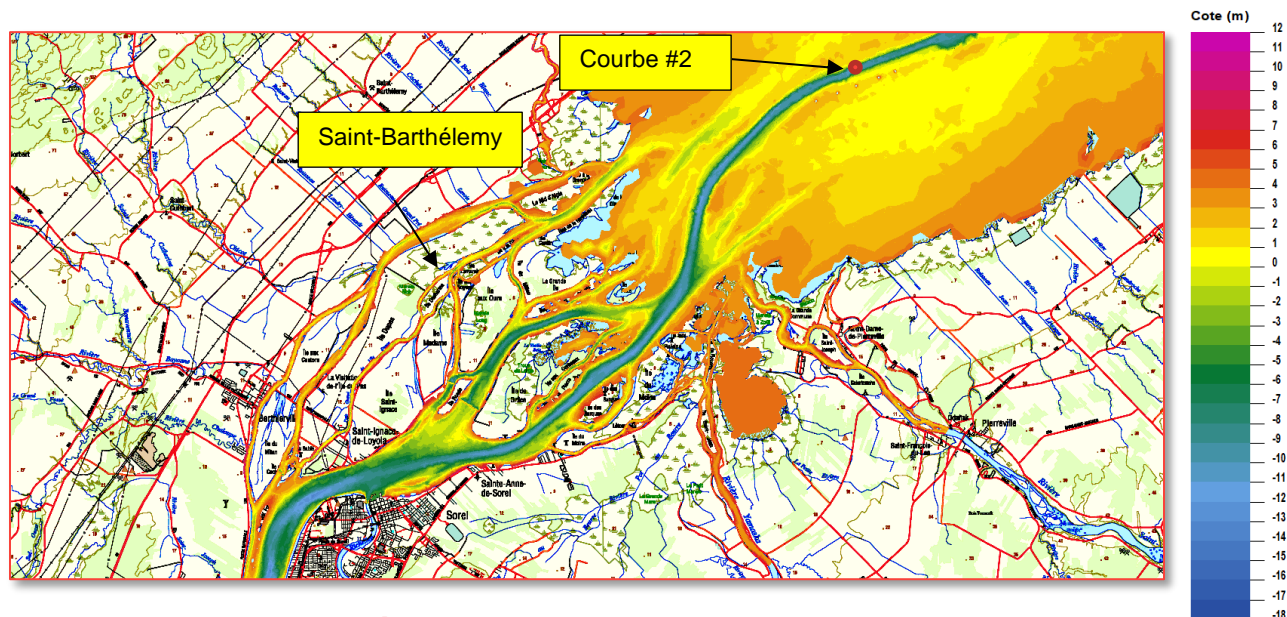


**Figure 4-5 Exemple de variation du niveau d'eau de la surface à l'extrémité est du lac Saint-Pierre**

On peut représenter la variation spatiale du niveau de la surface de l'eau calculée avec ce modèle au moyen d'une palette de couleurs comme présenté à la Figure 4-5. Chaque couleur représente une tranche d'élévation particulière de la surface.

## 4.2 LA RÉGION DE SAINT-BARTHÉLEMY

La municipalité de Saint-Barthélemy est située au nord-ouest à proximité de la limite ouest du lac Saint-Pierre. Le chenal du Nord mouille ses rives au sud (Figure 4-6).



**Figure 4-6 Saint-Barthélemy et le chenal du fleuve Saint-Laurent**

La présence du chenal de navigation du fleuve Saint-Laurent est bien visible, de couleur bleu-turquoise sur la figure précédente. La station de mesures du niveau d'eau du lac Saint-Pierre de la courbe #2, qui est d'une grande importance pour la détermination des cotes de crues, y est également indiquée. Notons également la présence de reversoirs (ou seuils) qui ont pour objet de concentrer les débits vers le chenal de navigation lors d'épisodes de faible débit. Seul le chenal du Nord, qui est le plus à l'ouest sur la Figure 4-7, n'est pas obstrué par ce type d'ouvrage. Certaines rives sont donc affectées par la présence de ces reversoirs, qui ont eu pour effet de rehausser les niveaux d'eau le long de ses rives en amont.

La municipalité de Saint-Barthélemy y est également indiquée, située au nord-ouest à proximité de la limite ouest du lac Saint-Pierre. Le chenal du Nord mouille ses rives au sud. C'est le long de ce chenal que des relevés ont été réalisés selon la méthode botanique experte pour établir la ligne naturelle des hautes eaux selon la méthode botanique experte en 2016. Ces relevés permettent d'inférer l'élévation approximative qu'atteindrait la ligne naturelle des hautes eaux plus en amont. Cet aspect est traité à la section 5.3.

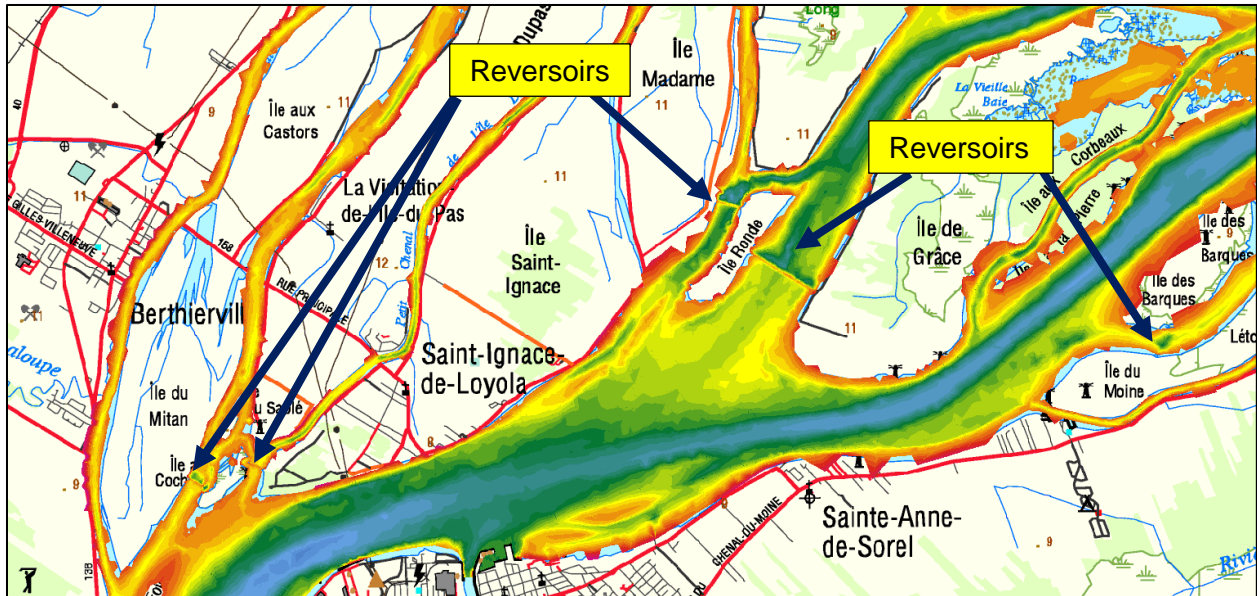


Figure 4-7 Localisation des reversoirs dans les îles de Sorel

### 4.3 CAS DE SIMULATIONS

Les cinq cas de simulations obtenus d'Environnement Canada sont identifiés au tableau 4-1. Les deux premiers cas sont ceux qui correspondent aux conditions hydrologiques des 11 et 18 novembre 2016, dates auxquelles des relevés de niveaux d'eau ont été réalisés le long des rives du fleuve Saint-Laurent à Saint-Barthélemy. Les trois derniers cas s'avèrent être des scénarios typiques de crues de printemps qui ont été établis par Environnement Canada (réf. 27). Fait particulier, on peut noter que le débit à Sorel le 18 novembre était inférieur à celui du 11 novembre mais que le niveau du lac Saint-Pierre était plus élevé. Cela s'explique par un niveau du fleuve plus élevé imposé à la limite aval du modèle à Trois-Rivières pour la simulation du 18 novembre. Les résultats obtenus (voir section 5.3) sont concluants.

Rappelons au lecteur qu'une station limnimétrique mesure le niveau du lac Saint-Pierre à la courbe #2 du chenal de navigation (Figure 4-6). Les cotes obtenues du modèle à cette station sont indiquées dans la dernière colonne du tableau. Les scénarios de simulations sont décrits dans Morin et Bouchard (réf. 27) et couvrent toute la gamme des conditions, de faible débit à très forts débits. La consultation de ces scénarios permet de qualifier une cote de 3,65 m comme représentative d'une condition de faible débit alors qu'une cote de 7,74 m (scénario 8P) s'avère être représentative d'une crue exceptionnelle. On en déduit que les niveaux du lac Saint-Pierre peuvent théoriquement varier d'environ 4 m. Les simulations obtenues couvrent une large partie de l'espace des solutions. Ces résultats permettent de calculer des niveaux d'eau pour d'autres conditions hydrologiques par interpolation dans l'espace des solutions ainsi défini.

**Tableau 4-1 Cotes tirées des cas simulés obtenus d'Environnement Canada**

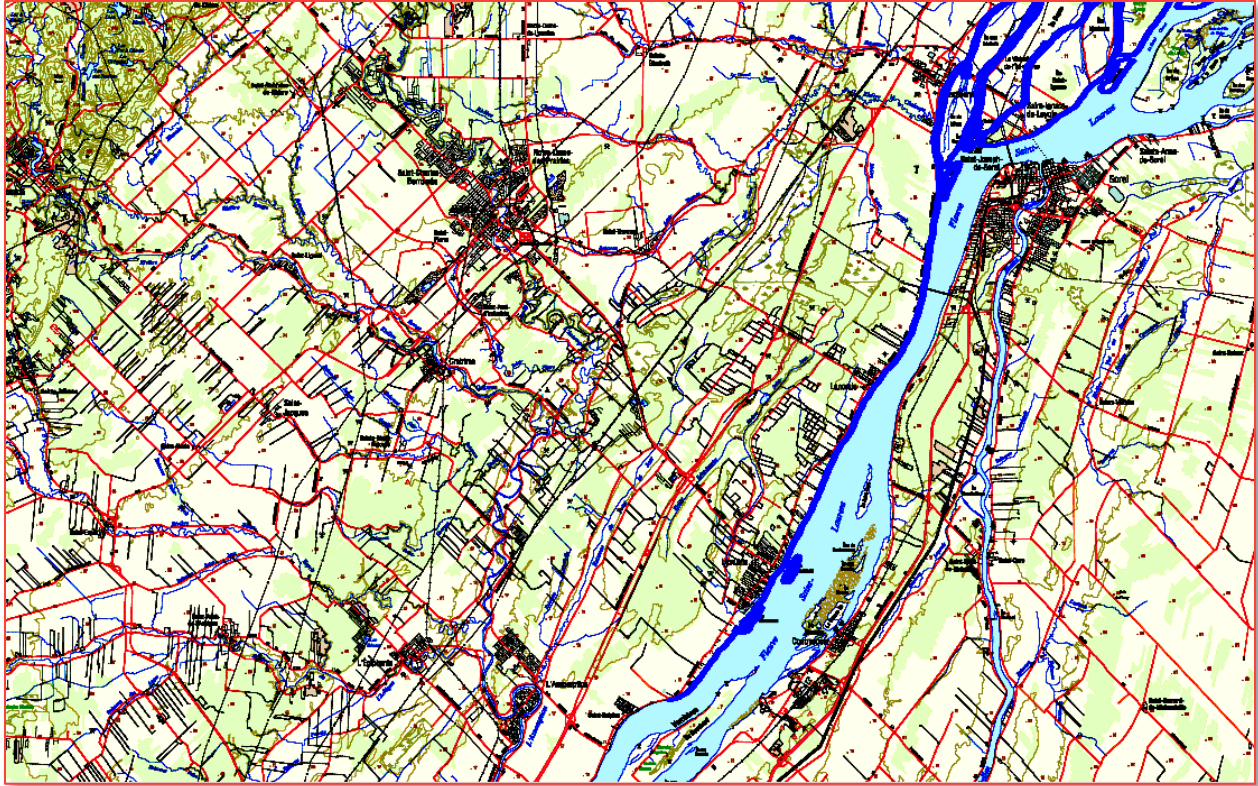
CAS	DATE OU SCÉNARIO	DÉBIT DU FLEUVE À SOREL (M <sup>3</sup> /S)	COTE SIMULÉE DU LAC SAINT-PIERRE À LA COURBE #2 (M)	COTE SIMULÉE À LA STATION DE VARENNES (M)
1	2016-11-11	8 626	3,65	4,82
2	2016-11-18	8 534	4,14	5,13
3	Scénario 6P	14 500	5,95	7,23
4	Scénario 7P	17 500	6,67	8,05
5	Scénario 8P	20 500	7,74	9,05

## 4.4 NIVEAUX D'EAU OBTENUS PAR MODÉLISATION

Des parcours sont tracés le long des berges. Ces parcours sont formés de segments de droites d'une longueur d'au plus 200 m (Figure 4-8 et Figure 4-9). Chaque point sommet du parcours est projeté sur le maillage d'un résultat de modélisation pour en extraire de l'information (cote du fond, vitesse, profondeur d'eau, cote de la surface de l'eau). Pour ce mandat nous sommes intéressés à obtenir la cote de la surface de l'eau à chacun de ces points. Cette opération d'extraction des cotes de la surface est définie comme étant la « projection d'un parcours sur un résultat de modélisation ».



**Figure 4-8 Localisation des parcours le long des rives pour l'extraction de la cote de la surface de l'eau dans la région des Îles de Sorel**



**Figure 4-9** Parcours en rive gauche du fleuve Saint-Laurent dans la région sud de la MRC

Les résultats des simulations hydrodynamiques pour les cinq cas obtenus d'Environnement Canada sont présentés aux sections qui suivent sous forme de planches de couleurs illustrant la variabilité spatiale de la cote de la surface de l'eau. Chaque zone de même couleur indique une élévation qui se situe dans une tranche d'élévation de 2 cm pour la Figure 4-10. Comme la cote du lac Saint-Pierre varie de quelques mètres, selon qu'il s'agit de conditions d'étiage ou de crue, l'échelle retenue pour chaque simulation couvre des tranches d'élévations différentes. Le lecteur doit donc porter attention aux valeurs minimum et maximum qui sont affichées dans la légende. Le lecteur doit également noter que la simulation est réalisée pour des conditions d'écoulement permanent et que, de ce fait, les effets de la marée ne sont pas inclus au modèle.

Les figures couvrant le domaine dans son entier, avec différentes palettes de couleur, sont présentées à l'annexe L.



#### 4.4.1 SIMULATION 1. CONDITIONS DU 11 NOVEMBRE 2016, DÉBIT DE 8 626 M<sup>3</sup>/S

La simulation 1 présente la surface du fleuve pour la journée du 11 novembre 2016. C'est durant cette journée que des cotes des eaux du jour ont été relevées par la firme d'arpenteurs géomètres Laurier Isabelle. Les élévations affichées varient entre les cotes 3,2 et 4,2 m à intervalle de 2 cm. Une analyse plus approfondie est présentée au chapitre 5. Les valeurs mesurées in-situ ont été comparées à celle tirées du modèle pour valider la qualité du modèle (section 5.3).

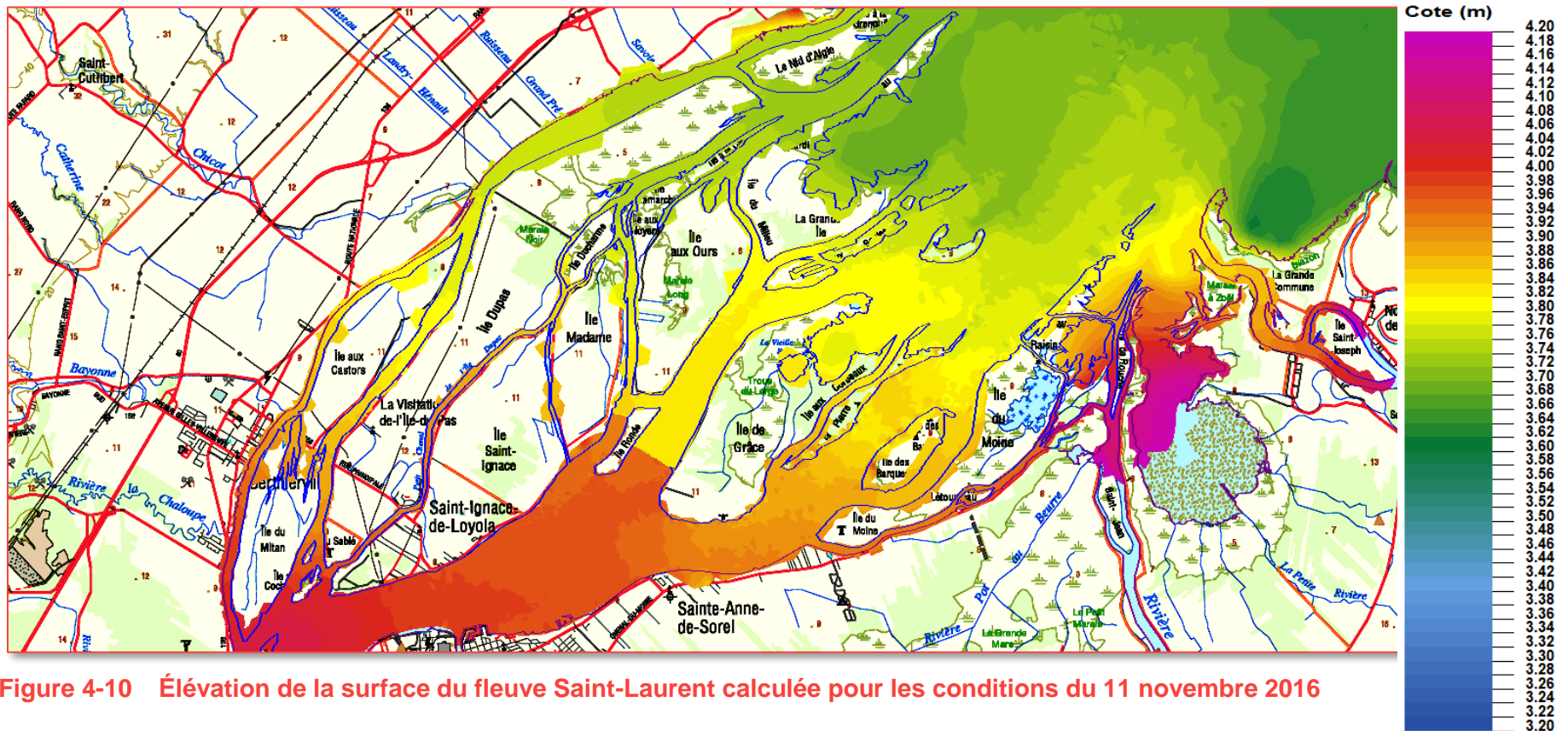


Figure 4-10 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 11 novembre 2016

#### 4.4.2 SIMULATION 2. CONDITIONS DU 18 NOVEMBRE 2016, DÉBIT DE 8 535 M<sup>3</sup>/S

La simulation 2 présente la surface du fleuve pour la journée du 18 novembre 2016. C'est durant cette journée que l'auteur a effectué une visite des lieux à Saint-Barthélemy, accompagnés du Maire Jacques Patry et du conseiller Robert Sylvestre. Les cotes des eaux du jour ont été relevées par la firme d'arpenteurs géomètres Laurier Isabelle. Les élévations affichées varient entre les cotes 4,0 et 4,5 m à intervalle de 1 cm. Une analyse plus approfondie est présentée au chapitre 5.

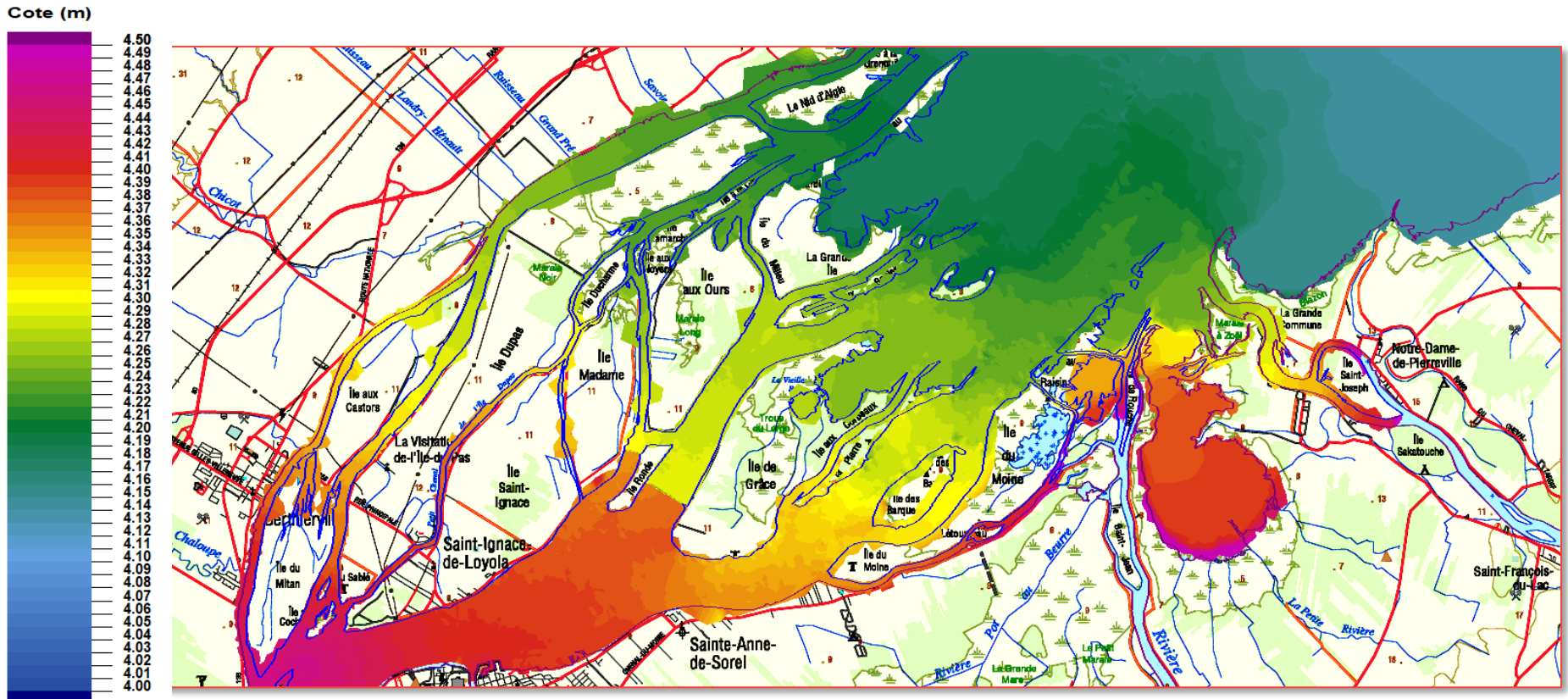


Figure 4-11 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 18 novembre 2016



#### 4.4.4 SIMULATION 4. CRUE DE PRINTEMPS DE 17 500 M3/S - SCÉNARIO P7

Le scénario P7 est l'un des scénarios retenus par Morin et Bouchard (réf. 27) dans leur rapport portant sur les bases de la modélisation du Tronçon Montréal/Trois-Rivières. La lettre P indique qu'il s'agit de conditions de printemps, par opposition à E qui indique une simulation pour des conditions estivales. Selon le tableau 8 de la référence 27, le débit à Sorel est de 17 500 m<sup>3</sup>/s et la condition était alors considérée comme étant représentative des conditions de crues de récurrence de 16 ans (en 2001).

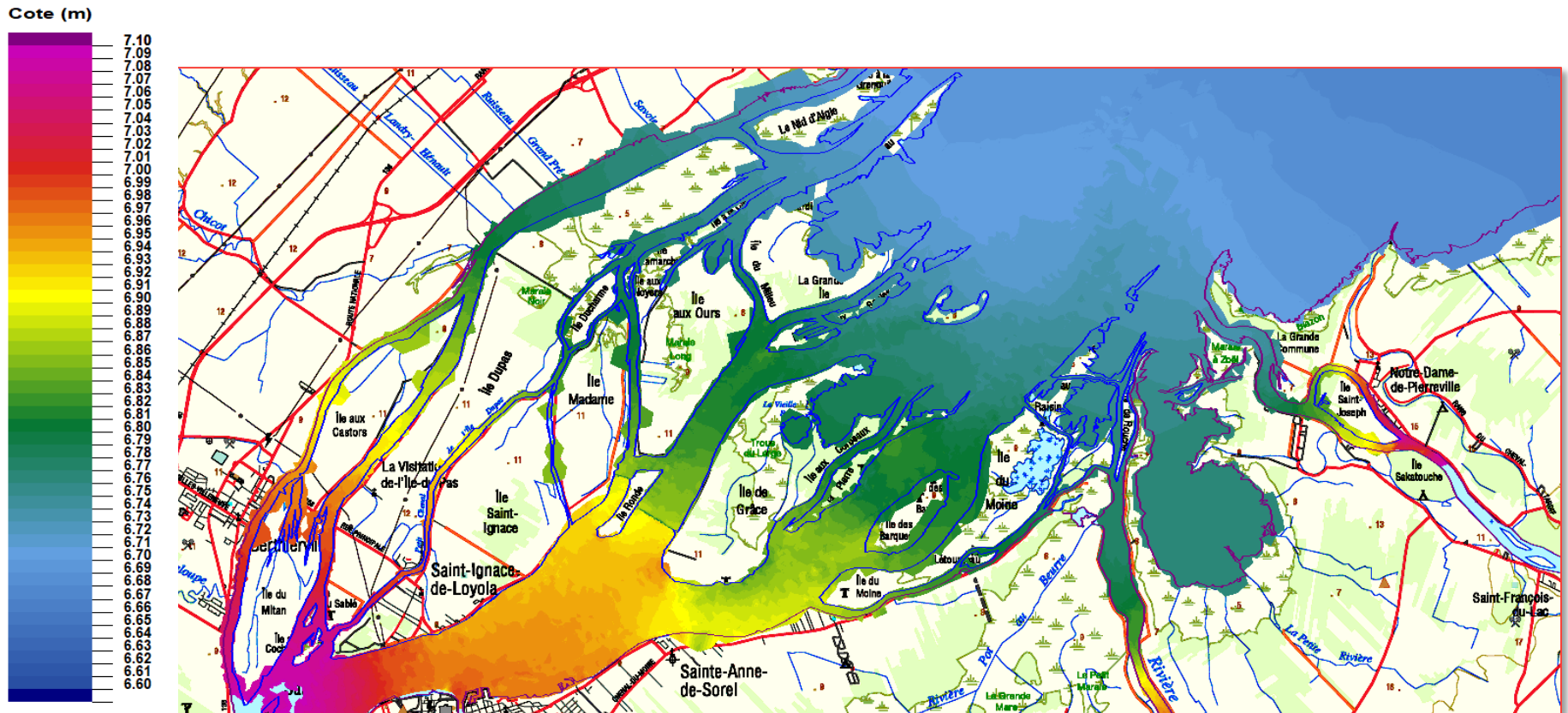


Figure 4-13 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P7



## 4.5 RÉSULTATS DE LA PROJECTION DE POINTS D'INTÉRÊT SUR LES RÉSULTATS OBTENUS PAR MODÉLISATION

La cote de la surface de l'eau tirée des cas modélisés par Environnement Canada est présentée au Tableau 4-2 pour 14 points sélectionnés en rive gauche du fleuve le long du parcours Autray-01. Ces points peuvent être localisés aux figures qui suivent, en procédant de l'aval vers l'amont. Le lecteur notera que les cotes affichées sont celles obtenues de la simulation 3. Toutes les valeurs extraites des simulations sont présentées dans les tableaux de l'annexe J.



Figure 4-15 Cote le long du parcours Autray-01. Région de Saint-Barthélemy. Simulation 3

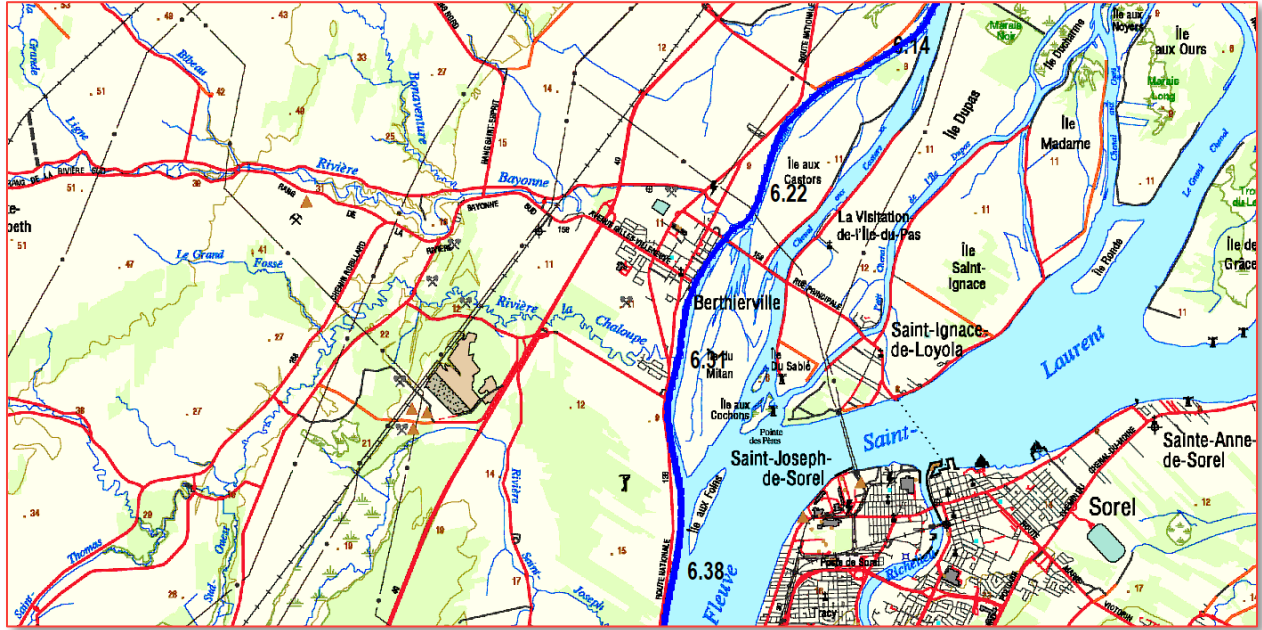


Figure 4-16 Cote le long du parcours Autray-01. Région de Berthierville. Simulation 3

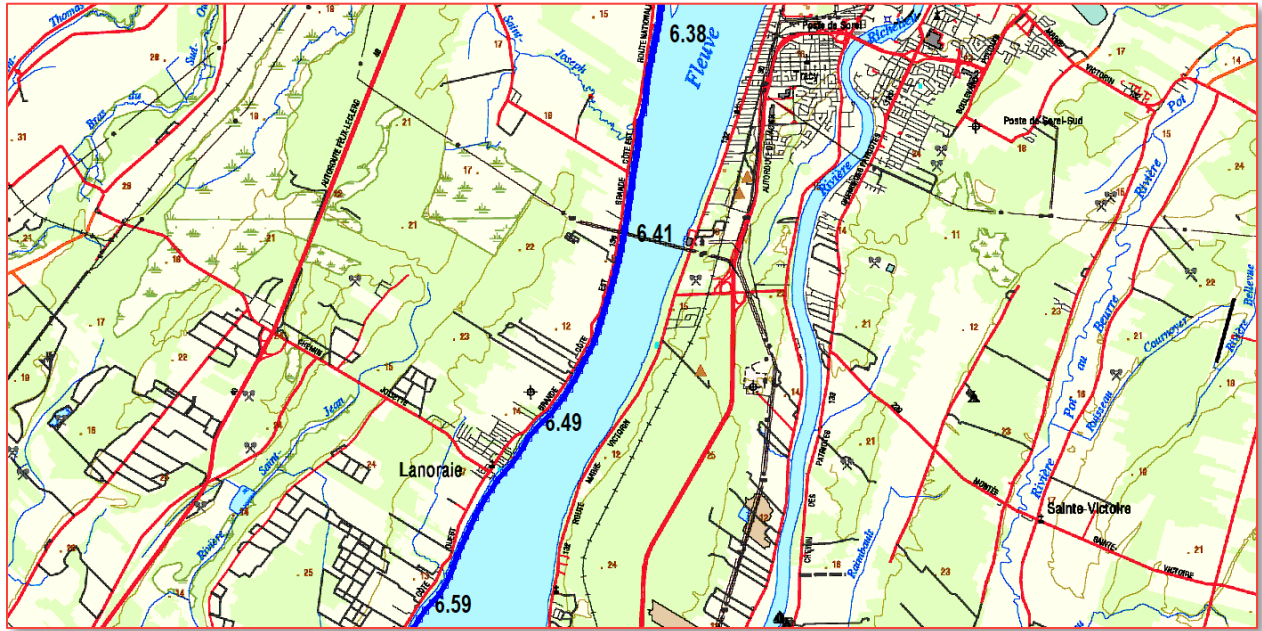


Figure 4-17 Cote le long du parcours Autray-01. Région de Lanoraie. Simulation 3

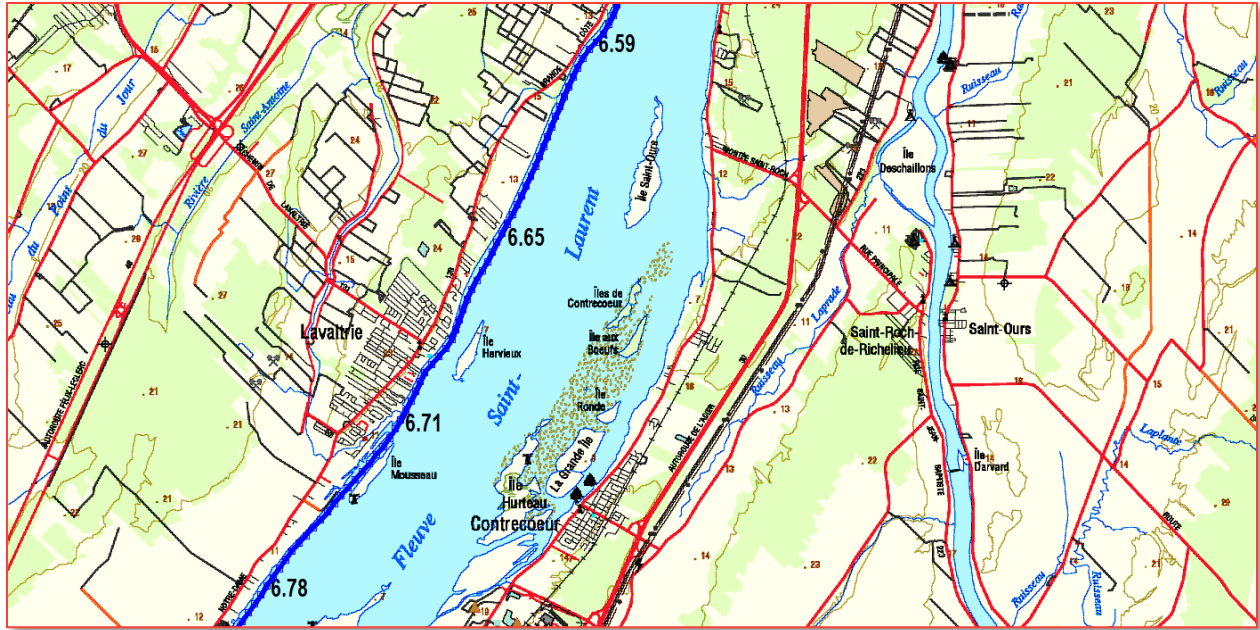


Figure 4-18 Cote le long du parcours Autray-01. Région de Lavaltrie. Simulation 3

Tableau 4-2 Cote de la surface de l'eau (m) à certains points sélectionnés du parcours Autray-01

POINT	SIMULATION					LOCALISATION APPROXIMATIVE
	1	2	3	4	5	
1	3.69	4.16	<b>5.97</b>	6.68	7.75	La Rail
21	3.73	4.20	<b>5.99</b>	6.70	7.76	Baie du Nord
41	3.75	4.23	<b>6.04</b>	6.75	7.80	Ruisseau Savoie
61	3.77	4.25	<b>6.07</b>	6.78	7.83	Ruisseau Grand Pré
81	3.81	4.29	<b>6.14</b>	6.85	7.87	Pointe aval de l'Île aux Castors
101	3.87	4.34	<b>6.22</b>	6.94	7.93	Berthierville, amont de l'Île aux Castors
121	3.99	4.42	<b>6.31</b>	7.04	8.04	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	4.05	4.47	<b>6.38</b>	7.11	8.11	Îles aux Foins
161	4.09	4.50	<b>6.41</b>	7.15	8.15	Ligne électrique
181	4.14	4.54	<b>6.49</b>	7.24	8.25	Lanoraie Nord
201	4.21	4.60	<b>6.59</b>	7.37	8.39	Lanoraie Sud
221	4.27	4.66	<b>6.65</b>	7.43	8.44	Lavaltrie Nord
241	4.34	4.71	<b>6.71</b>	7.49	8.50	Lavaltrie Sud
261	4.42	4.78	<b>6.78</b>	7.56	8.57	Saint-Sulpice



---

## 4.6 DISCUSSION

Les cinq simulations permettent donc de réaliser des profils en long pour chacun des parcours. De ces profils, on peut produire des relations niveau-niveau entre chacun des points du parcours et la station du lac Saint-Pierre à la Courbe #2 ou entre chacun des points du parcours et la station de Varennes.

Ces relations niveau-niveau permettent d'évaluer les cotes en rive pour la MRC de D'Autray pour les conditions de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans. Comme nous le verrons au chapitre 6, les cotes obtenues diffèrent toutefois selon que l'on retient la station de la Courbe #2 ou la station de Varennes car les cotes de crues de récurrence de 2, de 20 et de 100 ans varient selon la station retenue. Ainsi, les calculs réalisés avec la station de Varennes donnent des valeurs de cotes de crues inférieures à celles établies avec la station de la courbe #2. Pour assurer une transition gentille et uniforme des cotes de crues de long des rives de la MRC, la méthode suivante a été retenue.

La cote en un point donné du domaine est calculée avec la relation niveau Varennes – niveau point donné ( $cote_1$ ). Le calcul est à nouveau réalisé avec la relation niveau à la Courbe #2 et le niveau au point donné ( $cote_2$ ). La distance à vol d'oiseau est calculée entre ce point de calcul et les stations de Varennes ( $d_1$ ) et de la courbe #2 ( $d_2$ ). La valeur d'élévation finale retenue est la valeur pondérée selon la distance du point par rapport aux deux stations selon la formule suivante :

$$Cote = cote_1 * \alpha + cote_2 * \beta$$

$$\text{Avec :} \quad \alpha = d_2/(d_1+d_2) \quad \beta = d_1/(d_1+d_2)$$

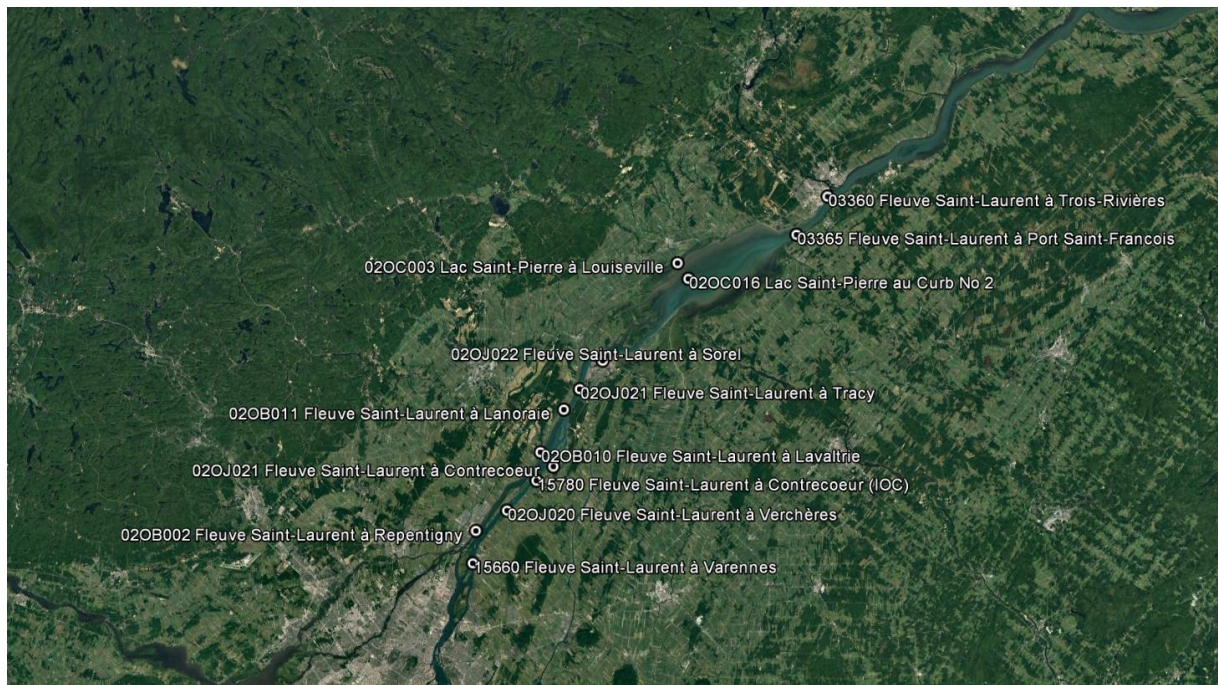
Cet aspect est traité plus en détail au chapitre 6 et les tableaux des résultats des extractions et des calculs peuvent être consultés à l'annexe J.



# 5 ÉTABLISSEMENT DES COTES DE CRUE AUX STATIONS

## 5.1 NIVEAUX D'EAU DU FLEUVE DANS LE TRONÇON VARENNES/TROIS-RIVIÈRES

Les niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent sont ou ont été mesurés à plusieurs stations limnimétriques installées le long des rives dans le tronçon Varennes/Trois-Rivières. Ces stations sont localisées sur la Figure 5-1.



**Figure 5-1 Localisation des stations limnimétriques le long du fleuve Saint-Laurent entre Varennes et Port Saint-François**

Les métadonnées décrivant les stations limnimétriques qui sont situées le long du fleuve entre Varennes et Trois-Rivières sont présentées au Tableau 5-1. Les identifiants débutant par « 02 » indiquent que les données ont été extraites de la base de données HYDAT publiée par Environnement Canada. Sous la colonne ZC apparaissent la correction à additionner aux valeurs publiées pour obtenir les cotes dans le système de référence IGLD85 (« International Great Lake Datum of 1985 »). Les signaux ont été tracés pour toutes ces stations. Les figures sont regroupées à l'annexe F et une analyse de chaque signal y est présentée.

Les stations d'intérêt sont celles de la Courbe #2 sur le lac Saint-Pierre et de Varennes car elles sont situées aux extrémités amont et aval du domaine à l'étude. Les stations de Sorel et de Port Saint-François sont également intéressantes car elles permettent d'allonger la période couverte par la station de la Courbe #2. Une analyse plus approfondie de la station de la Courbe #2 est présentée aux sections qui suivent.

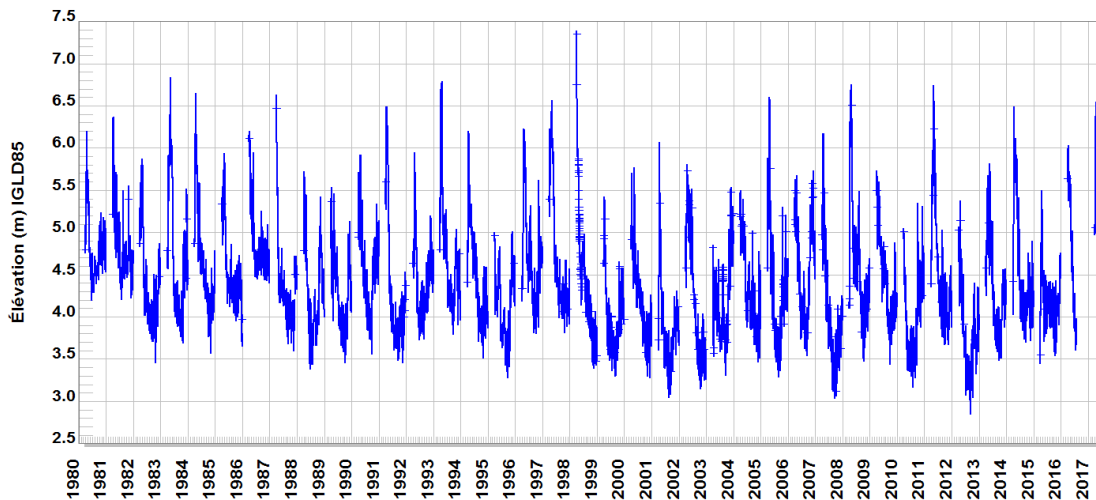
**Tableau 5-1 Stations limnimétriques analysées**

STATION	LATITUDE	LONGITUDE	ID(*)	ZC (M)	PÉRIODE
Trois-Rivières	46°20'25.80"N	72°32'21.00"O	03360	2,942	1913-1939 1958-2016
Port Saint-François	46°16'21.01"N	72°37'9.60"O	03365	2,987	1966-2016
Lac Saint-Pierre (curb #2)	46°11'36.90"N	72°53'50.37"O	02OC016	3,390	1914-1957 1979-2016
Lac Saint-Pierre (Louiseville)	46°13'17.00"N	72°55'31.00"O	02OC003	3,305	1985
Sorel	46° 2'49.00"N	73° 6'58.00"O	02OJ022	3,775	1966-2016
Tracy	45°59'46.00"N	73°10'28.00"O	02OJ021	--	1986-1988
Lanoraie	45°57'34.00"N	73°12'53.00"O	02OB011	3,917	1966-1976
Lavaltrie	45°52'60.00"N	73°16'25.00"O	02OB010	4,258	1966-1973
Contrecoeur	45°51'29.00"N	73°14'25.00"O	02OJ021	4,288	1966-1993
Contrecoeur IOC	45°49'57.60"N	73°16'59.40"O	15780	4,411	1992-2016
Verchères	45°46'44.00"N	73°21'27.00"O	02OJ020	4,439	1961-1979
Repentigny	45°44'32.00"N	73°26'12.00"O	02OB002	4,715	1961-1976
Varennes	45°41'3.60"N	73°26'37.20"O	15560	4,836	1961-2016

(\*) identification de la station

### 5.1.1 VARIATION DU NIVEAU DU LAC SAINT-PIERRE À LA STATION DE LA COURBE #2

La variation du niveau d'eau du lac Saint-Pierre à la station de la courbe #2 est présentée ci-dessous. Elle couvre une période de 38 ans. Comme elle est affectée par des plages de valeurs manquantes, on peut procéder à une reconstitution du signal pour les combler. Par comparaison avec les signaux des autres stations (annexe G), on constate toutefois que les niveaux d'eau extrêmes annuels sont présents et on peut donc retenir le signal original pour réaliser l'analyse statistique des niveaux extrêmes annuels. On peut constater que le niveau atteint en 2017 est le deuxième en importance pour la période retenue, n'étant surpassé que par l'événement survenu en 1998. Une analyse de ces événements extrêmes est présentée à la section suivante.



Station 15975, Lac Saint-Pierre, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST - Période 1980-2017  
Avr-Dec

**Figure 5-2 Niveaux d'eau mesurés à la station de la courbe #2 au lac Saint-Pierre durant la période considérée sans effet de glace (avril à décembre)**

### 5.1.2 ÉPISODES DE HAUTS NIVEAUX AU LAC SAINT-PIERRE

En 1981 et 1998, le niveau du lac Saint-Pierre a atteint des niveaux qui n'avaient jamais été observés auparavant. Il s'agit des deux seuls événements durant lesquels les niveaux ont dépassé la cote 7,0 m dans le référentiel vertical IGLD85. Les limnigrammes sont présentés à la section 5.2.1. Ces deux épisodes s'expliquent par des embâcles à l'aval du lac Saint-Pierre ou au lac Saint-Pierre, selon les dires de Morse (1999). Mentionnons que c'était en janvier 1998 que s'est produite la tempête de verglas qui vu le Québec recevoir plusieurs décimètres de pluie verglaçante. S'agit-il d'une coïncidence ou l'englacement dans la région a-t-il pu jouer un rôle dans la production de conditions glacielles particulières au lac Saint-Pierre ? La question est posée sans qu'on puisse trancher.

Very severe ice jams have occurred on the Saint-Lawrence River itself at the old Québec City Bridge. Jams often form as the tidal range (approximately 5 m) diminishes and can only be released by icebreakers once spring tide pattern begins to emerge. Prior to the introduction of a modern fleet of Canadian Coast Guard icebreakers, these jams were serious obstacles to winter navigation. Further upstream, where the diurnal tide dampens out, ice jams occur annually where the river widens («Lake St. Peter»). Only an aggressive ice management strategy and the presence of icebreakers have secured winter navigation for the Port of Montreal.

Source : Morse, 1999. Réf. 32.

**Figure 5-3 Extrait d'un article citant des conditions fréquentes d'embâcle au lac Saint-Pierre**

L'inspection des hydrogrammes annuels qui sont regroupés à l'annexe F, indique que le pic de crue du fleuve Saint-Laurent survient en avril ou au début mai. Certains événements importants sont identifiés. Ils sont traités aux sections qui suivent.

### 5.1.3 LES NIVEAUX D'EAU EXCEPTIONNELS DE 1981 ET 1998

Ces deux épisodes sont illustrés aux Figure 5-4 et Figure 5-5. En 1981, l'événement exceptionnel est survenu à la fin février. La crue du fleuve est plutôt survenue en avril, avec un pic de crue normal qui a atteint les 6,4 m. On observe que l'effet de marée à Trois-Rivières est fortement atténué en février lorsque le niveau est supérieur à la cote 5 m. Ce n'est plus le cas à partir du 5 mars. Le pic de la fin février est donc fort probablement le résultat d'un embâcle survenu en aval de Trois-Rivières.

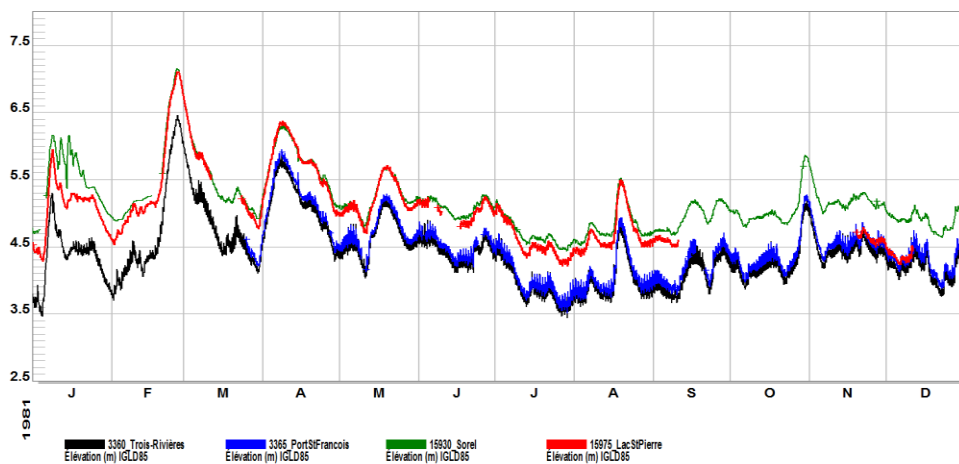


Figure 5-4 Niveau d'eau maximum survenu à la fin février 1981 à différentes stations

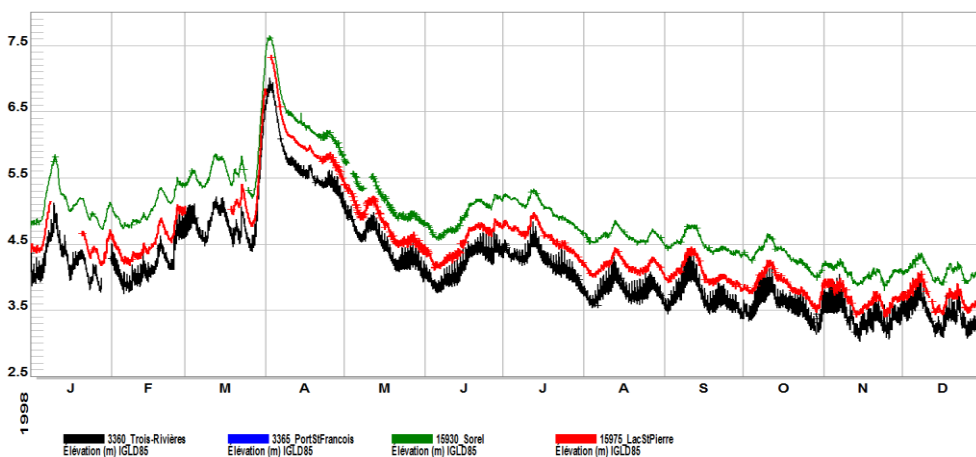
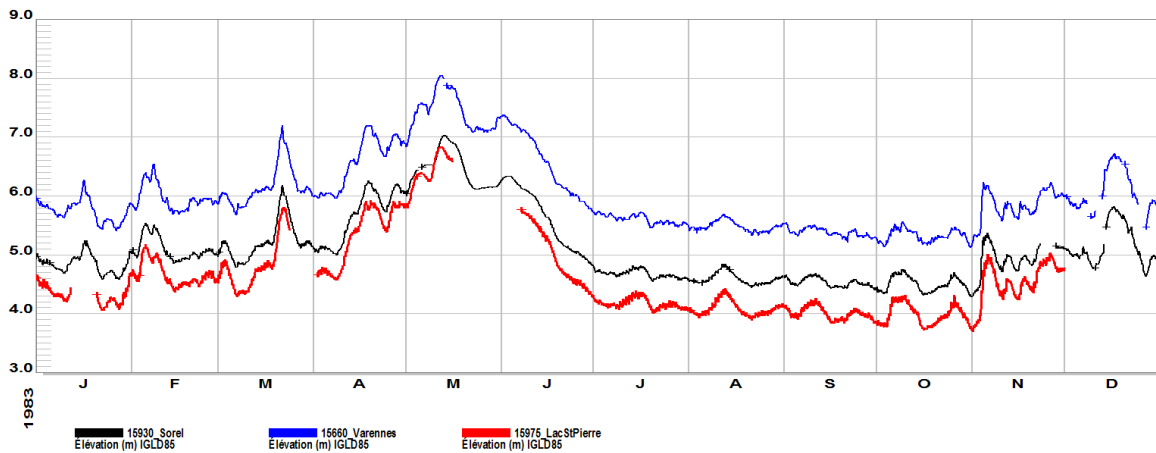


Figure 5-5 Niveau d'eau maximum survenu au début avril 1998 à différentes stations

Pour l'épisode de 1998, on observe que le pic de crue a eu lieu au début avril, dans la fenêtre propice à l'occurrence de la crue de printemps. On sait que les débits provenant de la rivière des Outaouais étaient également importants. Rappelons que la tempête exceptionnelle de verglas s'était produite en janvier. Les conditions de glaces particulières et de forts débits provenant de la rivière des Outaouais expliqueraient que les niveaux auraient dépassé la cote 7,5 m à Sorel. On constate d'ailleurs que les niveaux ont rapidement chutés d'un mètre en quelques jours au début avril.

#### 5.1.4 LA CRUE DE 1983

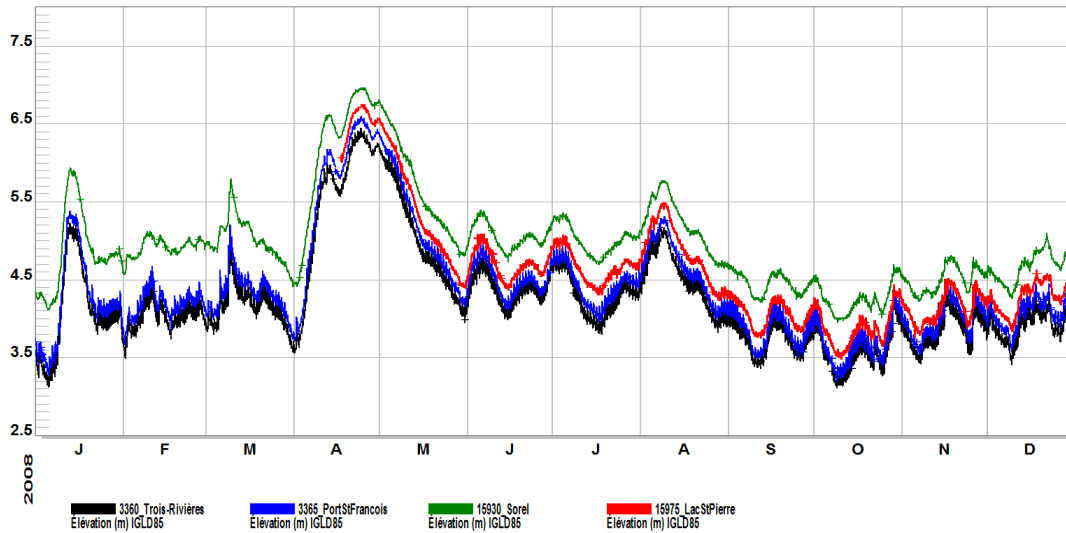
L'année 1983 est représentative d'une crue importante pour des conditions sans glace. Le pic de crue a été atteint à la mi-mai, atteignant la cote 6,8 m. Le niveau au lac Saint-Pierre dépasse la cote 6,5 m durant environ une semaine et elle dépasse la cote 6,0 m durant environ trois semaines.



**Figure 5-6** Limnigrammes aux stations de Varennes, Sorel et de la courbe #2 du lac Saint-Pierre en 1983

#### 5.1.5 LA CRUE DE 2008

La crue de 2008 est caractérisée par de forts débits évacués à la sortie du lac Ontario auxquels s'additionnent de forts débits provenant d'une crue provoquée par la fonte du bassin inférieur de la rivière des Outaouais. Cette crue a d'ailleurs fait l'objet d'une importante campagne de mesures qui visait, entre autres, à établir le partage des débits dans les différents cours d'eau de l'Archipel de Montréal (réf. 53). On constate qu'au pic de crue, la différence de niveau d'eau entre Sorel et le lac Saint-Pierre est beaucoup moindre qu'en étiage. Le niveau du lac Saint-Pierre a alors dépassé la cote 6,5 m.



**Figure 5-7 Niveau d'eau maximum survenu en avril 2008 à différentes stations**

### 5.1.6 LA CRUE DE 2017

La crue de 2017 au lac Saint-Pierre peut être qualifiée d'importante puisque le niveau d'eau a atteint la cote 6,96 m. Les limnigrammes au lac Saint-Pierre pour les années 1983 et 2017 sont superposés aux fins de les comparer car le niveau atteint en 1983 est sensiblement le même que celui atteint en 2017.



**Figure 5-8 Limnigrammes enregistrés en 1983 et 2017 au lac Saint-Pierre**



Son caractère exceptionnel tient au fait que les niveaux sont demeurés supérieurs à la cote 6,0 m durant un mois et que les niveaux durant l'été ont été supérieurs d'environ un mètre aux niveaux d'eau qui se situent sous la cote 4,5 m durant l'été tel qu'affiché à la Figure 5-8. La détermination des cotes de crues pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans pour le lac Saint-Pierre est traitée un peu plus loin, aux sections 5-4 et 5-5. Les résultats sont affichés ici-bas, qui permettent de qualifier le niveau maximum atteint en termes de récurrence. Sous cet angle, la crue serait d'une récurrence légèrement supérieure à une crue de récurrence de 20 ans. Par contre, cette approche ne permet pas de qualifier l'importance de la durée de l'inondation, qui provoque également son lot de problèmes et désagréments. Mentionnons, à titre d'exemple, la surélévation de la nappe phréatique durant une période prolongée qui peut avoir comme conséquence d'asphyxier certains végétaux, comme ce fut le cas le long du Haut-Richelieu durant les années 1970'.

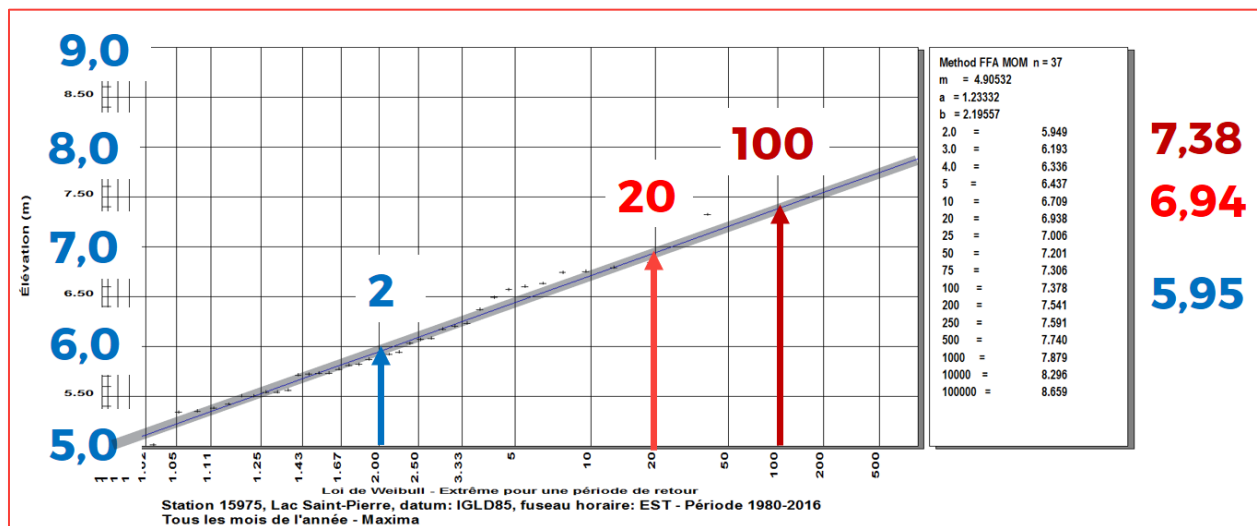
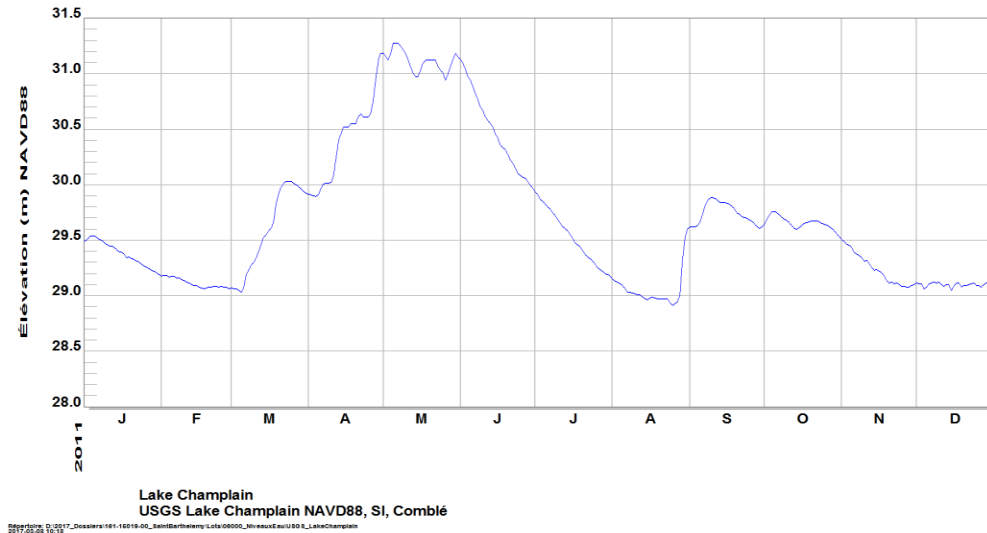


Figure 5-9 Cotes de crues établies à la station de la courbe #2

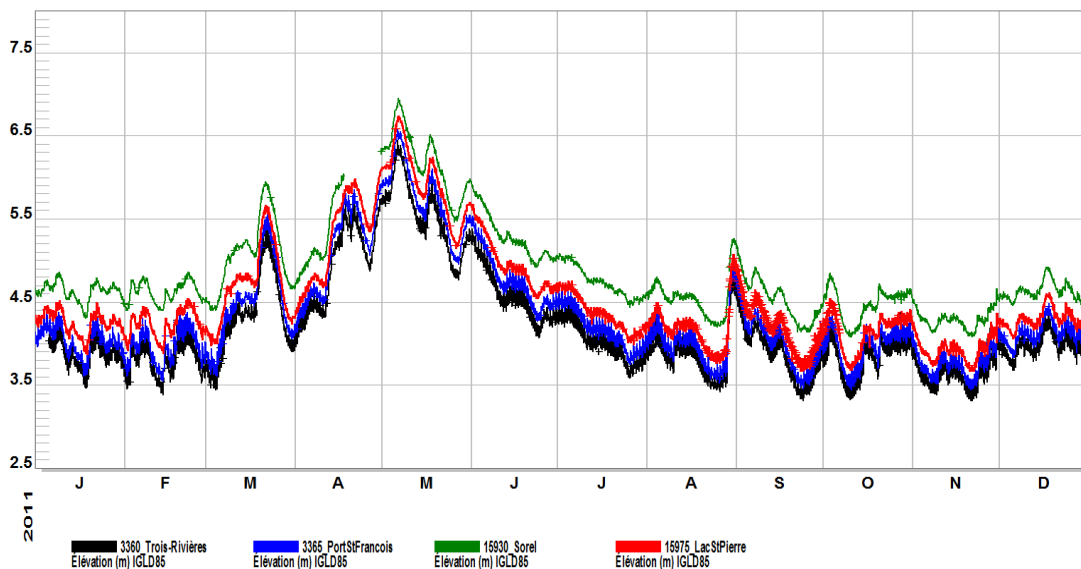
### 5.1.7 LES EFFETS DE LA CRUE DU RICHELIEU DE 2011

L'année 2011 a vu l'occurrence d'une crue historique de la rivière Richelieu. Le niveau du lac Champlain a atteint la cote 31,28 m, soit près de 45 cm plus haut que la crue la plus importante précédemment enregistrée et qui datait de 1903. Une succession de tempêtes de pluie conjuguée à un couvert de neige très épais en milieu américain a eu pour effet de gonfler les eaux du lac Champlain et, de ce fait, d'augmenter les débits de la rivière Richelieu. La variation des niveaux du lac Champlain est illustrée à la Figure 5-10. On y discerne facilement la montée de la crue jusqu'au début mai, la phase en plateau au mois de mai suivie de la décrue durant les mois de juillet et août. On observe également les effets de la dépression tropicale Irène à la fin août, qui se sont traduits par un rehaussement de près d'un mètre du lac Champlain.

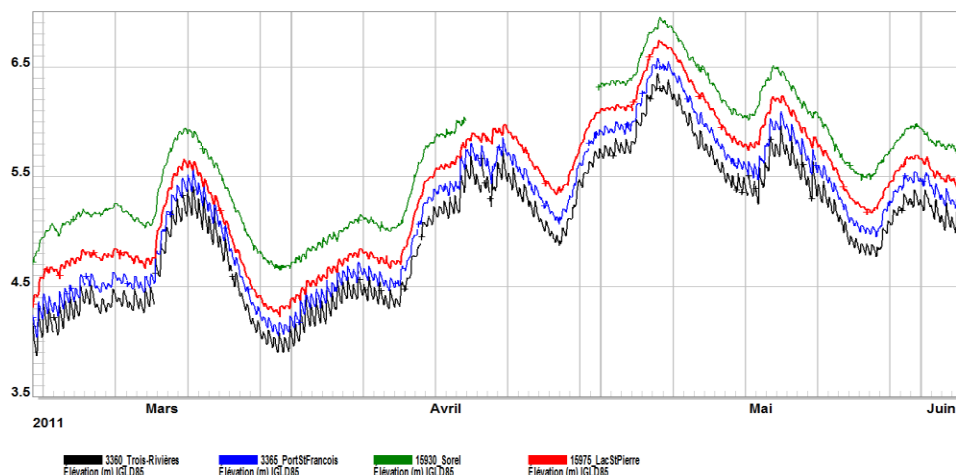


**Figure 5-10 Variation du niveau d'eau du lac Champlain en 2011**

Pour la région du Haut-Richelieu, donc de Saint-Jean-sur-Richelieu jusqu'au lac Champlain et à la baie Missisquoi, les niveaux d'eau sont demeurés extrêmement hauts durant cinq semaines. En fait, le niveau du lac Champlain a été supérieur à la cote de la crue de 1903, deuxième en importance, durant cinq semaines. Le pic de la crue est survenu le 6 mai 2011. Consultants les Figure 5-11 et Figure 5-12, on constate que l'effet s'est traduit par une surélévation du plan d'eau d'environ 60 cm par rapport à la cote de crue usuelle qui était survenue à la mi-avril pour le Saint-Laurent.



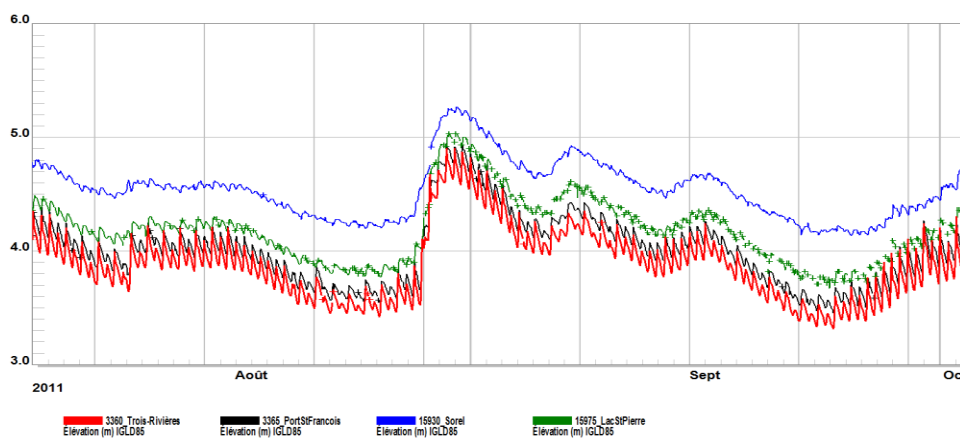
**Figure 5-11 Niveau d'eau maximum survenu au début mai 2011 à différentes stations**



**Figure 5-12 Surélévations du lac Saint-Pierre et du fleuve Saint-Laurent durant la crue exceptionnelle du printemps 2011**

### 5.1.8 EFFETS DE LA TEMPÊTE TROPICALE IRÈNE À LA FIN AOÛT 2011

La dépression générée par l'ouragan Irène a frappé le Québec à la fin août 2011. Le niveau du lac Saint-Pierre était légèrement sous la cote 4,0 m avant l'événement. Le niveau du lac a été rehaussé de près d'un mètre en moins de deux jours lors du passage de cette dépression sur le sud du Québec. Comme le niveau du lac était bas au début de l'événement, le rehaussement n'a pas produit de conditions significatives d'inondation. Le niveau du lac est revenu à des conditions plus normales deux semaines plus tard. Il faut mentionner qu'un niveau plus élevé du lac a toutefois des répercussions sur les niveaux des rivières qui s'y jettent, la courbe de remous étant forcément à une élévation supérieure.



**Figure 5-13 Surélévations du lac Saint-Pierre et du fleuve Saint-Laurent suite au passage de la dépression tropicale Irène à la fin août 2011**

### 5.1.9 LES EFFETS DE LA MARÉE AU LAC SAINT-PIERRE

Le tracé des mesures de niveau d'eau au pas de temps horaire permet d'évaluer la variation du niveau d'eau provoquée par la marée au lac Saint-Pierre. Le niveau varie entre 5 et 15 cm selon l'importance du débit et de la marée. On constate que l'effet est perceptible également à Sorel.

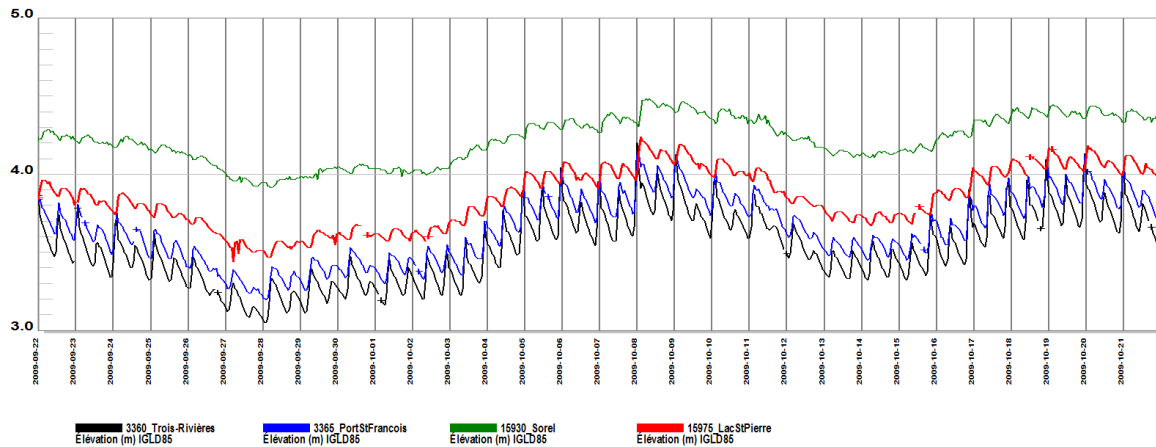
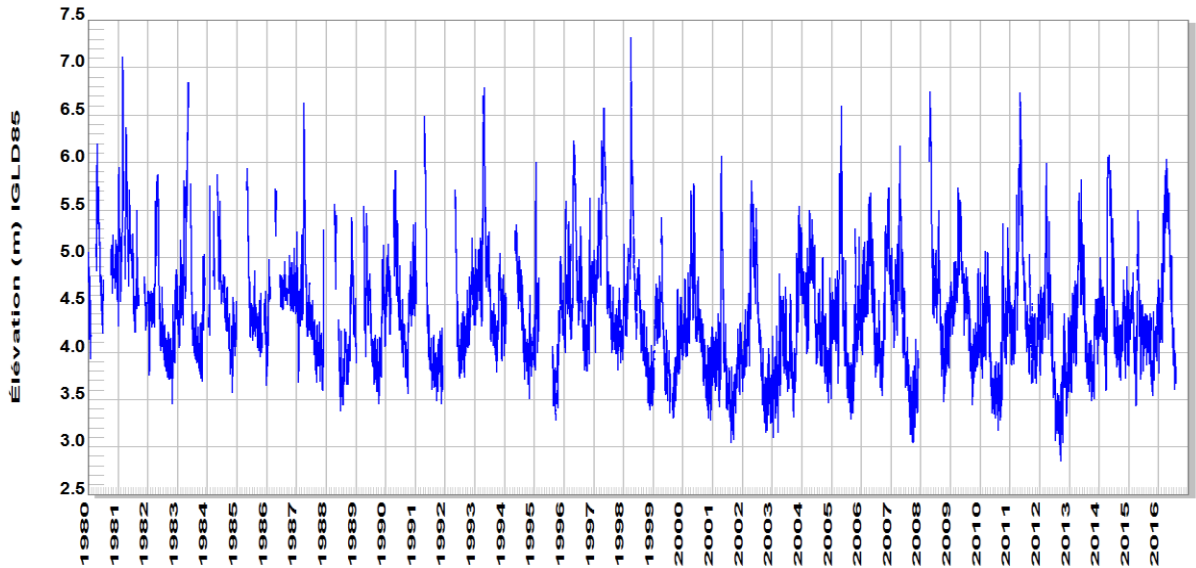


Figure 5-14 Variation du niveau d'eau provoqué par la marée au lac Saint-Pierre

## 5.2 COTE DE LA LIGNE DES HAUTES EAUX À VARENNES ET À LA COURBE #2

Rappelons que la ligne des hautes eaux, au sens du code civil, est la ligne qui se situe à la limite du plan d'eau lorsqu'il coule à pleins bords, tout juste avant qu'il ne commence à déborder ou à inonder les terrains au-delà de la rive hors période de crue. Il s'agit donc de la cote délimitant une condition de crue d'une condition de non-crue. Cette cote peut être évaluée en traitant le signal de la courbe médiane des niveaux d'eau, signal décrit à la section 2.2.

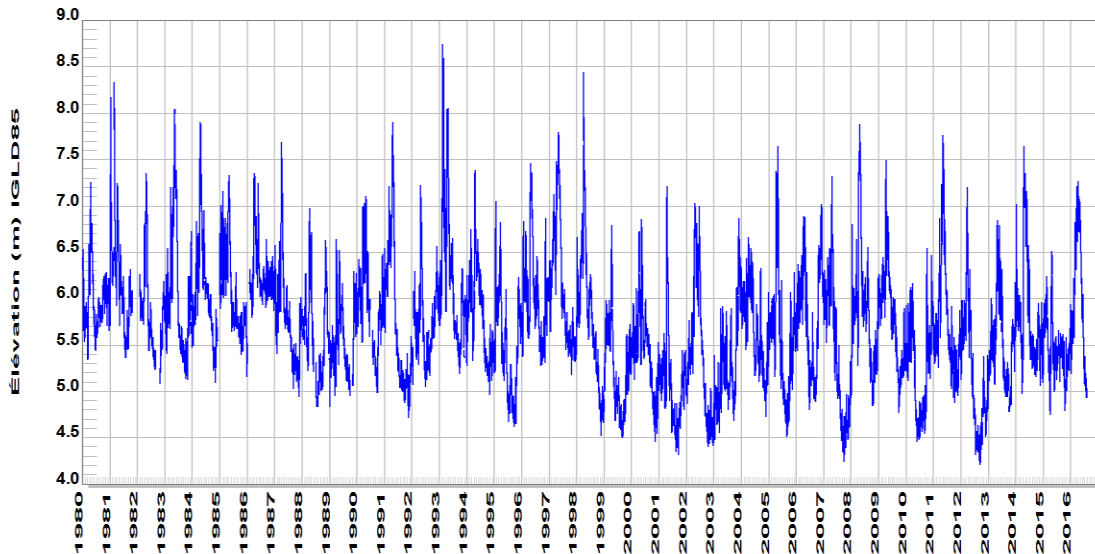
L'inspection des limnigrammes annuels (annexe F) permet de constater que les niveaux varient d'année en année. Pour éviter un choix arbitraire de la période de crue, on retient une procédure qui est facilement reproductible, basée sur une série de niveaux d'eau moyens journaliers de longue durée, et qui permet d'évaluer la cote de la ligne des hautes eaux (LHE). Cette procédure est la suivante, basée sur l'analyse des valeurs médianes d'une longue série historique de niveaux d'eau. Deux séries sont retenues, soient celles de la station de Varennes, représentative des conditions de la région Sud-Ouest de la MRC et celle de la courbe #2 au lac Saint-Pierre, représentative des conditions de la région Nord-Est.



Lac Saint-Pierre  
Station 15975, Lac Saint-Pierre, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST

0669/2016 0:2017\_Dossiers\171-16019-00\_saintBarthelemy\Lots\06000\_Niveaux\du\Tous\_J0\_LDS6  
2017-02-06 11:34

**Figure 5-15** Variation du niveau d'eau du lac Saint-Pierre de 1980 à 2016 au pas de temps horaire



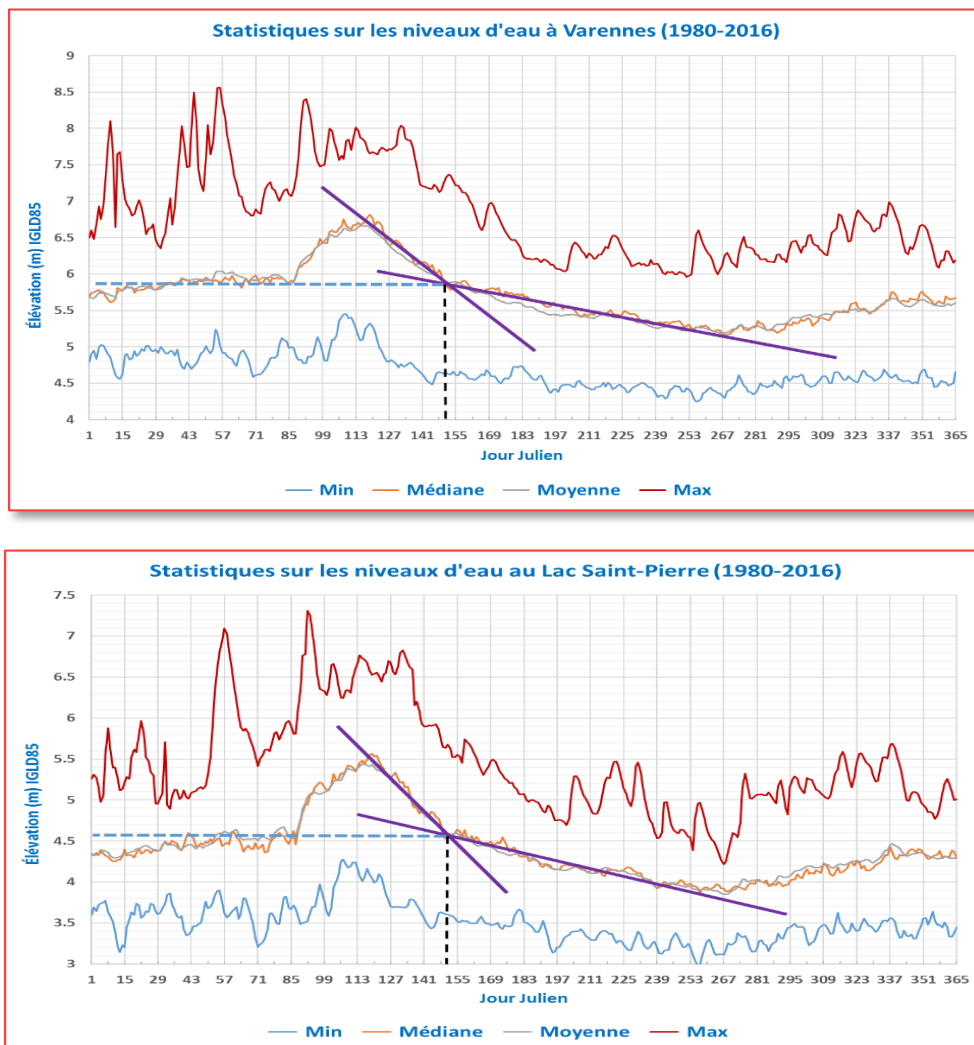
Varennes  
Station 15660, Varennes, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST

0669/2016 0:2017\_Dossiers\171-16019-00\_MRC\_L'Assomption\Lots\20000\_StatsExtremes  
2017-02-16 10:39

**Figure 5-16** Variation du niveau d'eau à Varennes de 1980 à 2016 au pas de temps horaire

La Figure 5-17 présente les valeurs moyennes et médianes du niveau d'eau de 1980 jusqu'à 2016 à chaque jour julien. La détermination de la période de fin de crue peut être facilement déduite en considérant l'intersection entre les droites de décrue (forte pente) et de décrue lente (faible pente) sur l'hydrogramme formé par la courbe des valeurs médianes ou des valeurs

moyennes. L'intersection des deux droites se situe alors au jour julien 151, pour lequel le niveau d'eau médian du fleuve est de 5,9 m à Varennes. Le jour julien 151 correspond au 30 mai dans le cas d'une année bissextile ou au 31 mai pour une année normale. La fin de la crue du fleuve Saint-Laurent à Varennes survient donc à ce moment. Ces valeurs sont à comparer avec celles obtenues au lac Saint-Pierre. L'intersection des deux droites se situe alors au jour julien 152, pour lequel le niveau d'eau médian du fleuve est de 4,6 m à la courbe #2 du lac Saint-Pierre. Le jour julien 152 correspond au 31 mai dans le cas d'une année bissextile et au 1<sup>er</sup> juin pour une année normale. La fin de la crue du fleuve Saint-Laurent survient donc à ce moment au lac Saint-Pierre. La ligne des hautes eaux, établie comme étant la valeur du niveau d'eau médian du niveau d'eau à la fin de la crue, serait à cette cote, qui permet de fixer la limite de propriété, au sens du code civil. Cette analyse donne donc une fin de crue à la même date pour les deux sites et une différence de niveau de 1,3 m entre les deux sites.



**Figure 5-17** Extrema et niveaux moyens et médian à Varennes et à la station de la Courbe #2 du lac Saint-Pierre pour la période 1980-2016

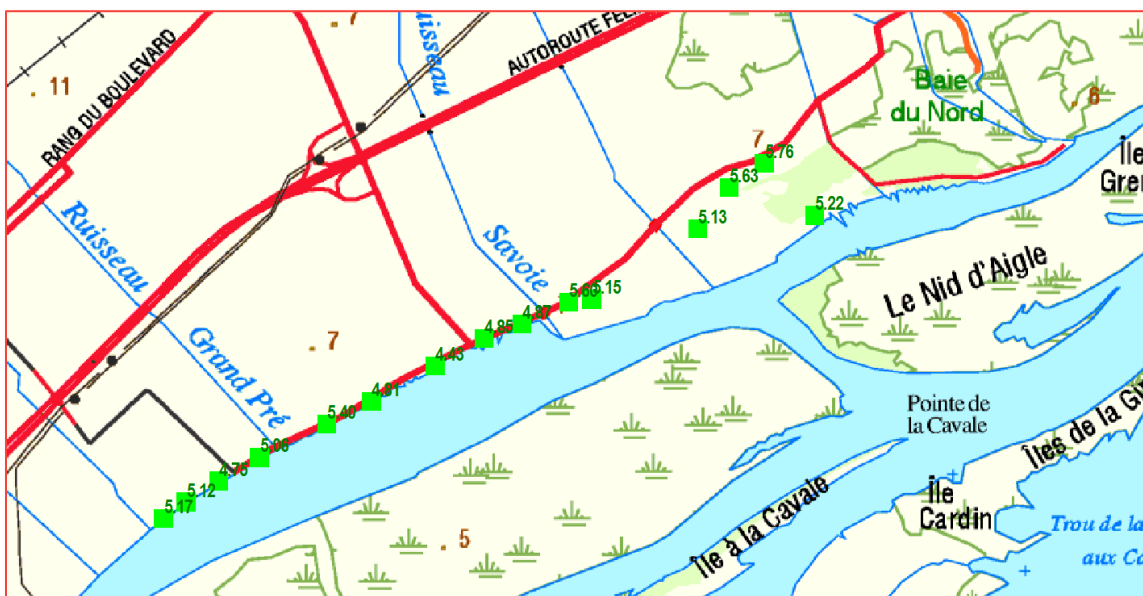
## 5.3 COTE DE LA LIGNE NATURELLE DES HAUTES EAUX

Rappelons que la ligne naturelle des hautes eaux est une ligne définie dans la Politique qui doit être localisée en privilégiant l'emploi de la méthode botanique experte. Cette méthode est en effet celle qui est recommandée dans la Politique. Seule l'étude réalisée en 2016 pour la municipalité de Saint-Barthélemy nous est connue. La municipalité avait alors mandaté un biologiste de WSP pour établir cette ligne à l'automne 2016.

Les cotes des sites identifiés par le biologiste à Saint-Barthélemy ont été relevées par la firme d'arpenteurs géomètres Laurier Isabelle de Louiseville en novembre 2016. Les résultats sont présentés par la suite. On peut inférer la cote de cette ligne ailleurs en considérant qu'elle suit une même pente que celle de la surface du fleuve pour ces conditions particulières d'hydraulicité.

### 5.3.1 RELEVÉS RÉALISÉS SELON LA MÉTHODE BOTANIQUE EXPERTE

Les stations retenues par le biologiste pour déterminer la localisation de la ligne naturelle des hautes eaux sont affichées à la Figure 5-18.



**Figure 5-18 Localisation des stations de mesures établies pour déterminer la cote de la ligne naturelle des hautes eaux**

Les points peuvent être regroupés dans trois sous-ensembles. Le premier sous-ensemble est constitué des deux points situés les plus à l'ouest et de celui localisé le plus à l'est. Les cotes varient entre 5,12 et 5,22 m. Ces trois points sont localisés en rive près du chenal du fleuve. Ils sont dans des zones peu perturbées, éloignées d'habitations. Le deuxième groupe est formé

de points localisés le long du chemin du bas du fleuve à proximité du chenal. Les cotes varient entre 4,43 m et 5,06 m avec plusieurs points se situant dans la gamme 4,70 - 4,90 m.

Finalement un troisième groupe est constitué des points localisés près du rang du fleuve à l'est, avec des valeurs de 5,63 m et 5,76 m. Ces deux derniers points s'avèrent être près de ¾ de mètre plus élevé que ceux situés à l'ouest.

Les eaux du jour relevées aux sites de mesures du biologiste. Les cotes d'élévations aux stations identifiées par le biologiste ont été établies par la firme d'arpentage Laurier Isabelle le 11 novembre 2016. Les eaux du jour du fleuve en rive étaient à la cote 3,65 m ± 0,02 m. Cette valeur est à comparer avec celle à la courbe #2 du lac Saint-Pierre qui était de 3,60 m. La différence de niveau d'eau entre les deux sites est de 5 cm pour ces conditions particulières de niveau d'eau et de débits. Le débit dans le chenal nord tiré du modèle de simulation était de 52 m<sup>3</sup>/s pour un débit calculé à Sorel de 8 626 m<sup>3</sup>/s. La cote de la surface du plan d'eau à Sorel était à 4,0 m, soit 40 cm plus élevés qu'à la courbe #2 du lac Saint-Pierre. Pour ces conditions, on pourrait évaluer la cote de la surface à Saint-Barthélemy en additionnant le huitième de la différence de niveau entre Sorel et la courbe #2 à cette dernière. Les résultats d'une simulation réalisée par Environnement Canada pour cette date sont présentés à la Figure 5-19. L'imprécision sur les niveaux d'eau est de l'ordre de 5 cm.

Par ailleurs, les eaux du jour relevées à l'est sont à la cote 4,7 m, soit un mètre plus élevé. Cette différence se devait d'être expliquée. Une visite sur le terrain était donc requise pour expliquer cette incohérence. Elle a eu lieu le 18 novembre 2016. Cet aspect est traité à la section suivante.

Rapport de Simulation du 2016-11-11 18:13:57

-----RESIDUS-----

SIMULATION 0 (0.0 min 0.0 sec)  
 Convergence QY: Noeud 26144 Residu 6.090083e-09  
 Convergence QX: Noeud 26149 Residu 2.406381e-08  
 Convergence H : Noeud 84 Residu 9.311576e-09

-----NIVEAUX-----

STATION	ID	HSIM	HMES	HDIFF
Trois_Rivieres	845	3.349	3.349	0.000 m
Port St-Francois	1056	3.436	3.477	-0.041 m
Lac St-Pierre Courbe#2	849	3.642	3.598	0.044 m
Sorel	850	3.994	3.966	0.028 m
Lanoraie	794	4.140	4.112	0.028 m
Contrecoeur IOC	851	4.417	4.418	-0.001 m
Varennes	848	4.815	4.771	0.044 m
Montreal-Frontenac	847	5.333	5.322	0.011 m
Montreal-Jetee No1	846	5.593	5.569	0.024 m

-----DEBITS-----

STATION	QSIM	QMES	QDIFF	%ERR
Lasalle	7457.0	7578.9	-122.0	-1.6%
CRS	138.7	126.3	12.4	9.8%
MIP	748.6	767.0	-18.4	-2.4%
Assomption	41.8	46.4	-4.5	-9.8%
Yamaska	35.5	42.0	-6.5	-15.4%
St-Francois	126.3	115.5	10.8	9.3%
Richelieu	162.5	201.8	-39.3	-19.5%
Nicolet	26.3	25.9	0.4	1.5%
Maskinonge	23.8	24.6	-0.8	-3.1%
DuLoupExu	28.7	26.3	2.5	9.4%
Sorel	8626.3	8614.5	11.9	0.1%
Trois-Rivieres	8998.4	9064.2	-65.8	-0.7%
Rev5	81.2			
Rev4	60.9			
Rev3	714.3			
Rev2	1326.9			
GrandChenal	2008.4			
ChenalPetitDupas	115.4			
ChenalOurs	244.9			
ChenalNord	52.5			
ChenalCastor	107.1			

**Figure 5-19 Rapport de simulation pour la date du 11 novembre 2016**



### 5.3.2 VISITE TERRAIN EFFECTUÉE LE 18 NOVEMBRE 2016

L'auteur a effectué une visite des lieux avec Monsieur Jacques Patry, maire de Saint-Barthélemy et Robert Sylvestre, conseiller municipal le 18 novembre 2016. Le temps était brumeux et sans vent.

Le groupe était accompagné d'un représentant de la firme d'arpentage Laurier Isabelle qui a procédé à des relevés additionnels des eaux du jour ainsi que des cotes le long du terrain. L'objectif était d'expliquer la différence de près d'un mètre qui est observée entre certaines mesures des eaux du jour qui avaient été relevées la semaine précédente, le 11 novembre.

Le rapport de simulation indique que le niveau d'eau à Trois-Rivières était à la cote 3,88 m, par rapport à la cote de 3,35 m imposée au modèle la semaine précédente. Le niveau d'eau à l'aval était donc de 53 cm plus élevé le 18. Le niveau d'eau à la courbe #2 est à 4,14 m. Cette valeur est à comparer avec les eaux du jour relevées qui sont de 4,22 m à Saint-Barthélemy.

Rapport de Simulation du 2016-11-18 18:17:04

-----RESIDUS-----

SIMULATION 0 (0.0 min 0.0 sec)  
Convergence QY: Noeud 201776 Residu 2.684400e-07  
Convergence QX: Noeud 201775 Residu 4.594975e-08  
Convergence H : Noeud 5 Residu 6.319697e-10

-----NIVEAUX-----

STATION	ID	HSIM	HMES	HDIFF
Trois Rivieres	845	3.877	3.877	0.000 m
Port St-Francois	1056	3.959	4.019	-0.060 m
Lac St-Pierre Courbe#2	849	4.135	4.134	0.001 m
Sorel	850	4.412	4.403	0.009 m
Lanoraie	794	4.540	4.528	0.012 m
Contrecoeur IOC	851	4.774	4.798	-0.024 m
Varenes	848	5.119	5.096	0.023 m
Montreal-Frontenac	847	5.581	5.579	0.002 m
Montreal-Jetee No1	846	5.822	5.811	0.011 m

-----DEBITS-----

STATION	QSIM	QMES	QDIFF	%ERR
Lasalle	7464.4	7586.2	-121.8	-1.6%
CRS	136.6	126.4	10.2	8.1%
MIP	666.5	682.1	-15.6	-2.3%
Assomption	30.8	34.7	-3.9	-11.2%
Yamaska	88.9	126.3	-37.4	-29.6%
St-Francois	153.2	159.3	-6.1	-3.8%
Richelieu	193.5	198.4	-4.8	-2.4%
Nicolet	79.4	69.3	10.1	14.6%
Maskinonge	13.9	18.1	-4.2	-23.3%
DuLoupExu	19.8	18.4	1.4	7.7%
Sorel	8534.0	8546.9	-12.8	-0.1%
Trois-Rivieres	9071.2	9146.7	-75.5	-0.8%
Rev5	97.9			
Rev4	80.9			
Rev3	728.5			
Rev2	1570.8			
GrandChenal	2257.5			
ChenalPetitDupas	147.6			
ChenalOurs	243.9			
ChenalNord	59.1			
ChenalCastor	138.8			

Figure 5-20 Rapport de simulation pour la date du 11 novembre 2016

### 5.3.3 NIVEAUX D'EAU AUX STATIONS BOTANIQUEES DU SECTEUR OUEST

Lors de la visite, les eaux du jour relevées en rive, à l'ouest, étaient alors à la cote 4,22 m alors qu'elles étaient à la cote 4,14 m à la courbe #2, soit une dénivelée d'environ 8 cm entre les deux sites. Donc, le 18 novembre, le niveau d'eau du lac Saint-Pierre était plus élevé d'environ un demi-mètre par rapport aux niveaux mesurés la semaine précédente.

À Sorel, les niveaux d'eau mesurés en matinée ont varié entre 4,38 et 4,42 pour un niveau moyen de 4,4 m. La différence de niveau entre Sorel et la courbe #2 du lac Saint-Pierre était donc de 0,26 m le 18 novembre. Dans cette gamme de débits du fleuve, on peut donc raisonnablement estimer la cote de la surface de l'eau du fleuve à Saint-Barthélemy en ajoutant le tiers de la différence calculée entre Sorel et la courbe #2 à la valeur mesurée à la courbe #2.

---

### *5.3.4 LES STATIONS BOTANIQUES DU SECTEUR EST*

Par ailleurs, les eaux du jour qui ont été relevées plus à l'est, au plan d'eau bordant le rang du fleuve s'avéraient être pratiquement à la même cote que celles relevées la semaine précédente, soit à la cote 4,7 m. L'auteur et ses accompagnateurs ont contourné le plan d'eau et ils ont fait relever l'élévation du terrain le ceinturant. L'auteur a également noté des différences de coloration dans la végétation, suivant leur proximité par rapport à la limite du plan d'eau. Cette différence de coloration entre certaines espèces végétales est perceptible en cette période de fin d'automne. On a pu facilement conclure que les stations de mesures du biologiste dans ce secteur sont localisées sur le pourtour d'une cuvette pour laquelle il n'existe aucun lien hydrique apparent avec le fleuve. La présence de ce plan d'eau enclavé serait le résultat d'un remplissage qui se produit au printemps durant la crue et qui ne se vide que très lentement durant l'été à cause de propriétés peu propices au drainage et à l'absence d'un lien hydrique avec le fleuve. Selon les relevés effectués, cette cuvette peut se remplir lorsque les niveaux du fleuve sont supérieurs à la cote 4,9 m. Lors de la décrue, il se crée un milieu humide enclavé. Cette explication est d'ailleurs confirmée par un résident qui a été interrogé lors de la visite. Le faible drainage est également confirmé par un niveau d'eau qui est identique à celui relevé la semaine précédente.

---

### *5.3.5 DIFFÉRENCE DE NIVEAU D'EAU ENTRE SAINT-BARTHÉLEMY ET LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE*

Le niveau du fleuve a varié de 0,5 m entre la première et la seconde série de relevés. La différence de niveau d'eau établie entre Saint-Barthélemy et la courbe #2 était de 5 cm le 11 novembre et de 8 cm le 18 novembre.

---

### *5.3.6 DISCUSSION*

Des mesures pour établir la cote de la ligne naturelle des hautes eaux ont été réalisées par un biologiste qui a été engagé à cette fin par la municipalité de Saint-Barthélemy. Les relevés des points et des cotes où la végétation passe d'une prédominance de plantes hydrophiles à une prédominance de plantes terrestres ont été réalisés par la firme d'arpenteurs géomètres Laurier Isabelle de Louiseville.

La ligne naturelle des hautes eaux du fleuve Saint-Laurent à Saint-Barthélemy doit être établie en considérant la série de mesures du groupe des stations botaniques situées à l'ouest. Les conditions hydrauliques particulières à cette région font en sorte que des cuvettes sans lien hydrique avec le fleuve se créent, qui se remplissent d'eau durant la crue du printemps. Il n'y a pas de vidange significative lors de la décrue ce qui produit des milieux humides enclavés. Mentionnons que le creusage d'un canal de vidange vers le fleuve aurait comme conséquence un possible assèchement de la cuvette et donc la transformation ou la disparition de ce milieu humide enclavé.

Les relevés réalisés par le botaniste et l'arpenteur permettent de proposer la cote de 5,0 m avec une marge d'imprécision qui est estimée à  $\pm 0,15$  m pour localiser la ligne naturelle des hautes eaux. Cette cote est inférieure d'un mètre par rapport à la cote de récurrence de 2 ans établie dans cette étude et qui, nous le verrons au chapitre suivant, s'établit à 5,95 m au lac Saint-Pierre à la courbe #2.

D'autres secteurs, localisés plus à l'est, ont été relevés à proximité du rang du fleuve. Pour ces secteurs, la ligne naturelle des hautes eaux serait à une cote d'élévation de  $5,7 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ , soit une différence d'un peu moins d'un mètre par rapport aux secteurs situés à l'ouest. Cette différence méritait une explication. L'auteur, assisté de l'arpenteur, est retourné sur le site le 18 novembre 2016. Il était accompagné de messieurs Jacques Patry et Robert Sylvestre, respectivement maire et conseiller de la municipalité de Saint-Barthélemy. Les zones de mesures ont été inspectées et des relevés supplémentaires ont été réalisés. Les eaux du jour ont également été relevées.

Cette visite a permis d'expliquer que les points plus élevés d'un mètre sont localisés sur le pourtour d'une cuvette qui se draine peu ou pas, sans exutoire vers le fleuve. C'est ce qui explique que les eaux du jour qui sont relevées par l'arpenteur dans ce secteur donnaient un niveau plus élevé. Par ailleurs les relevés réalisés à une semaine d'intervalle ont indiqué un niveau d'eau constant dans la cuvette, contrairement au niveau du fleuve qui était d'un demi-mètre plus élevé le 18 novembre.

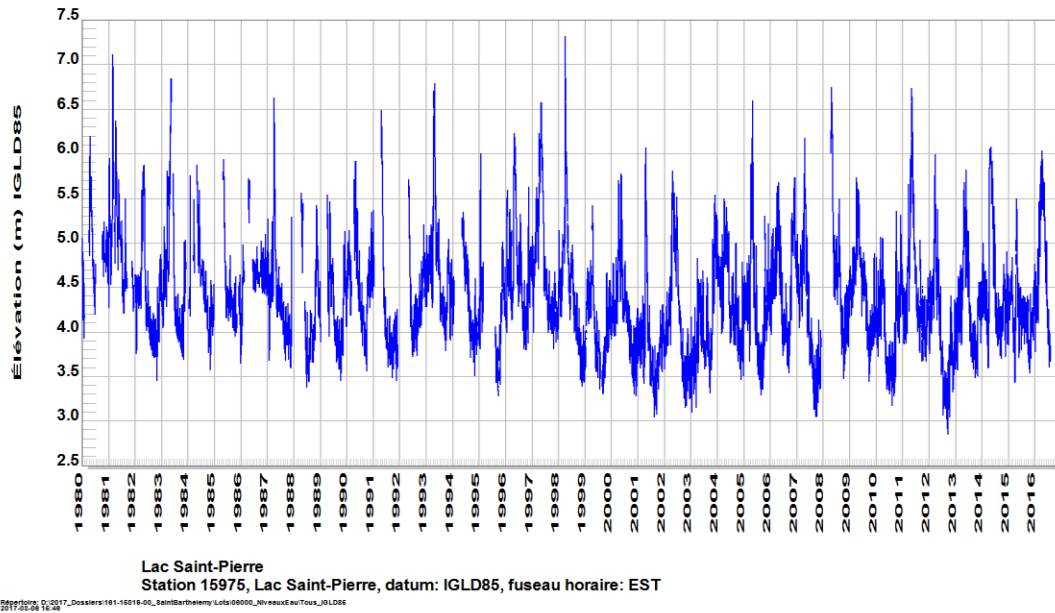
Ce sont les cotes relevées au secteur ouest, qui sont inférieures d'environ 1,20 m à la cote de crue de récurrence de 2 ans établie par WSP au lac Saint-Pierre, qui établissent la ligne naturelle des hautes eaux du fleuve Saint-Laurent. Ces cotes sont significativement inférieures à la cote de récurrence de 2 ans établie par Lapointe en 1990 ainsi qu'à celles établies pour la présente étude à la section 5-4.

En conclusion, pour cette région du fleuve Saint-Laurent **il n'y a pas d'équivalence** entre la cote de la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) telle qu'établie par la méthode botanique experte et la cote de récurrence de 2 ans établie par calculs statistiques sur la série des niveaux extrêmes annuels du fleuve Saint-Laurent pour cette région.

---

## 5.4 COTES DE CRUES POUR LE LAC SAINT-PIERRE

Les niveaux d'eau sont mesurés à la courbe #2 du lac Saint-Pierre depuis le début des années 1980. Le signal, tracé à la Figure 5-21 est toutefois parsemé de plusieurs plages de données manquantes. Le niveau maximum enregistré en 37 ans a été de 7,38 m. On corrige toutefois cette lacune en établissant une relation niveau-niveau entre la station limnimétrique de Sorel et celle de la courbe #2 du lac Saint-Pierre. Ceci permet d'obtenir un signal plus complet.

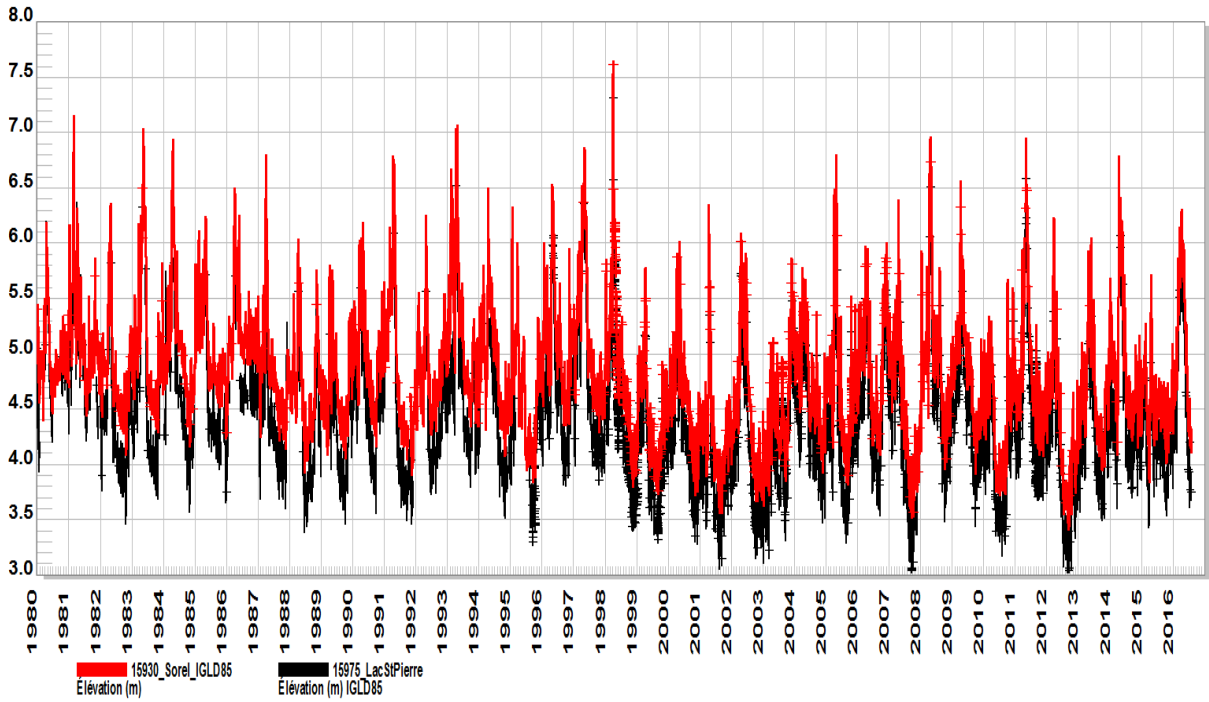


**Figure 5-21 Niveau d'eau du lac Saint-Pierre mesuré à la courbe #2**

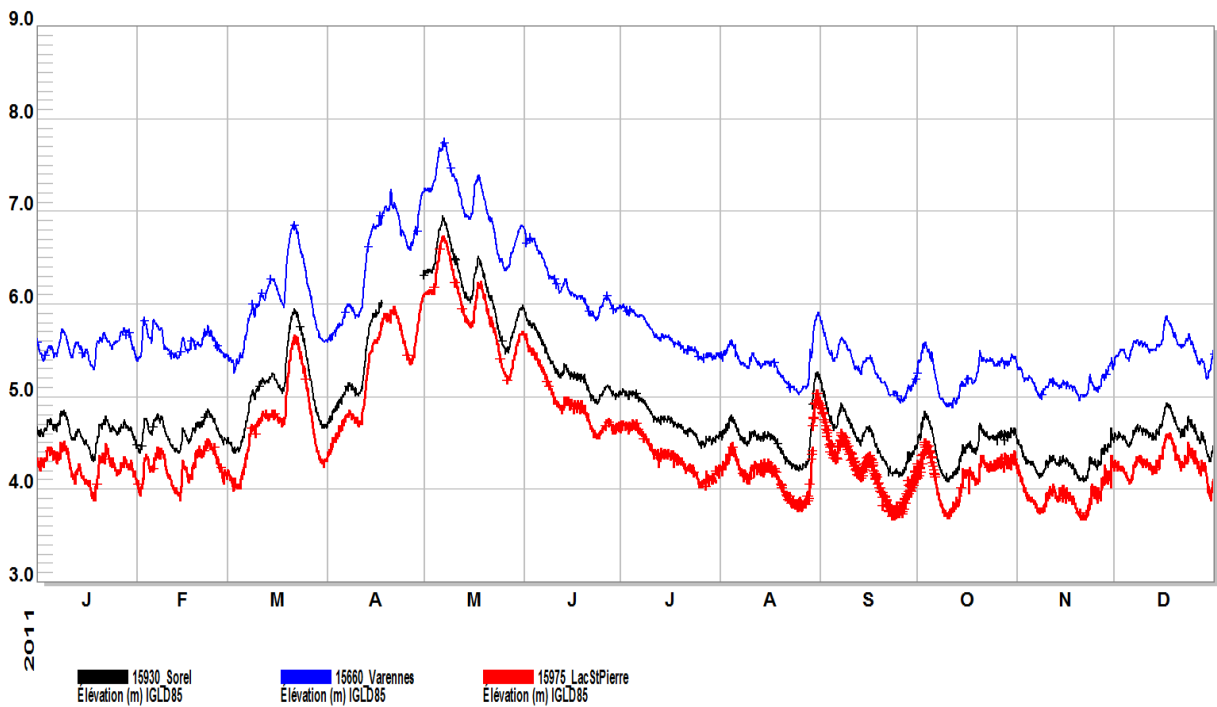
#### 5.4.1 COMPLEMENT DU SIGNAL AVEC CELUI DE LA STATION DE SOREL

Le signal de Sorel couvre la période du signal mesuré à la courbe #2 du lac Saint-Pierre et possède peu de périodes de données manquantes. Les signaux de niveaux d'eau à Sorel et à la courbe #2 sont tracés à la Figure 5-22. Ces signaux ont été tracés sur une base annuelle. Les figures sont regroupées à l'annexe G et un exemple est présenté à la Figure 5-23.

Une fonction de transfert est créée, qui permet de calculer le niveau d'eau à la courbe #2 à partir de la mesure réalisée à Sorel. Cette fonction est établie par l'ajustement d'une fonction quadratique aux couples de points de niveau d'eau tirés des cinq simulations obtenues d'Environnement Canada. Les niveaux de la surface de l'eau ont été extraits en un point de parcours situé à proximité des stations limnimétriques.



**Figure 5-22 Niveaux d'eau mesurés à Sorel et au lac Saint-Pierre depuis 1980**



**Figure 5-23 Comparaison des mesures de niveau d'eau à Sorel et à la courbe #2 du lac Saint-Pierre pour l'année 2011**

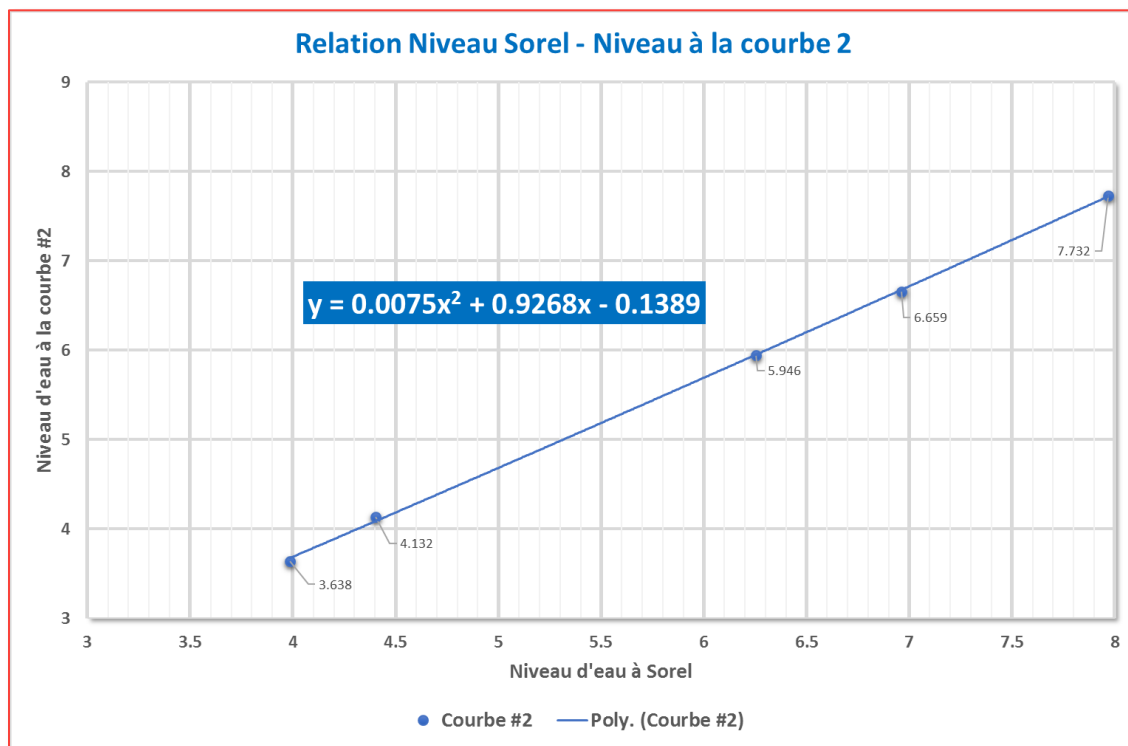
### 5.4.2 FONCTION DE TRANSFERT

La fonction de transfert est établie avec les cinq couples de niveaux d'eau obtenus du traitement des résultats de la modélisation numérique réalisée par Environnement Canada. Les niveaux d'eau obtenus sont présentés au Tableau 5-2.

**Tableau 5-2** Couples de points d'élévation retenus pour créer la fonction de transfert

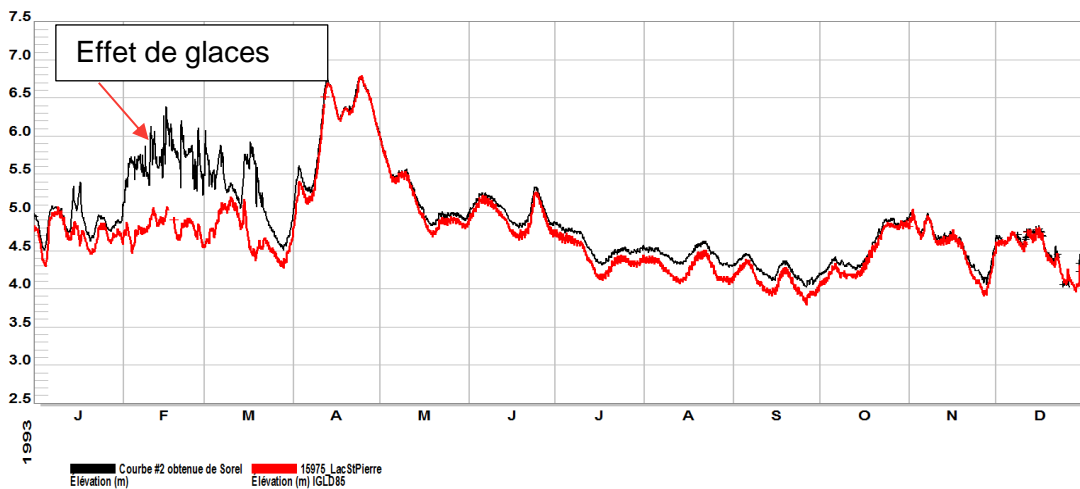
SIMULATION	STATION DE SOREL	STATION DE LA COURBE #2	DESCRIPTION
1	3,984	3,638	Conditions du 2016-11-11
2	4,403	4,132	Conditions du 2016-11-18
3	6,253	5,946	Conditions 6P
4	6,963	6,659	Conditions 7P
5	7,968	7,732	Conditions 8P

La qualité de l'ajustement de la fonction quadratique aux cinq couples de points peut être établie en consultant la Figure 5-24.

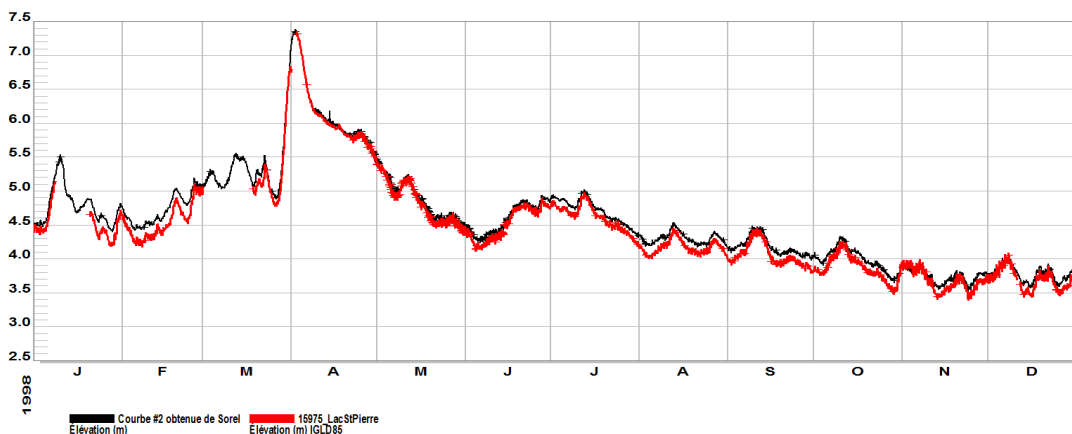


**Figure 5-24** Fonction de transfert entre le niveau mesuré à Sorel et celui mesuré à la courbe #2 du lac Saint-Pierre

La fonction de transfert est appliquée au signal de Sorel pour la période 1980-2016 (37 années). Le signal obtenu est tracé et il est comparé au signal du site de la courbe #2. La qualité de la fonction est très bonne lorsque le niveau transformé obtenu à la courbe #2 est quasi identique au niveau qui y est mesuré. Cette comparaison est réalisée en traçant les deux signaux à chaque année. Il en ressort qu'hormis certains cas hivernaux pouvant s'expliquer par un effet de glace à la station de Sorel, la fonction de transfert donne d'excellents résultats pour les hauts niveaux d'eau tel qu'illustré aux Figure 5-25 et Figure 5-26. Il existe toutefois un écart entre la valeur obtenue avec la fonction de transfert et celle mesurée à la courbe #2 pour des niveaux d'eau inférieurs à la cote 4,5 m. Comme nous sommes intéressés par les cotes de crues pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans, la fonction de transfert est considérée valide car elle donne d'excellents résultats à ces hauts niveaux (niveaux dont la cote est supérieure à la cote 5,5 m).



**Figure 5-25** Différence marquée observable en période hivernale en 1993

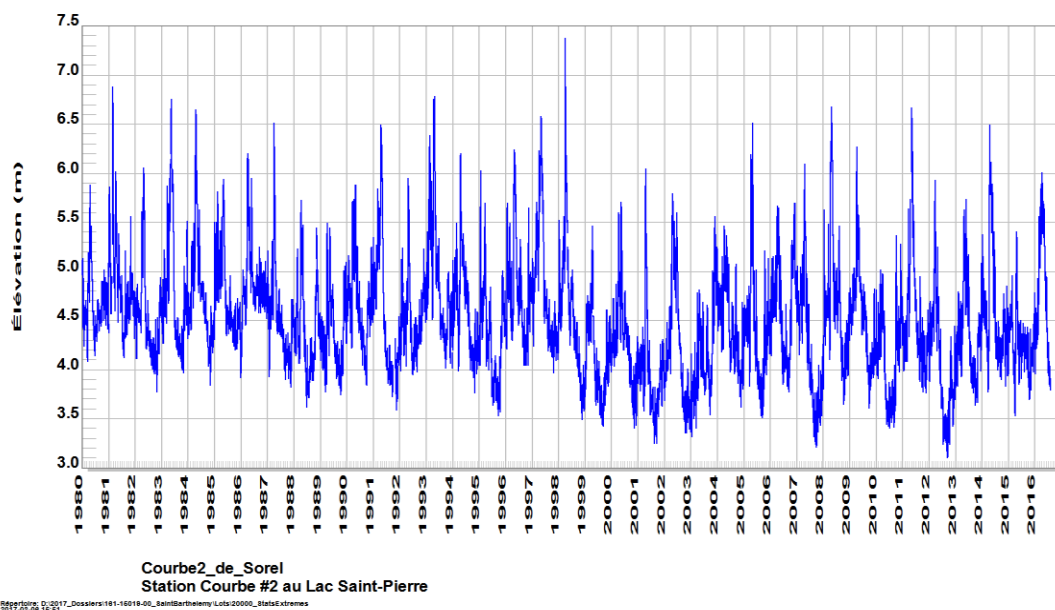


**Figure 5-26** Excellents résultats obtenus à hauts niveaux avec la fonction de transfert

---

### 5.4.3 COMPLEMENT DE LA SÉRIE DE NIVEAUX D'EAU À LA COURBE #2

Pour la période 1980-2016, toute valeur manquante dans la série des mesures du niveau d'eau à la courbe #2 est remplacée par le niveau d'eau mesuré à Sorel et transformé avec la fonction de transfert décrite à la section précédente. Le résultat est ensuite inspecté visuellement et certaines valeurs corrigées (pointes ou « spikes »). La série temporelle obtenue est présentée à la Figure 5-27.



**Figure 5-27** Signal reconstitué du niveau d'eau à la courbe #2 du lac Saint-Pierre pour la période 1980-2016

La comparaison des signaux mesurés et reconstitués à la courbe #2 permet de constater que les valeurs de crue extrêmes du signal d'origine sont toutes présentes. On retient donc le signal mesuré à la courbe #2 pour réaliser les analyses statistiques sur les valeurs extrêmes annuelles.

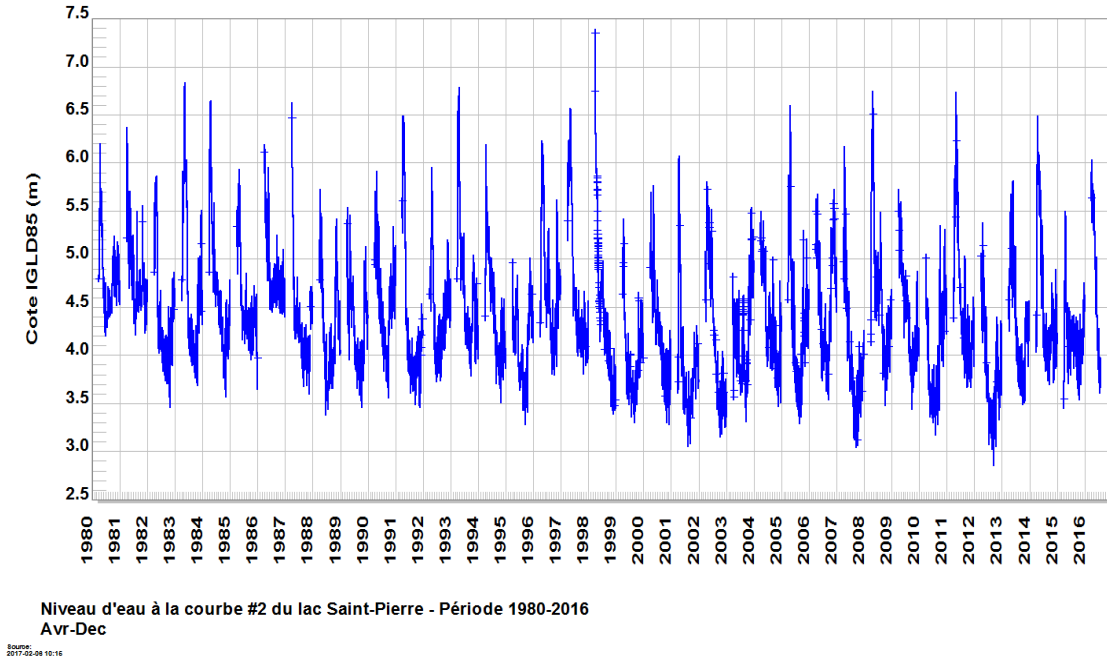
---

### 5.4.4 ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX MAXIMA ANNUELS À LA COURBE #2

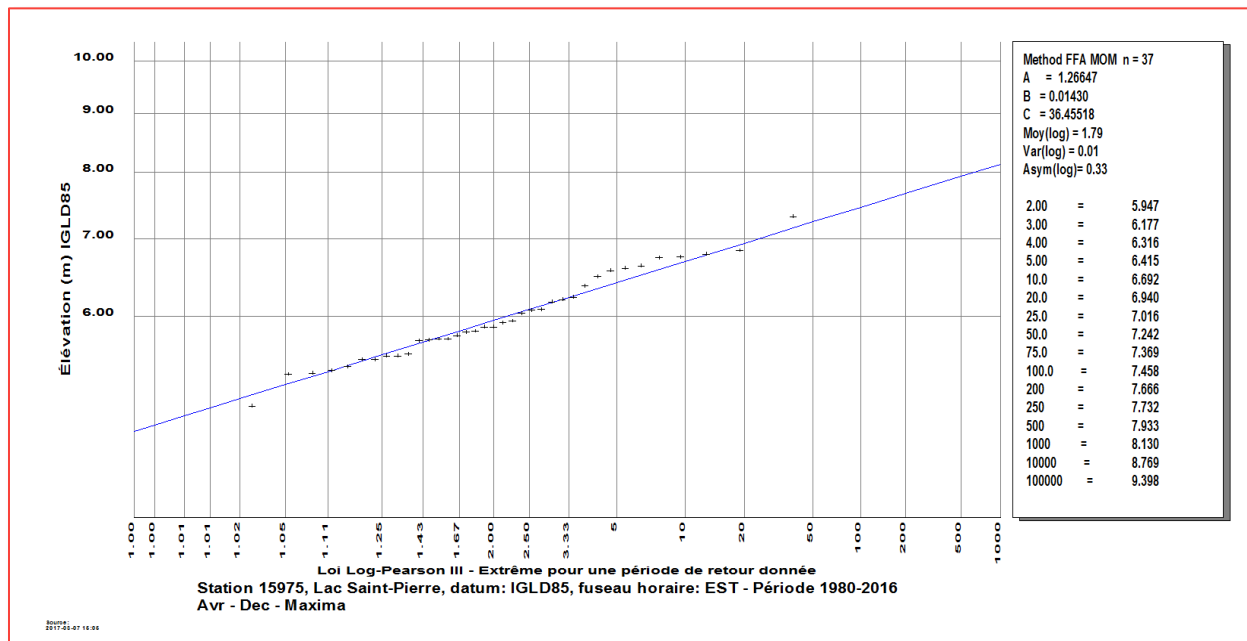
Certains épisodes de haut niveau sont provoqués par des embâcles de glace. Comme les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans doivent être établies en conditions libres de glace, les mesures de niveau d'eau réalisées durant les mois de janvier, février et mars sont éliminées du signal. Le niveau d'eau maximal horaire enregistré à chaque année est ensuite extrait de la série pour réaliser l'ajustement de lois statistiques d'extrêmes. Il y a 37 valeurs qui sont retenues. Les valeurs et leur date d'occurrence sont présentées à l'annexe I. Le signal est présenté à la Figure 5-28. Les ajustements pour des lois de Weibull et Log-Pearson III ont été réalisés. La droite d'ajustement de la loi Log-Pearson III est présentée à la Figure 5-29 et celle



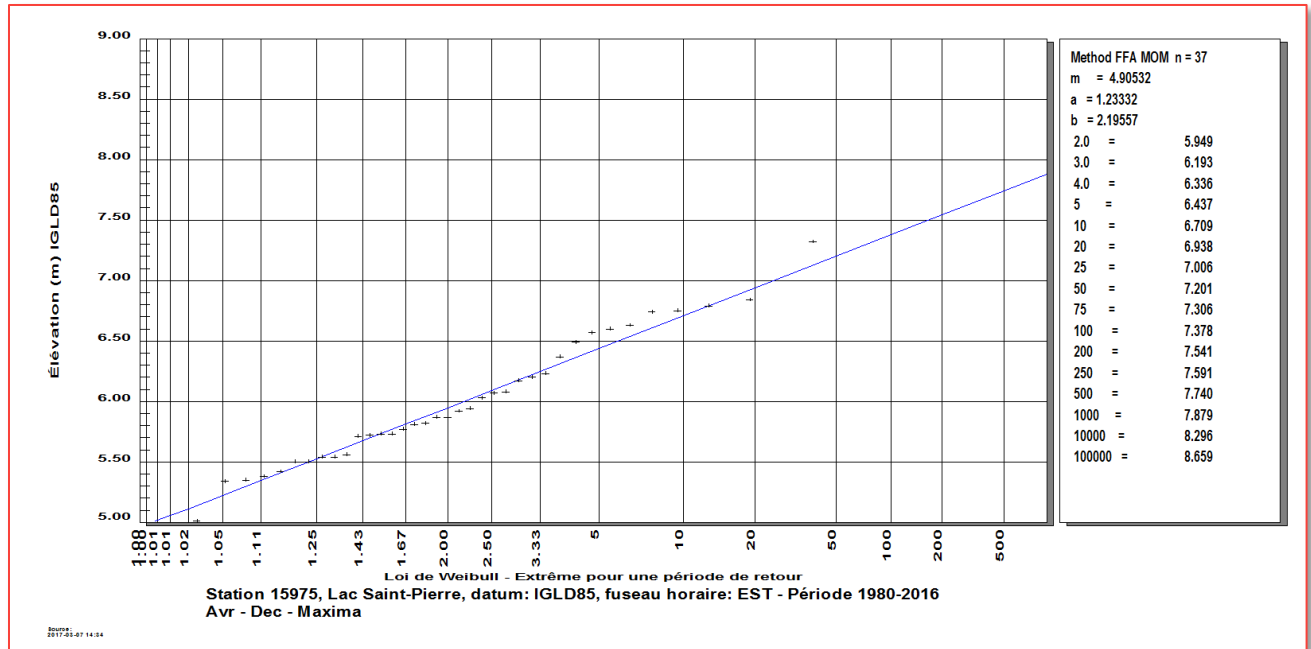
de la loi de Weibull à la Figure 5-30. Les niveaux d'eau pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans sont consignés au Tableau 5-3. Les valeurs retenues par le MDDELCC y sont également indiquées. L'écart est de l'ordre du demi-mètre.



**Figure 5-28** Variation du niveau d'eau du lac Saint-Pierre à la courbe #2 du début avril à la fin décembre



**Figure 5-29** Ajustement d'une loi d'extrême de type Log-Pearson III aux niveaux d'eau maxima annuels à la courbe #2



**Figure 5-30 Ajustement d'une loi d'extrême de type Weibull aux niveaux d'eau maxima annuels à la courbe #2**

Les périodes retenues par le Ministère de l'Environnement (MENV) en 1990 varient selon la station limnimétrique analysée. Ainsi, l'analyse statistique a été réalisée pour la période 1930-1981 pour les stations de Varennes, Sorel et Trois-Rivières. Pour d'autres stations, ce sont des périodes qui débutent postérieurement à la mise en opération de la voie maritime du Saint-Laurent et qui se terminent en 1986 qui ont été analysées. Un amalgame de séries pour lesquelles les périodes couvertes sont très différentes peut produire des résultats incohérents aux différentes stations qui jalonnent le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Trois-Rivières. Il est préférable de retenir une période commune pour établir ces statistiques.

**Tableau 5-3 Résultats obtenus suite aux analyses statistiques pour la courbe #2**

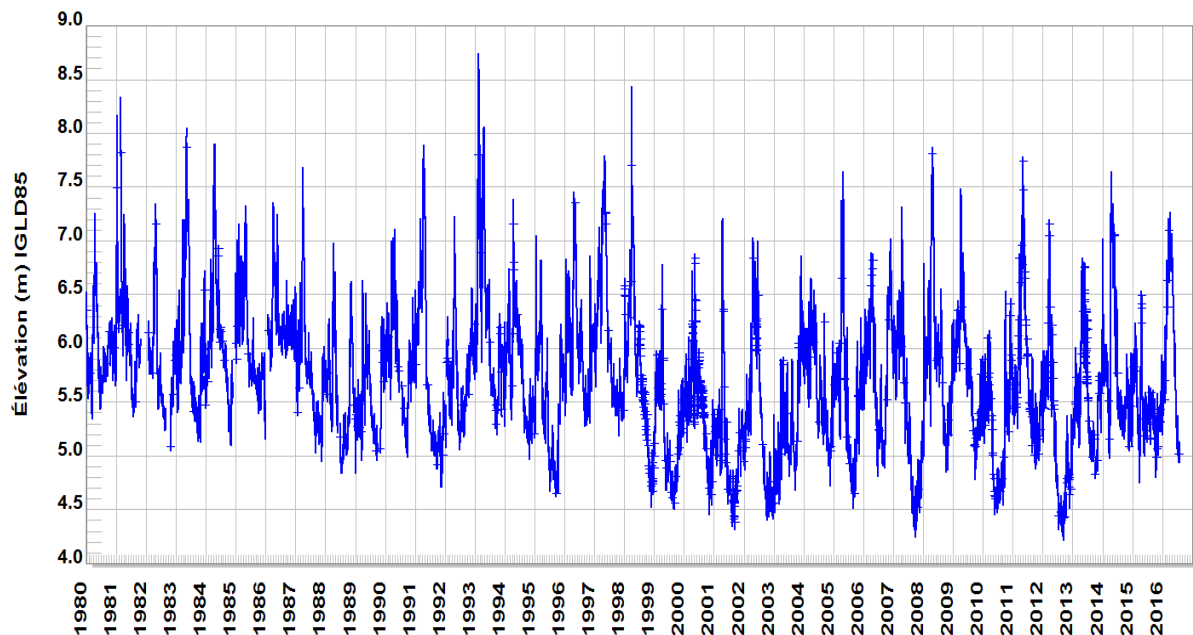
	PÉRIODE	ÉCHANTILLON	LOI	2 ANS	20 ANS	100 ANS
MENV 90 (point 72)	Variable 1930-1986	Janvier à décembre	LP III	6,44	7,52	7,88
Courbe #2	1980-2016	Avril à décembre	LP III	5,95	6,94	7,46
			Weibull	5,95	6,94	7,38
			<b>Moyenne</b>	<b>5,95</b>	<b>6,94</b>	<b>7,42</b>
Écart			LP III	0,49	0,58	0,42
			Moyenne	0,49	0,58	0,46

### 5.4.5 COTES DE CRUES À LA COURBE #2 DU LAC SAINT-PIERRE

Du tableau 5-3, les cotes de crues sont établies à 5,95 m pour la crue de récurrence de 2 ans, à 6,94 m pour la crue de récurrence de 20 ans et à 7,42 m pour la crue de récurrence de 100 ans à la courbe #2 du lac Saint-Pierre. Ce sont ces trois valeurs, ainsi que celles pour Varennes, qui sont utilisées pour déterminer les cotes le long de rives du fleuve (chapitre 6).

## 5.5 COTES DE CRUES À VARENNES

Les niveaux d'eau sont mesurés à Varennes depuis 1961. Le signal, tracé à la Figure 5-31, est toutefois parsemé de plages de données manquantes. On pourrait corriger cette lacune en établissant une relation niveau-niveau entre la station limnimétrique de Sorel et celle de Varennes, suivant la même démarche que celle suivie au chapitre précédent pour la station de la courbe #2 du lac Saint-Pierre. Cependant, une inspection du signal pour chaque année indique que tous les pics de crues en conditions hors glace sont présents pour la station de Varennes. Ces signaux ont été tracés et ils sont regroupés à l'annexe G. Le signal qui couvre la période 1980-2016 est donc retenu pour réaliser les analyses statistiques sur les valeurs extrêmes. La sélection de cette période a été établie et justifiée précédemment.



Station 15660, Varennes, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST - Période 1980-2016  
Tous les mois

Source:  
2017-02-12 21:01

**Figure 5-31** Niveau d'eau mesuré à la station de Varennes

### 5.5.1 ANALYSE STATISTIQUE DES NIVEAUX MAXIMA ANNUELS VARENNES

Certains épisodes de hauts niveaux sont provoqués par des embâcles de glace. Comme les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans doivent être établies en conditions libres de glace, les mesures de niveau d'eau réalisées durant les mois de janvier, février et mars sont éliminées du signal. Le niveau d'eau maximal horaire enregistré à chaque année est ensuite extrait de la série pour réaliser l'ajustement de lois statistiques d'extrêmes. Il y a 37 valeurs qui sont retenues. Les valeurs et leur date d'occurrence sont présentées à l'annexe I. Le signal est présenté à la Figure 5-32. Les ajustements pour des lois de Weibull et Log-Pearson III ont été réalisés. La droite d'ajustement de la loi Log-Pearson III est présentée à la Figure 5-33 et celle de la loi de Weibull à la Figure 5-34. Les niveaux d'eau pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans sont consignées au Tableau 5-4 Les valeurs retenues par le MDDELCC y sont également indiquées. L'écart atteint quasiment le mètre pour les récurrences de 20 et de 100 ans.

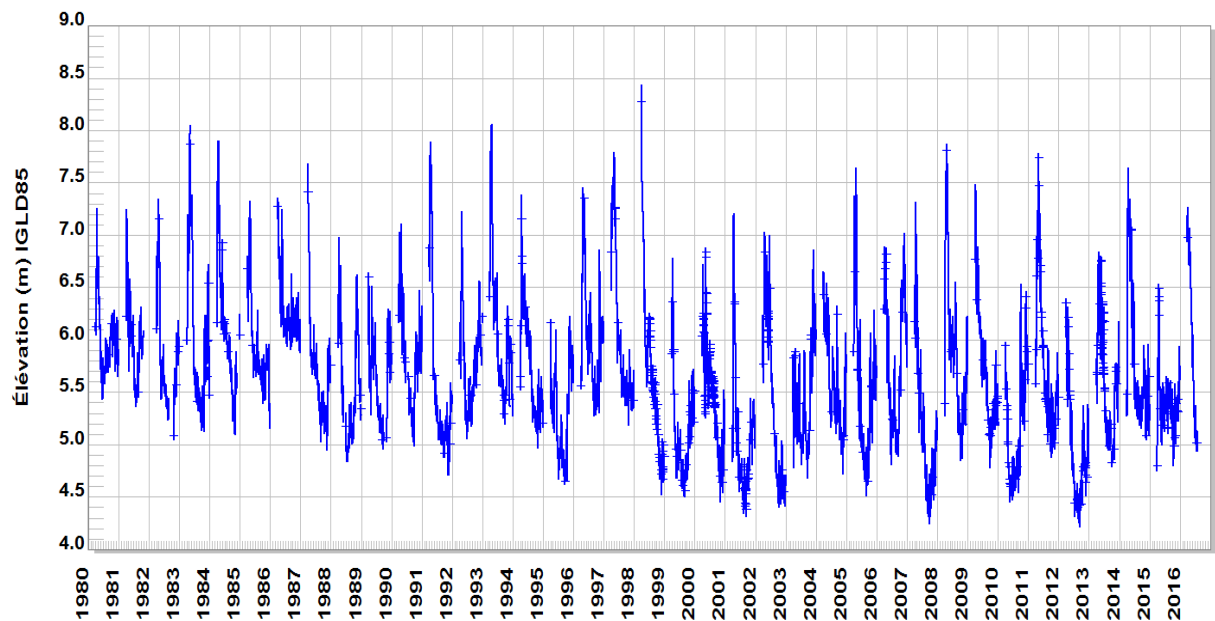
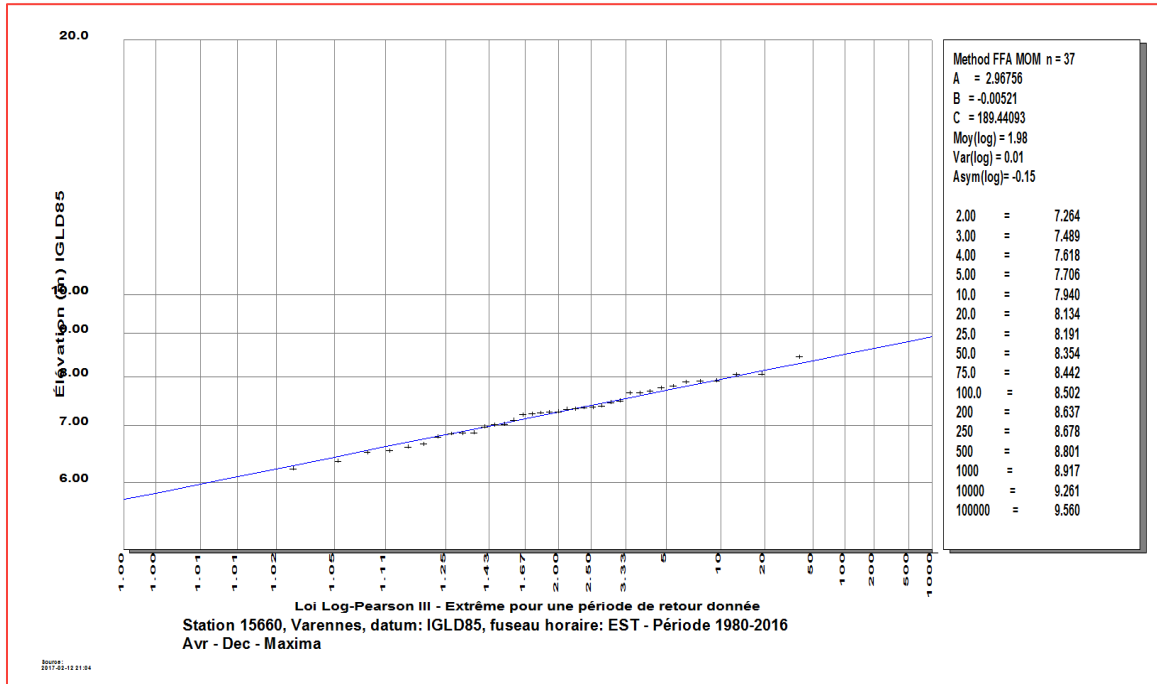
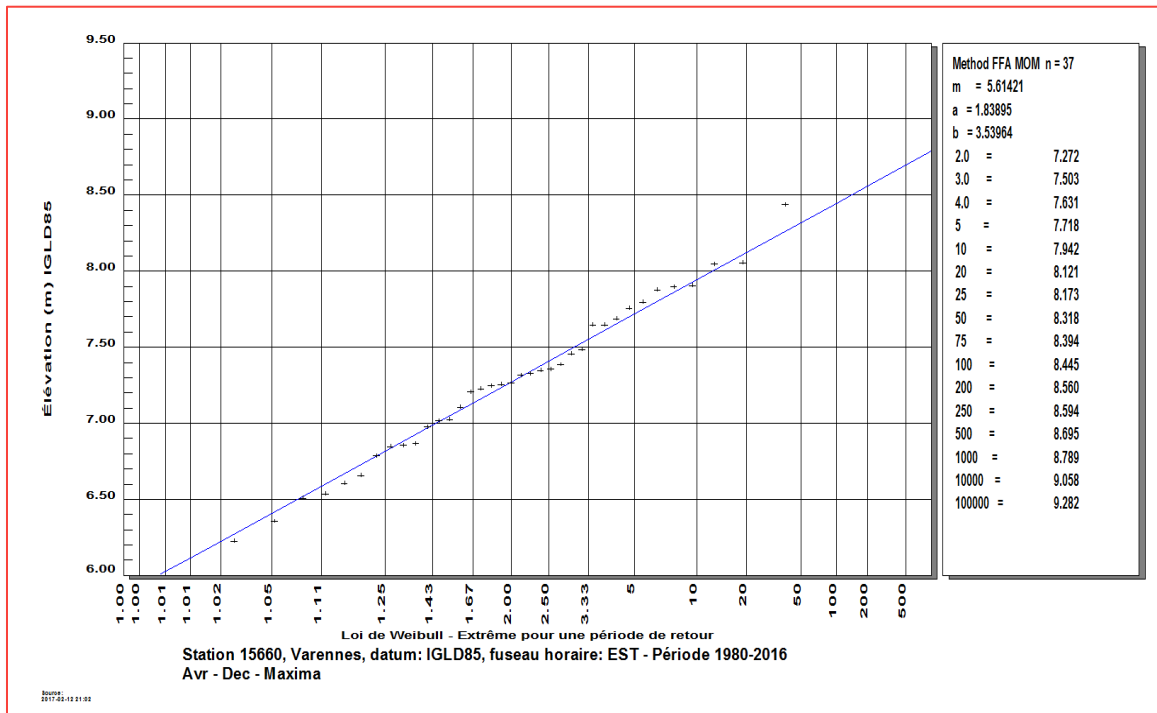


Figure 5-32 Variation du niveau d'eau à Varennes du début avril à la fin décembre



**Figure 5-33 Ajustement d'une loi d'extrême de type Log-Pearson III aux niveaux d'eau maxima annuels à Varennes**



**Figure 5-34 Ajustement d'une loi d'extrême de type Weibull aux niveaux d'eau maxima annuels à Varennes**

Les périodes retenues par le MRN en 1990 varient selon la station limnimétrique analysée. Ainsi, l'analyse statistique a été réalisée pour la période 1930-1981 pour les stations de Varennes, Sorel et Trois-Rivières. Pour d'autres stations, ce sont des périodes qui débutent postérieurement à la mise en opération de la voie maritime du Saint-Laurent et qui se terminent en 1986 qui ont été analysées. Un amalgame de séries pour lesquelles les périodes couvertes sont très différentes peut produire des résultats incohérents spatialement aux différentes stations qui jalonnent le fleuve Saint-Laurent entre Montréal et Trois-Rivières. Pratiquement, il est préférable de retenir une période commune pour établir les statistiques.

**Tableau 5-4 Résultats obtenus suite aux analyses statistiques pour Varennes**

	PÉRIODE	ÉCHANTILLON	LOI	2 ANS	20 ANS	100 ANS
MENV 90 (point 0)	Variable 1930-1986	Janvier à décembre	LP III	8,14	9,08	9,42
Varennes	1980-2016	Avril à décembre	LP III Weibull <b>Moyenne</b>	7,26 7,27 <b>7,27</b>	8,13 8,12 <b>8,13</b>	8,50 8,45 <b>8,47</b>
Écart			LP III Moyenne	0,88 0,87	0,95 0,95	0,92 0,94

Du tableau 5-4, les cotes de crues sont établies à 7,27 m pour la crue de récurrence de 2 ans, à 8,13 m pour la crue de récurrence de 20 ans et à 8,47 m pour la crue de récurrence de 100 ans à Varennes.

## 5.6 SYNTHÈSE

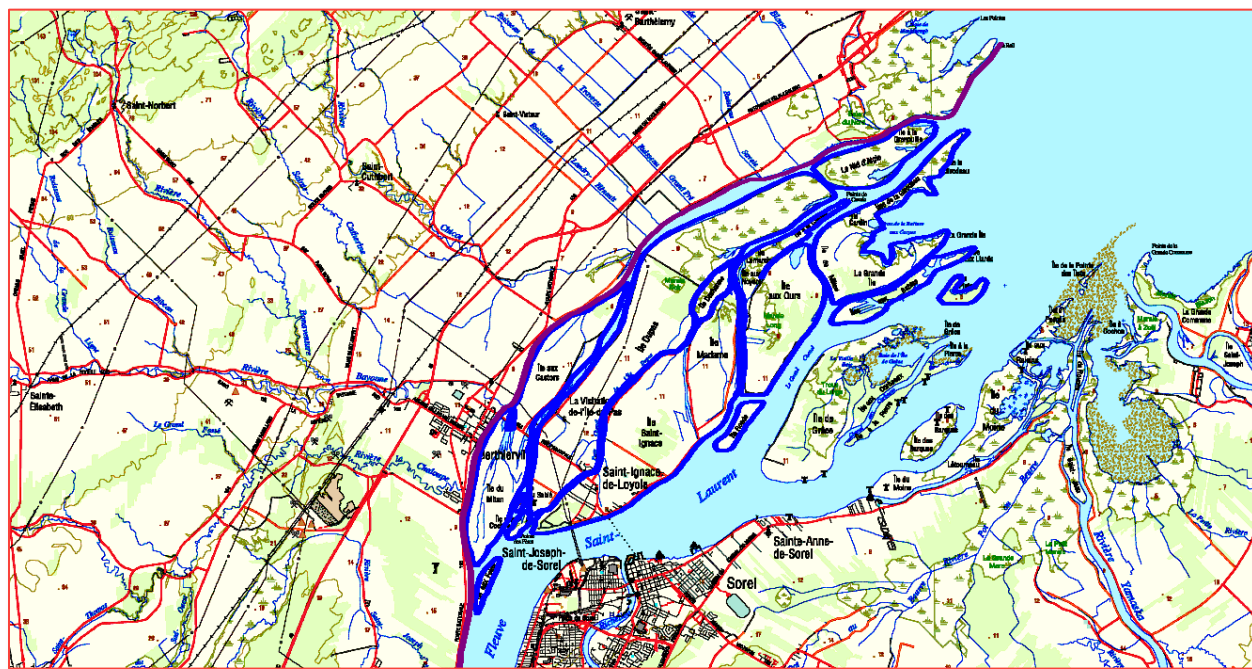
La synthèse des résultats est présentée au tableau suivant.

**Tableau 5-5 Résultats obtenus suite aux analyses statistiques**

	PÉRIODE	ÉCHANTILLON	2 ANS	20 ANS	100 ANS
MRN 90 (point 0)	Variable 1930-1986	Janvier à décembre	8,14	9,08	9,42
Varennes	1980-2016	Avril à décembre	<b>7,27</b>	<b>8,13</b>	<b>8,47</b>
MENV 90 (point 72)	Variable 1930-1986	Janvier à décembre	6,44	7,52	7,88
Courbe #2	1980-2016	Avril à décembre	<b>5,95</b>	<b>6,94</b>	<b>7,42</b>

## 6 COTES DE CRUES DU FLEUVE SAINT-LAURENT LE LONG DES RIVES DU FLEUVE

On doit tenir compte de la pente d'écoulement du fleuve Saint-Laurent pour établir quelles sont les cotes de crues près des rives de la MRC de D'Autray, à savoir en rive gauche du fleuve et dans les îles de Sorel. Les simulations réalisées par Environnement Canada permettent d'évaluer quelle sont les valeurs du rehaussement à ajouter aux valeurs établies à la courbe #2 du lac Saint-Pierre ou les valeurs à soustraire à partir de la station de Varennes. Rappelons que les cotes de crues pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans ont été établies au chapitre 5 pour ces deux stations. Ces cotes vont en augmentant lorsqu'on remonte le fleuve de l'aval vers l'amont. Pour la MRC de D'Autray, trente-deux parcours sont créés, le long desquels les niveaux d'eau sont extraits des résultats de simulation. Ils sont tracés sur la carte à l'échelle du 20 000<sup>e</sup> (Figure 6-1). Chaque tracé est identifié séparément à l'annexe J, et un tableau des cotes de crues établies le long de chacun de ces parcours est également produit.



**Figure 6-1 Localisation des parcours le long des rives pour l'extraction de la cote de la surface de l'eau dans la région de Saint-Barthélemy**

Ces parcours sont formés de points, espacés au maximum de 200 m, et ils longent les rives. L'espacement entre les points est illustré à la Figure 6-2. Chaque parcours est identifié, Autray-01 à Autray-32.



**Figure 6-2 Points formant une partie du parcours Autray-01 desquels la cote de la surface de l'eau est extraite**

Pour chaque point d'un parcours on dispose de cinq (5) valeurs d'élévation, chaque valeur tirée de l'une des simulations numériques produite par Environnement Canada (Section 4.3). Ces valeurs sont mises en relation avec celles tirées des résultats de modélisation au site de la station de la courbe #2 ainsi qu'au site de la station de Varennes. Les cinq doublets ainsi formés pour chaque station de référence permettent d'établir une relation entre le niveau d'eau à la station (courbe #2 ou Varennes) et le niveau d'eau au point considéré. Pour illustrer le propos, les cinq doublets pour le premier point du parcours Autray-01 sont affichés à la Figure 6-3 en lien avec la station de la courbe #2 et ceux en liens avec la station de Varennes sont affichés à la Figure 6-4.

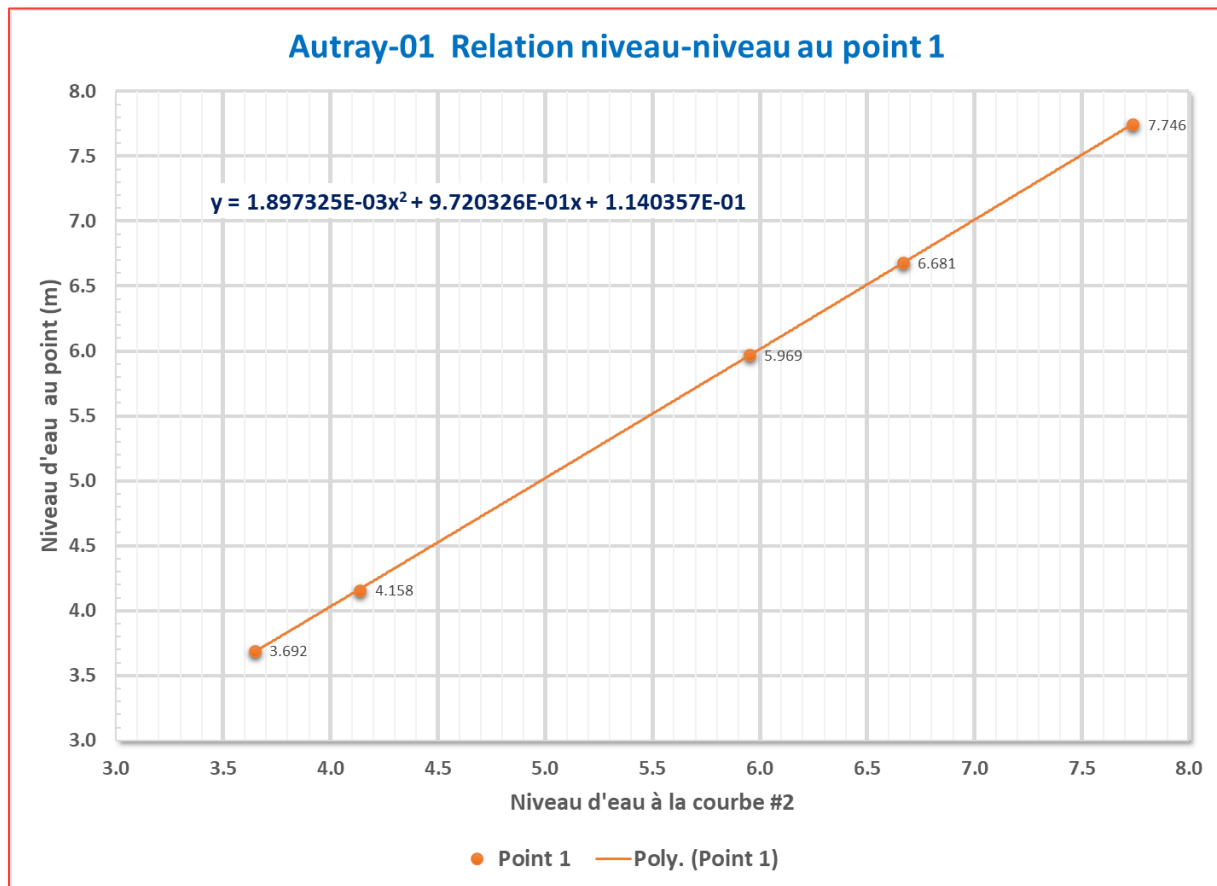
Une fonction quadratique est ensuite ajustée à ces cinq doublets par la méthode des moindres carrés. Cette fonction permet de calculer la cote de la surface de l'eau au point considéré si la cote de la surface de l'eau est connue à la station de la courbe #2. On sait que les niveaux de crue pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans sont connus à la courbe #2. On peut donc établir quelles sont les cotes de crues de récurrence de 2, de 20 et de 100 ans aux points des parcours. Comme il y a des dizaines de points formant chacun des parcours, les calculs sont réalisés avec l'aide d'une procédure informatique. Pour le premier point du parcours Autray-01, le résultat est présenté ci-dessous. Le tableau présente les coordonnées du point, les cinq valeurs de cote de la surface de l'eau, les valeurs **a**, **b** et **c** des coefficients d'ajustement de la fonction quadratique, et les cotes de crues au point considéré pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans. Pour tous les parcours, on procède de l'aval vers l'amont. Les coordonnées des points sont relatives à la projection SCoPQ fuseau 8. Des conditions hydrologiques différentes font que la cote calculée en un point donné diffère selon que l'on retient la station de la



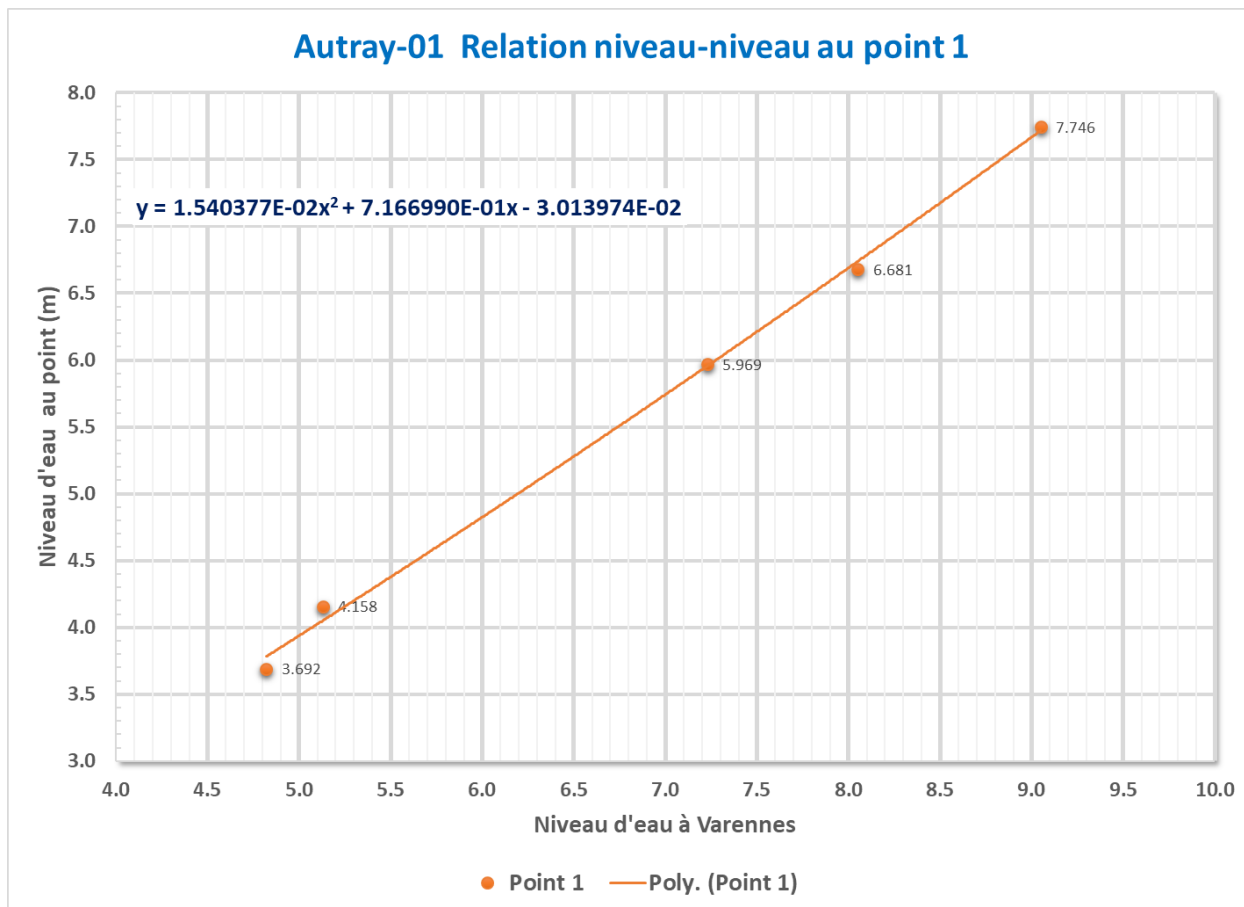
courbe #2 ou celle de Varennes. Ceci s'explique par le fait que la variation des niveaux du lac Saint-Pierre dépend plus fortement des apports provenant des rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et que la variation à Varennes est plus influencée par les débits provenant de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent à Montréal.

Autray-01	Easting	Northing	S01	S02	S03	S04	S05	Ajust. A	Ajust. B	Ajust. C	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m	m	m				m	m	m
Courbe #2	351457	5117408	3,647	4,138	5,952	6,666	7,737				5,95	6,94	7,42
Point 1	345485	5116307	3,692	4,158	5,969	6,681	7,746	1,897325E-03	9,720326E-01	1,140357E-01	5,96	6,95	7,43

Autray-01	Easting	Northing	S01	S02	S03	S04	S05	Ajust. A	Ajust. B	Ajust. C	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m	m	m				m	m	m
Varennes	308720	5060460	4.820	5.130	7.230	8.050	9,050				7.27	8.13	8.47
Point 1	345485	5116307	3.692	4.158	5.969	6.681	7,746	1.540377E-02	7.166990E-01	-3.013974E-02	5,99	6,81	7,15



**Figure 6-3 Ajustement d'une fonction quadratique aux cinq doublets tirés des simulations numériques d'Environnement Canada en retenant la station de la courbe #2**



**Figure 6-4 Ajustement d'une fonction quadratique aux cinq doublets tirés des simulations numériques d'Environnement Canada en retenant la station de Varennes**

Nous présentons au Tableau 6-1 les cotes de crues en certains points le long de la rive gauche du fleuve pour la MRC de D'Autray qui seraient établies en retenant la station de la courbe #2 comme station de référence. Au Tableau 6-2 ces mêmes cotes sont affichées mais en utilisant la station de Varennes comme référence. On constate une différence appréciable entre les cotes. Ainsi, les calculs réalisés avec la station de Varennes donnent des valeurs de cotes de crues inférieures à celles établies avec la station de la courbe #2. Pour assurer une transition gentille et uniforme des cotes de crues de long des rives de la MRC, une correction est appliquée, établie en fonction de la distance du point considéré par rapport aux deux stations de référence. La méthode est présentée à la section suivante.

**Tableau 6-1 Cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans à certains points du parcours Autray-01 établies avec la station de la Courbe #2 (note : à ne pas utiliser car il s'agit d'un résultat intermédiaire)**

POINT	2 ans	20 ans	100 ans	Localisation approximative
1	5,96	6,95	7,43	La Rail
21	5,99	6,97	7,45	Baie du Nord
41	6,03	7,01	7,49	Ruisseau Savoie
61	6,07	7,05	7,52	Ruisseau Grand Pré
81	6,14	7,11	7,58	Pointe aval de l'Île aux Castors
101	6,22	7,19	7,64	Berthierville, amont de l'Île aux Castors
121	6,31	7,29	7,75	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	6,37	7,35	7,82	Îles aux Foins
161	6,41	7,39	7,86	Ligne électrique
181	6,49	7,48	7,96	Lanoraie Nord
201	6,59	7,60	8,09	Lanoraie Sud
221	6,65	7,66	8,15	Lavaltrie Nord
241	6,71	7,72	8,21	Lavaltrie Sud
261	6,78	7,79	8,28	Saint-Sulpice
271	6,81	7,82	8,31	Fin du parcours

**Tableau 6-2 Cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans à certains points du parcours Autray-01 établies avec la station de Varennes (note : à ne pas utiliser car il s'agit d'un résultat intermédiaire)**

POINT	2 ans	20 ans	100 ans	Localisation approximative
1	5,99	6,81	7,15	La Rail
21	6,02	6,83	7,16	Baie du Nord
41	6,06	6,88	7,21	Ruisseau Savoie
61	6,10	6,92	7,24	Ruisseau Grand Pré
81	6,17	6,98	7,30	Pointe aval de l'Île aux Castors
101	6,25	7,06	7,37	Berthierville, amont de l'Île aux Castors
121	6,34	7,15	7,48	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	6,41	7,22	7,54	Îles aux Foins
161	6,44	7,26	7,58	Ligne électrique
181	6,53	7,35	7,68	Lanoraie Nord
201	6,63	7,47	7,80	Lanoraie Sud
221	6,69	7,53	7,86	Lavaltrie Nord
241	6,75	7,59	7,92	Lavaltrie Sud
261	6,82	7,66	7,99	Saint-Sulpice
271	6,85	7,69	8,02	Fin du parcours

## 6.1 DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EAU DE RÉCURRENCE DE 2, DE 20 ET DE 100 ANS

Pour concilier ces différences de niveau d'eau, on pondère les deux résultats en fonction de la distance entre le point considéré et les deux stations retenues. Ainsi, plus on s'approche de l'une des stations et plus la valeur obtenue s'approche de celle obtenue à la station. La méthode suivante permet de pondérer la cote finale en un point donné. La cote en un point donné du domaine est calculée avec la relation niveau à Varennes – niveau point donné (cote<sub>1</sub>). Le calcul est à nouveau réalisé avec la relation niveau à la Courbe #2 et le niveau au point donné (cote<sub>2</sub>). La distance à vol d'oiseau est calculée entre ce point de calcul et les stations de Varennes (d<sub>1</sub>) et de la courbe #2 (d<sub>2</sub>). La valeur d'élévation finale retenue est la valeur pondérée selon la distance du point par rapport aux deux stations selon la formule suivante :

$$\text{Cote} = \text{cote}_1 * \alpha + \text{cote}_2 * \beta$$

$$\text{Avec :} \quad \alpha = d_2 / (d_1 + d_2) \quad \beta = d_1 / (d_1 + d_2)$$

Tous les résultats sont présentés à l'annexe J sous forme de figures et de tableaux. Les cotes de crues à certains points du parcours Autray-01 sont affichées au Tableau 6-3. Ils sont également fournis sous forme de tableaux dans des chiffriers Excels. Certains résultats sont affichés aux sections qui suivent sans autre commentaire.

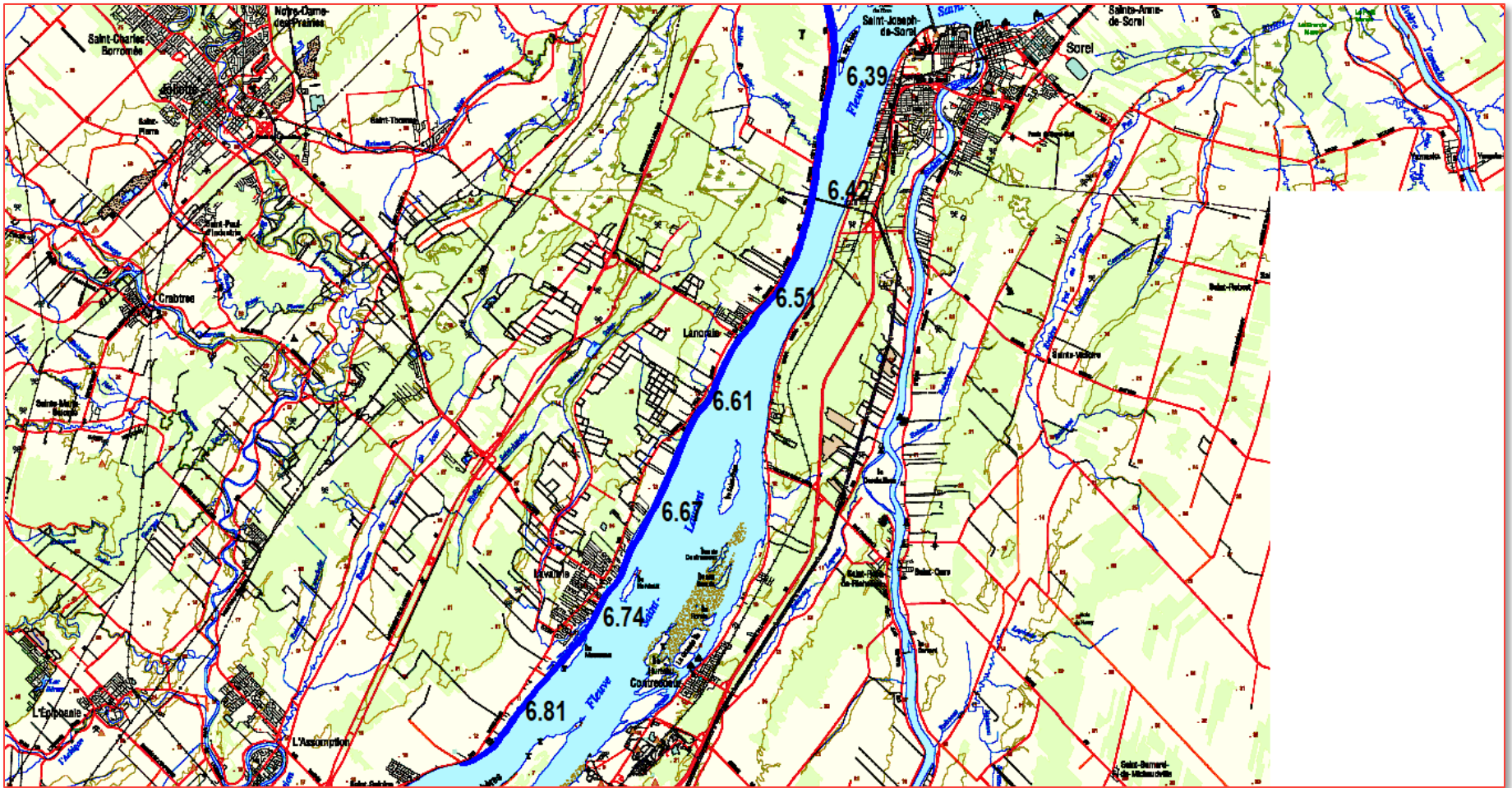
**Tableau 6-3 Cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans à certains points du parcours Autray-01 obtenues suite à la pondération spatiale entre les stations de la courbe #2 et de Varennes (valeurs finales)**

POINT	2 ans	20 ans	100 ans	Localisation approximative
1	5,97	6,94	7,41	La Rail
21	5,99	6,95	7,41	Baie du Nord
41	6,04	6,99	7,44	Ruisseau Savoie
61	6,08	7,02	7,46	Ruisseau Grand Pré
81	6,15	7,08	7,50	Pointe aval de l'Île aux Castors
101	6,23	7,14	7,56	Berthierville, amont de l'Île aux Castors
121	6,32	7,24	7,65	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	6,39	7,30	7,71	Îles aux Foins
161	6,42	7,33	7,73	Ligne électrique
181	6,51	7,42	7,82	Lanoraie Nord
201	6,61	7,53	7,93	Lanoraie Sud
221	6,67	7,58	7,97	Lavaltrie Nord
241	6,73	7,63	8,02	Lavaltrie Sud
261	6,81	7,7	8,07	Saint-Sulpice
271	6,84	7,72	8,09	Fin du parcours

## 6.2 COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA RÉCURRENCE DE 2 ANS



Figure 6-5 Cotes de crues dans la région nord de la MRC de D'Autray, récurrence de 2 ans

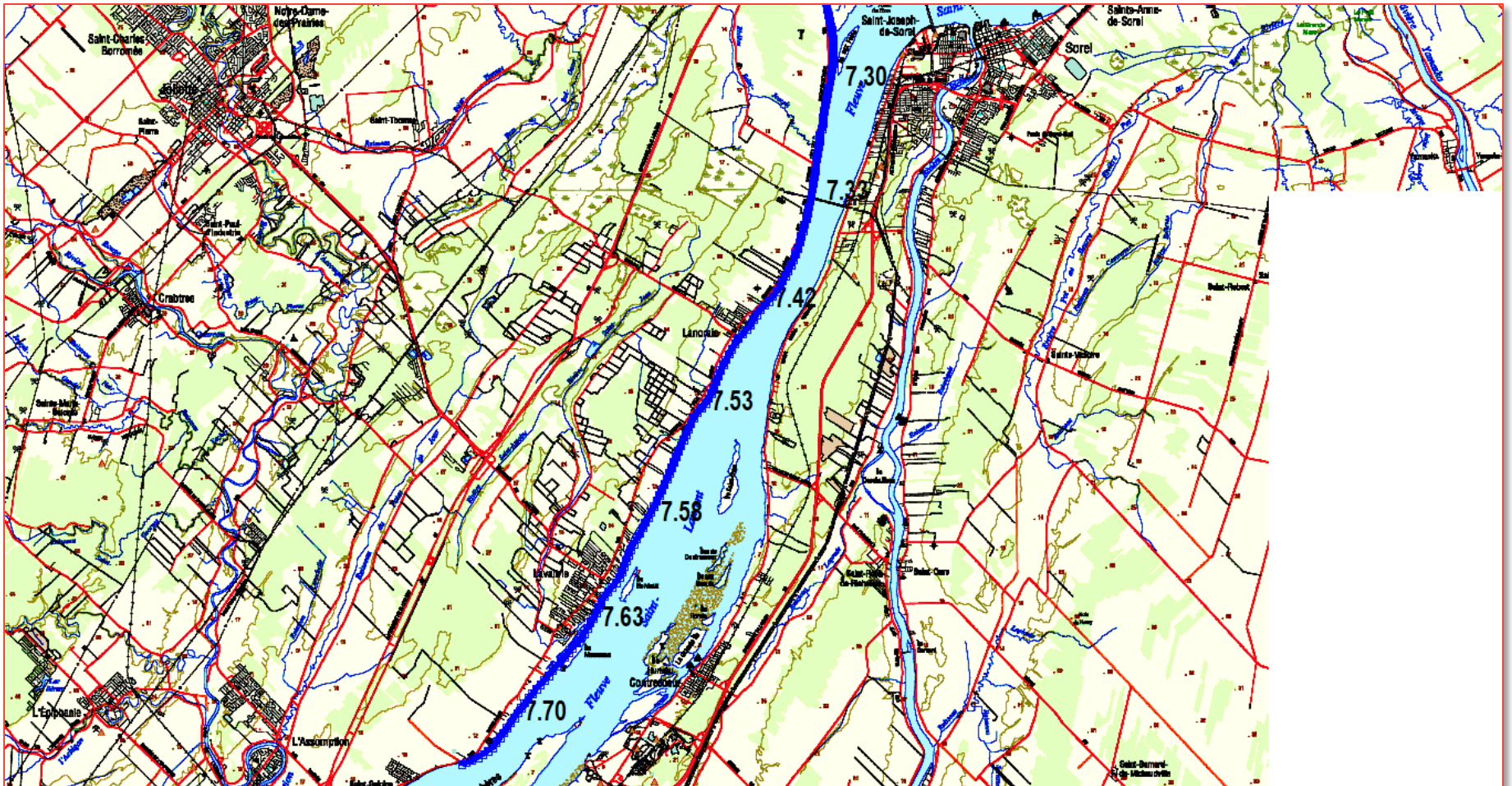


**Figure 6-6 Cotes de crues dans la région sud de la MRC de D'Au-tray, récurrence de 2 ans**

## 6.3 COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA RÉCURRENCE DE 20 ANS



Figure 6-7 Cotes de crues dans la région nord de la MRC de D'Autray, récurrence de 20 ans



**Figure 6-8 Cotes de crues dans la région sud de la MRC de D'Au-tray, récurrence de 20 ans**



## 6.4 COTES DE CRUES LE LONG DES RIVES POUR LA RÉCURRENCE DE 100 ANS



Figure 6-9 Cotes de crues dans la région nord de la MRC de D'Autray, récurrence de 100 ans

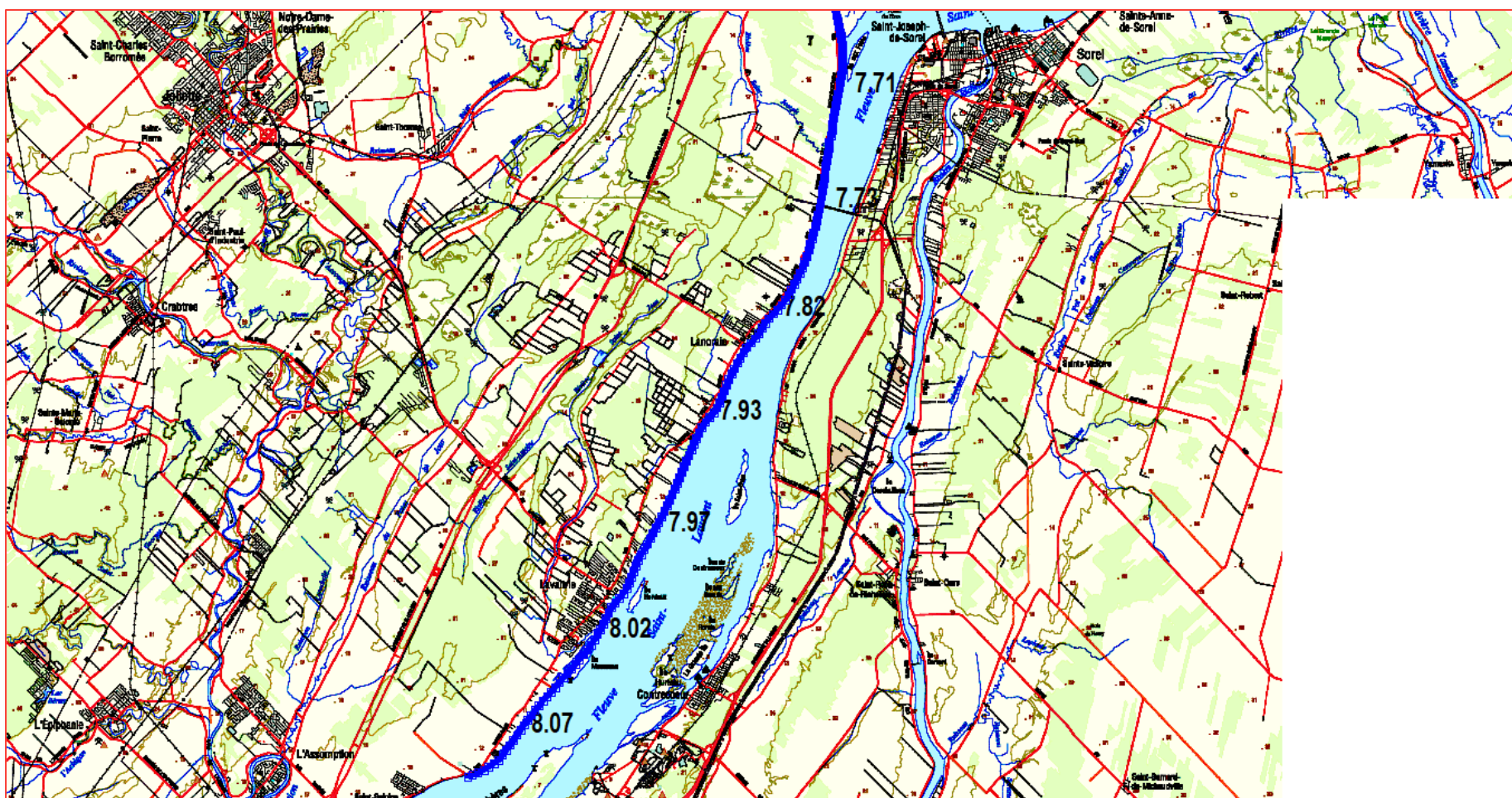


Figure 6-10 Cotes de crues dans la région sud de la MRC de D'Au-tray, récurrence de 100 ans

# 7 ÉVALUATION DES ZONES INONDÉES DE LA MRC DE D'AUTRAY

On doit projeter les cotes de crues calculées vers la rive. Comme il y a une pente à l'écoulement cette valeur varie spatialement. Une méthode de projection a été récemment développée par l'auteur pour répondre à un besoin exprimé par les spécialistes en géomatique de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM). La méthode permet de tenir compte de cette problématique de pente d'écoulement (Dupuis, 2016, réf. 50). La méthode est décrite succinctement à la section suivante. Suit l'affichage des zones inondables pour les conditions de crues de récurrence de 2 ans, de 20 ans et de 100 ans.

On doit mentionner que les figures affichant les zones inondables sont produites à titre informatif car seul un arpenteur-géomètre peut produire, signer et sceller un plan présentant officiellement les zones inondables.

On doit également mentionner que les zones inondables affichées sont établies en traitant les tuiles obtenues d'Environnement Canada dont l'espacement entre les points est de 5 m. Environnement Canada évaluait la précision en élévation à environ  $\pm 15$  cm. Cette imprécision peut s'avérer problématique dans un milieu très plat comme celui rencontré dans la région de Saint-Barthélemy, près des rives du fleuve. La prudence recommande qu'un relevé LIDAR de haute précision, comparable à ceux exigés récemment par la CMM, soit réalisé pour la production de cartes officielles de représentation des zones inondables. La précision recherchée par la CMM était de l'ordre  $\pm 5$  cm en élévation, 95 % du temps.

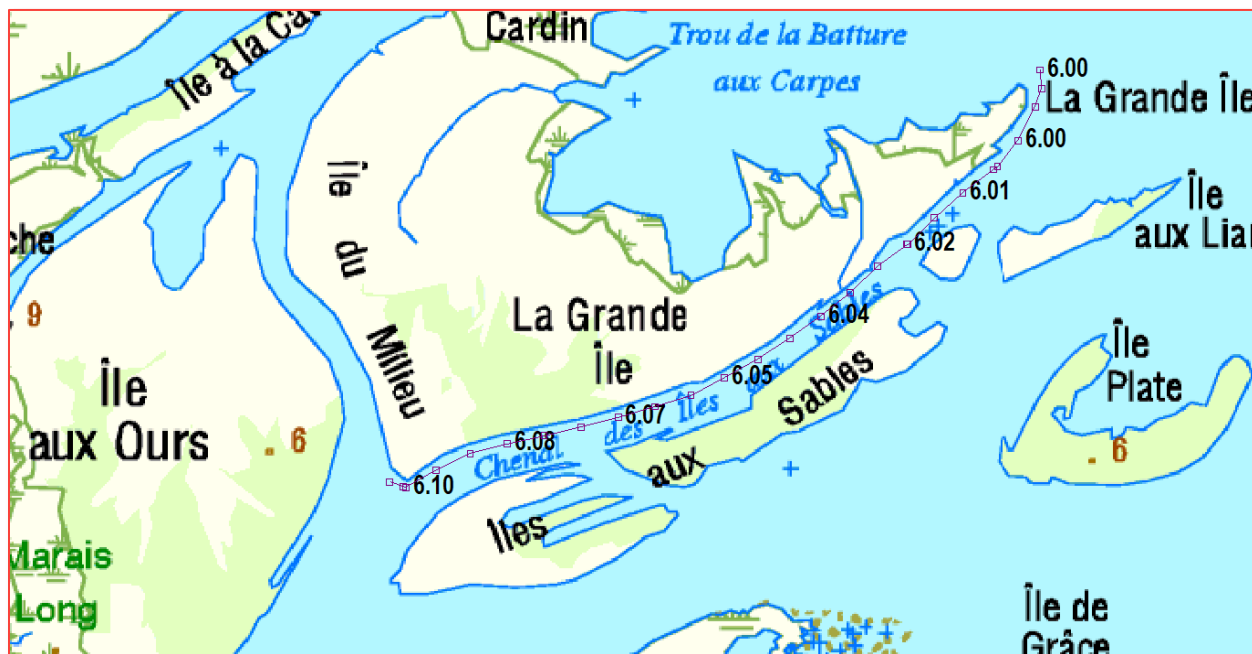
---

## 7.1 MÉTHODE DE PROJECTION DES COTES DE CRUES EN RIVE

Succinctement, pour réaliser cette projection en rive, il faut d'abord procéder de l'aval vers l'amont du domaine. Ceci s'explique par le fait que l'élévation du plan d'eau en rive ira alors en augmentant. Un parcours suivi, pour lequel la cote de la surface a été extraite, est présenté à la Figure 7-1. L'espacement entre les points est de 200 m au maximum. Cet espacement est plus qu'acceptable car la pente de la surface du plan d'eau est faible dans la zone couverte. Les cotes de la surface affichées sur cette figure sont celles correspondant à une crue de récurrence de 2 ans.

On postule que la pente du plan d'eau dans la zone inondée bordant ce parcours est sensiblement la même que celle du segment du cours d'eau adjacent. Cette hypothèse est acceptable si la différence d'élévation entre les deux extrémités d'un segment est ramenée à une valeur acceptable. En pratique cette condition est respectée si la longueur des segments

formant le parcours n'est pas trop grande et que la différence de niveau est faible entre les deux points délimitant le segment. On postule également qu'une zone établie comme étant inondée suite au traitement d'un segment localisé plus en aval n'est pas modifiée par une zone traitée plus en amont. Cette approche permet d'obtenir un plan d'eau incliné pour les régions de rapides et un plan d'eau quasi-horizontale en milieux lacustres.



**Figure 7-1 Parcours imposé pour lequel on extrait la cote de la surface de l'eau**

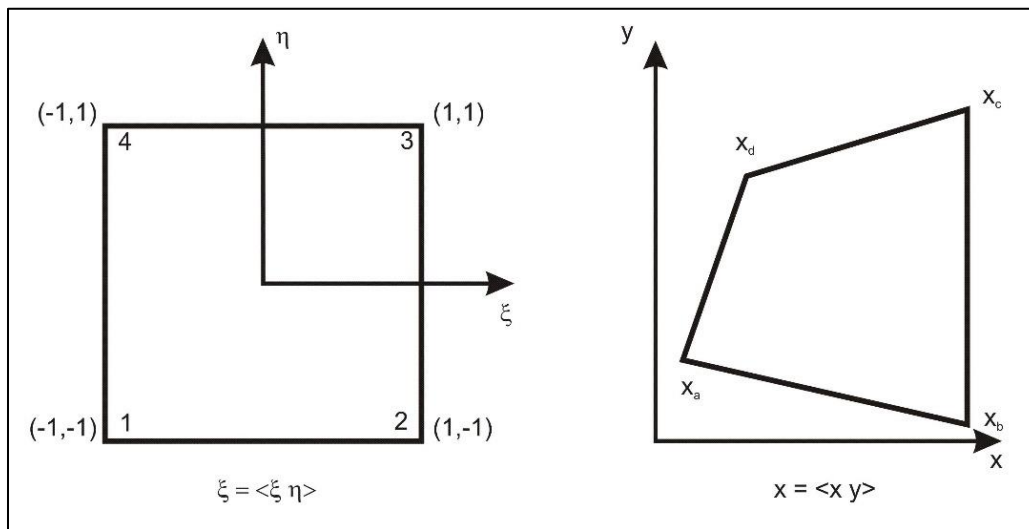
Pour réaliser cette projection on crée un ensemble de quadangles, qui sont en fait des polygones formés de quatre côtés rectilignes.

### 7.1.1 CRÉATION DES ENSEMBLES DE QUADANGLES

Le quadangle est un élément quadrilatéral iso-paramétrique dont les côtés sont formés de segments droits. La relation est biunivoque entre les points intérieurs des deux polygones, tel qu'illustré à la Figure 7-2. Ainsi, le point  $X_a$  est associé au point 1, le point  $X_b$  au point 2, le point  $X_c$  au point 3 et finalement le point  $X_d$  au point 4. Connaissant la position des quatre points de l'élément dans le monde réel ainsi que la valeur de la variable nodale affectée à chacun des nœuds, il est possible de calculer la valeur de la variable d'un point quelconque situé à l'intérieur de l'élément. Les développements mathématiques sont présentés à l'annexe M.

Tel que mentionné, on crée de tels éléments à partir d'un parcours. Ces éléments se projettent en direction de la rive et ils couvrent le domaine sur une certaine profondeur. On réalise cette tâche en utilisant chacun des segments formant un parcours comme base au quadangle. Pour un parcours formé de  $n$  points, il y aura donc  $n-1$  quadangles de créés. Rappelons que le

déplacement le long du parcours doit procéder de l'aval vers l'amont. La profondeur est imposée par l'utilisateur. Le segment du parcours s'avère être le premier côté du quadangle.



**Figure 7-2 Représentation d'un quadangle dans le système de référence unitaire et dans le monde réel**

### Projection vers la droite

Prenons la représentation de la Figure 7-2 comme référence. Posons que le long du parcours, on procède de  $X_b$  vers  $X_a$  et que la projection doit être réalisée vers la droite. Le segment  $X_b$ - $X_a$  forme le premier côté du quadangle. On doit ensuite créer les côtés  $X_b$ - $X_c$  et  $X_a$ - $X_d$ . La longueur de ces côtés est fixée. Il reste à établir l'orientation de chaque segment. À priori, cette orientation est définie comme l'azimut d'une perpendiculaire à la tangente à la courbe formée par le parcours. On calcule d'abord la tangente à une courbe du second degré formée de trois points consécutifs du parcours. La tangente au point central est calculée puis on ajoute ou soustrait  $90^\circ$  selon qu'on projette vers la gauche ou la droite. L'orientation et la longueur étant connue, on peut calculer les coordonnées des points  $X_d$  et  $X_c$  dans le monde réel. La définition du quatrième segment s'avère une formalité, les points  $X_d$  et  $X_c$  étant désormais connus. Maintenant, le sens de parcours du quadangle est important. On vise à respecter la convention de parcours antihoraire. Ainsi, la séquence des points formant le quadangle est donnée par  $X_a \rightarrow X_b \rightarrow X_c \rightarrow X_d$ . L'exercice est répété pour chaque segment formant le parcours. Les valeurs de cote de la surface aux deux autres points sont imposées comme suit :

$X_a = X_d$ . et  $X_b = X_c$ , ce qui crée un plan gauche incliné.

Le résultat de cet exercice est présenté à la Figure 7-3 pour le parcours.

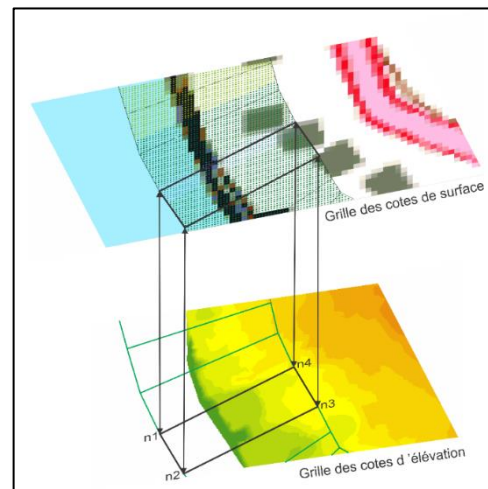
Connaissant les valeurs de la surface aux quatre points sommets du quadangle il est alors possible de calculer la valeur de la cote de la surface de l'eau en tout point situé à l'intérieur du quadangle en utilisant les formules présentées à l'annexe M.



**Figure 7-3 Un ensemble de quadangles créés pour réaliser la projection en rive**

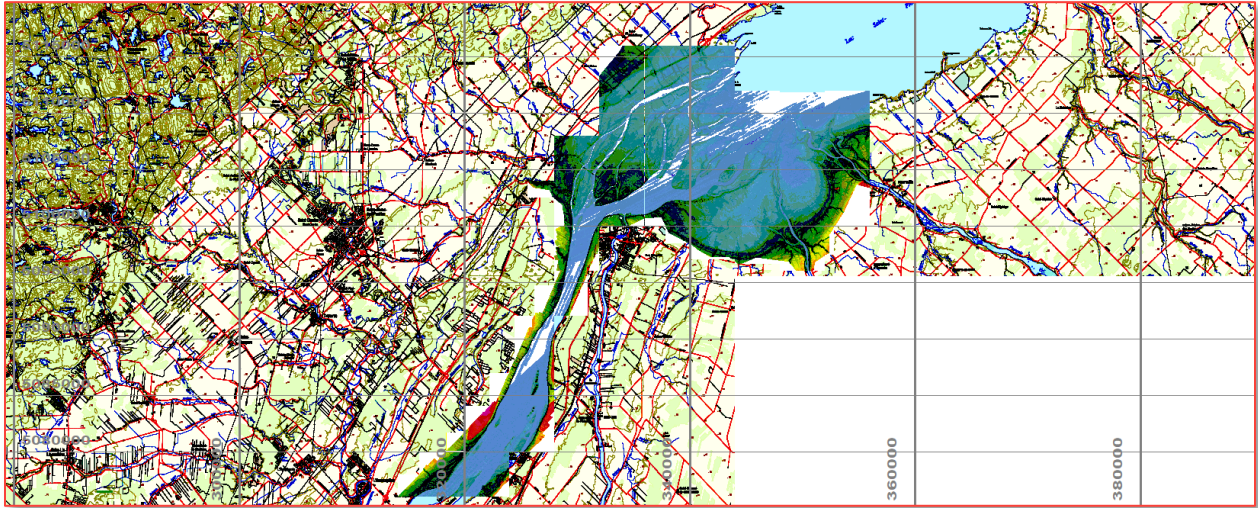
### 7.1.2 CALCUL DE LA LAME D'EAU OU PROFONDEUR D'EAU

Maintenant on peut établir quelle est la lame d'eau en tout point de la grille d'élévation qui est situé à l'intérieur d'un quadangle. Il suffit de calculer la valeur de la cote de la surface de l'eau à ce point pour ensuite en soustraire la valeur de l'élévation du terrain. Une valeur positive indique que ce point peut être potentiellement mouillé s'il existe un lien hydrique avec le cours d'eau. Une valeur négative indique que le niveau du sol est plus élevé que le plan d'eau et donc qu'il est sec. La projection de la surface du plan vers les rives permet de soustraire l'élévation du terrain. Pour chaque point du domaine dont l'élévation est connue on soustrait l'élévation du terrain de la cote de la surface de l'eau établie à ce même point. La difficulté ici réside dans le fait qu'on doit interpoler la valeur de la cote de la surface en ce point précis. Suite à cette soustraction on obtient la profondeur d'eau potentielle à ce point. Si la valeur est positive, alors il y a présence d'eau, si elle est négative le point est considéré exondé.



**Figure 7-4 Calcul de la profondeur d'eau avec les grilles de surface et d'élévation**

Pour cette étude, quarante-deux tuiles, chacune couvrant 2 x 2 km<sup>2</sup> ont été obtenues d'Environnement Canada. La zone couverte est visible sur la Figure 7-5. On comprend que les résultats sont restreints aux régions couvertes par les tuiles ainsi que par les quadangles.



**Figure 7-5** Zone couverte par les tuiles d'élévations du sol obtenues d'Environnement Canada, cotes du domaine terrestre affichées

Un point important à souligner est que le relevé Lidar ayant servi à produire ces tuiles produit des cotes d'élévations de la surface de l'eau qui sont imprécises. Les cotes du domaine qui sont dans les chenaux et cours d'eau ne doivent pas être considérées lors de l'analyse des résultats.

Les zones inondées pour les crues de récurrences de 2, 20 et 100 ans, obtenues en procédant selon cette méthode, sont présentées aux sections qui suivent. On y affiche la profondeur d'une lame d'eau pouvant varier entre 0 et 2,5 m d'épaisseur.

Deux figures sont présentées par récurrence, la première en transparence, qui permet de mieux situer les zones inondées. La seconde, en absence de transparence, permet de mieux identifier les zones de faibles et fortes profondeurs d'eau à partir de la palette des couleurs affichée en légende.

Rappelons que les points affichés qui sont dans les chenaux d'écoulement ne doivent pas être considérés, car les relevés par Lidar ne donnent pas de résultats concluants lorsqu'ils sont réalisés au-dessus de la surface occupée par l'eau.

## 7.2 ZONES INONDÉES LORS D'UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 2 ANS

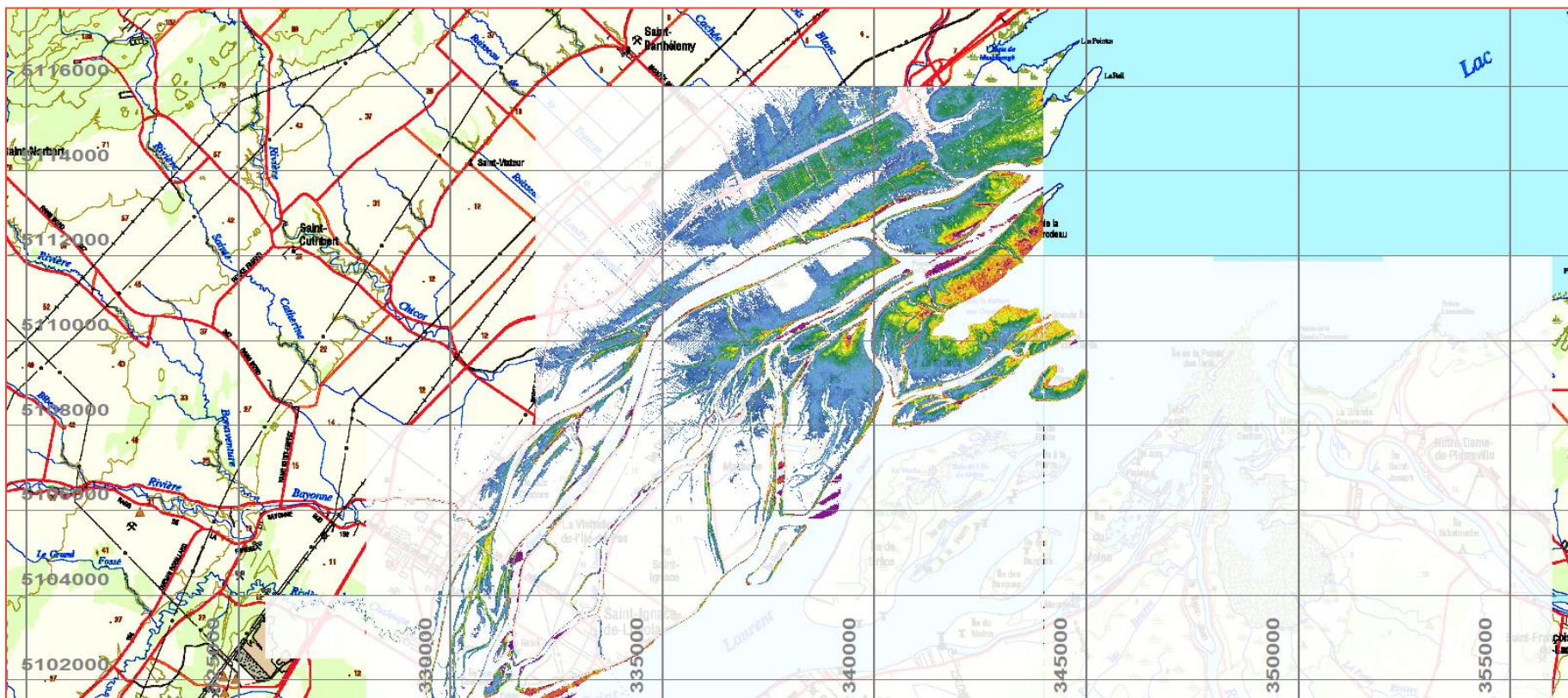
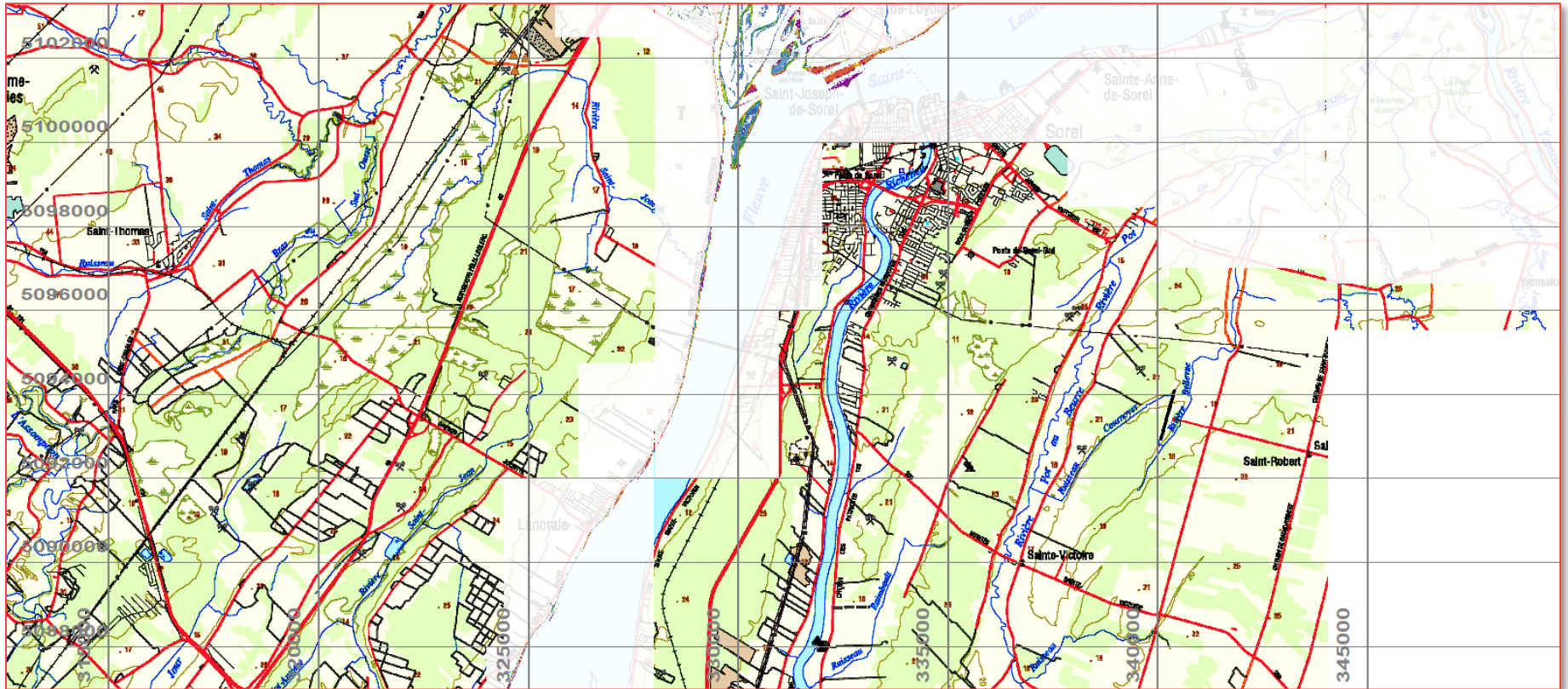


Figure 7-6 Zones inondées pour une crue de récurrence de 2 ans, région nord en transparence (à titre informatif)





**Figure 7-7** Zones inondées pour une crue de récurrence de 2 ans, région centrale en transparence (à titre informatif)



Figure 7-8 Zones inondées pour une crue de récurrence de 2 ans, région sud en transparence (à titre informatif)

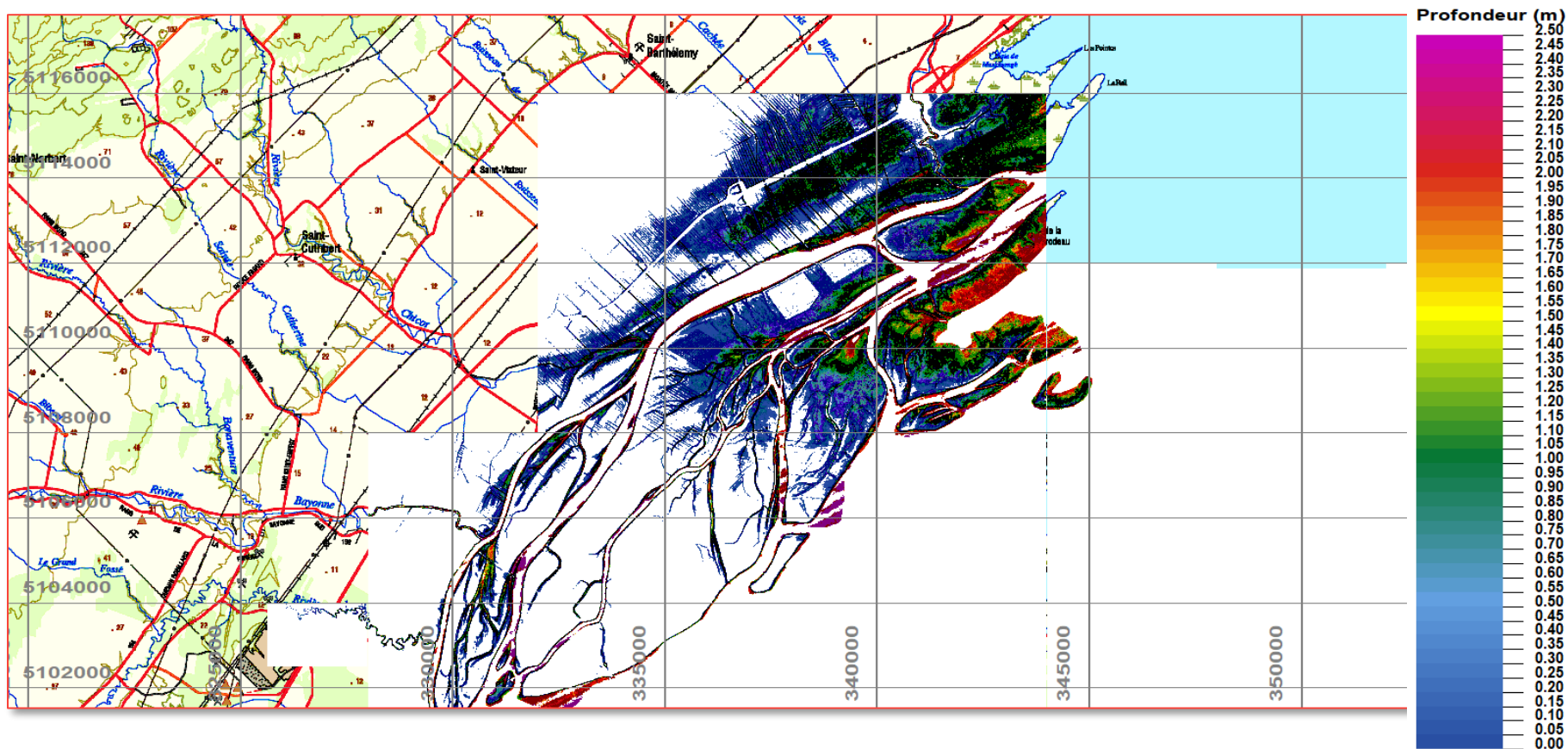


Figure 7-9 Zones inondées pour une crue de récurrence de 2 ans, région nord (à titre informatif)

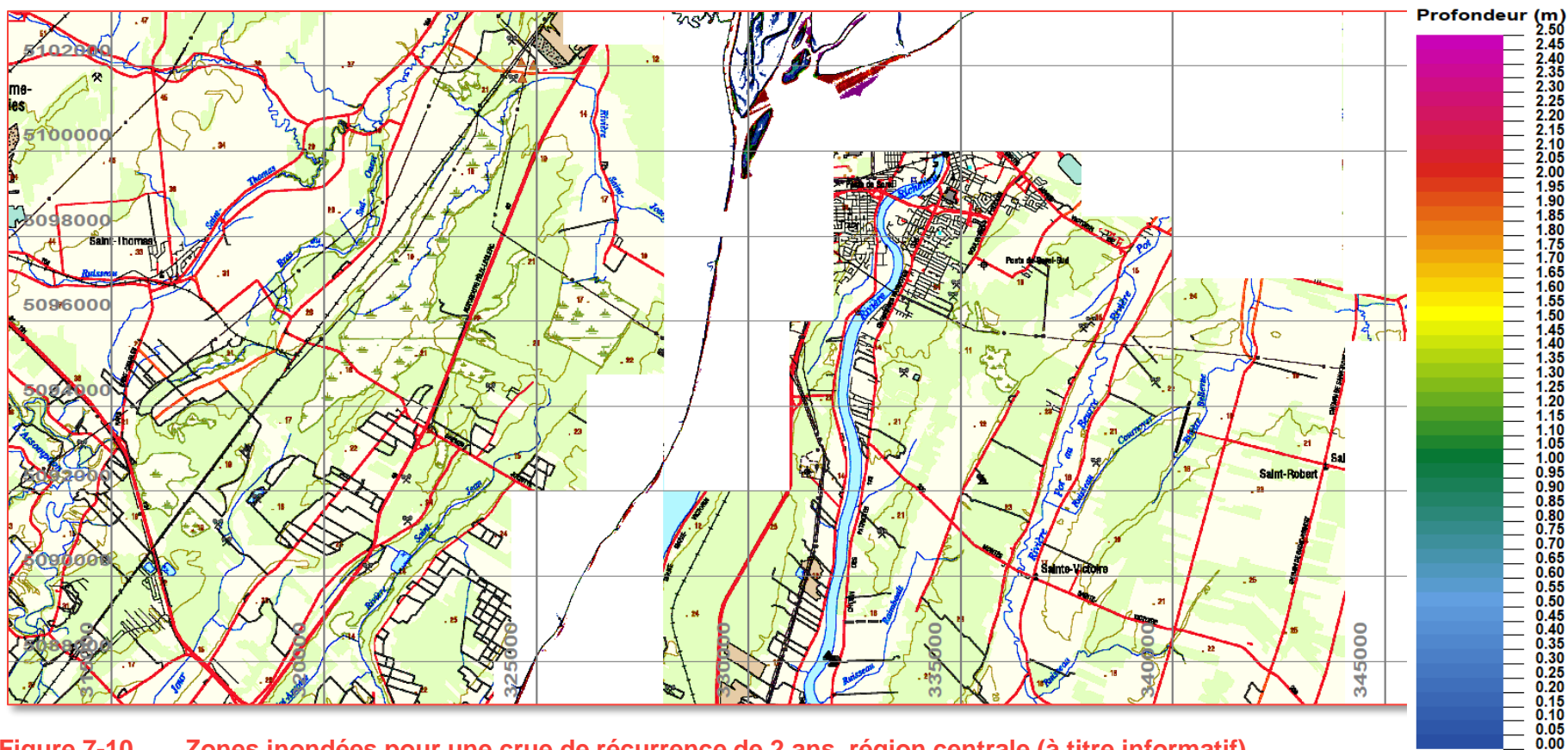


Figure 7-10 Zones inondées pour une crue de récurrence de 2 ans, région centrale (à titre informatif)

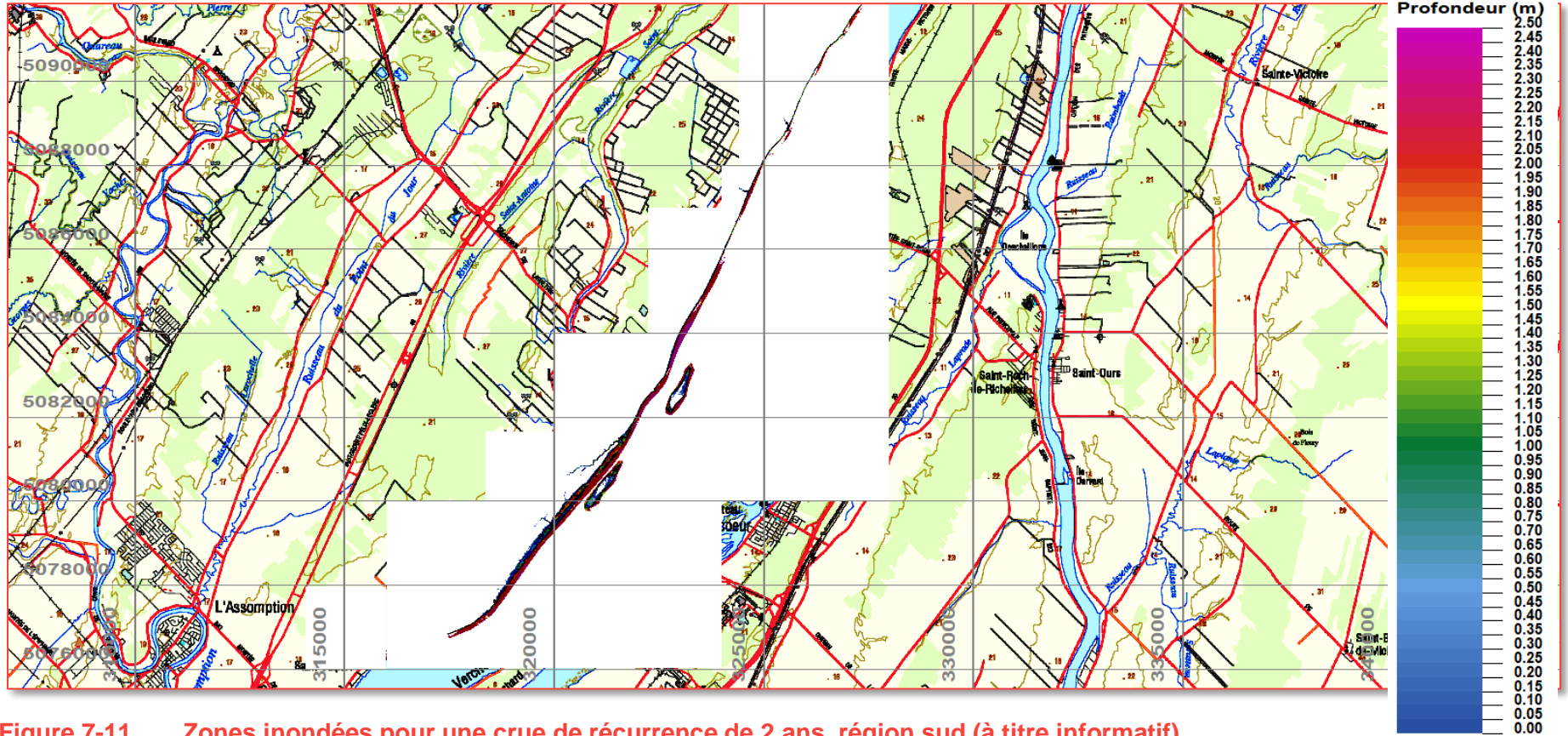


Figure 7-11 Zones inondées pour une crue de récurrence de 2 ans, région sud (à titre informatif)

## 7.3 ZONES INONDÉES LORS D'UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 20 ANS

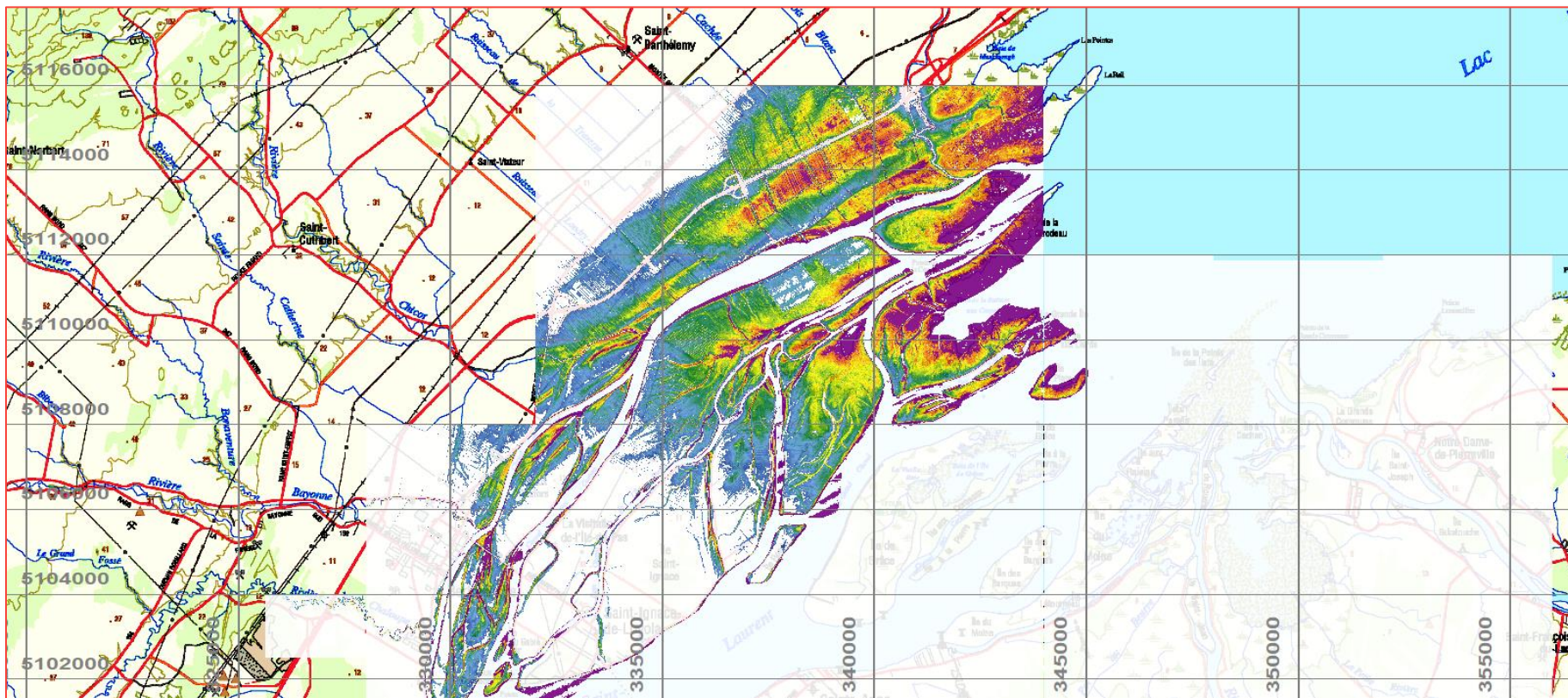


Figure 7-12 Zones inondées pour une crue de récurrence de 20 ans, région nord en transparence (à titre informatif)

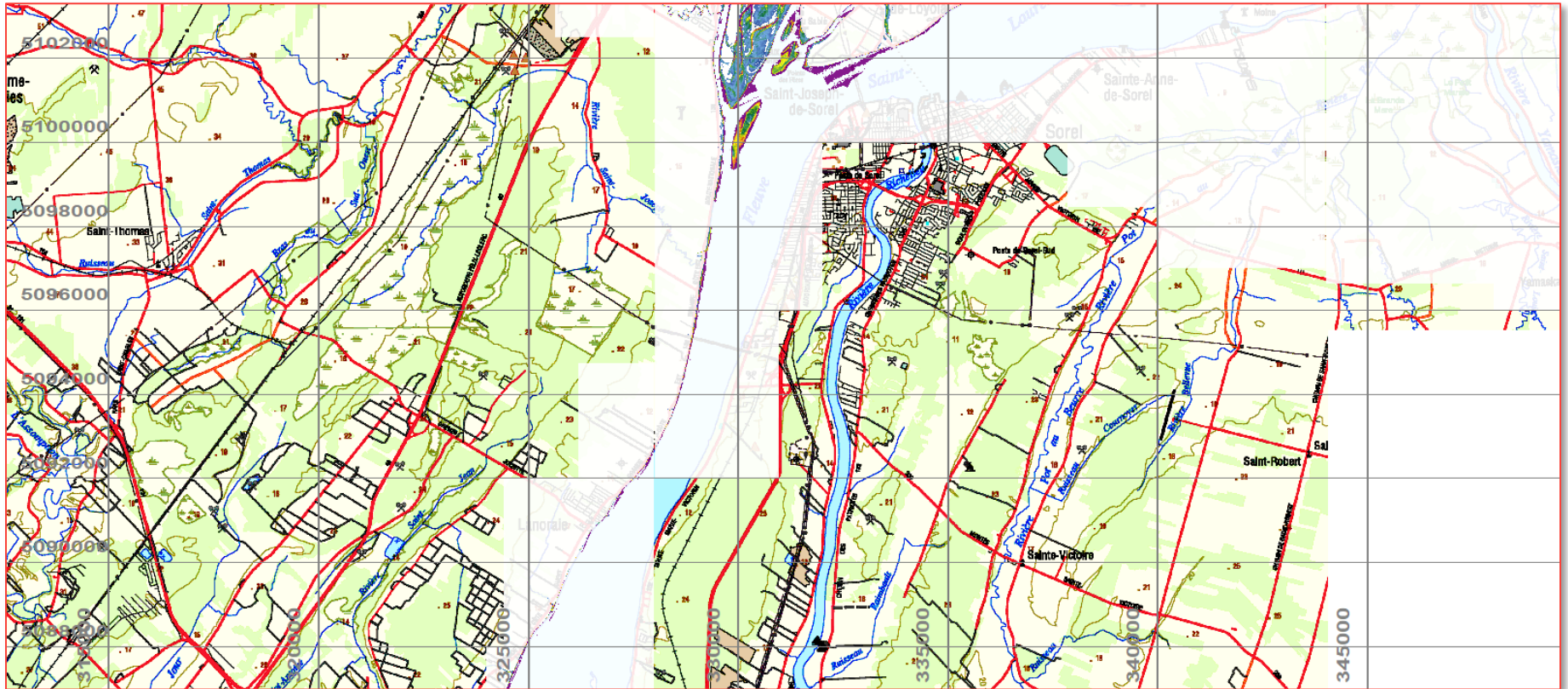


Figure 7-13 Zones inondées pour une crue de récurrence de 20 ans, région centrale en transparence (à titre informatif)

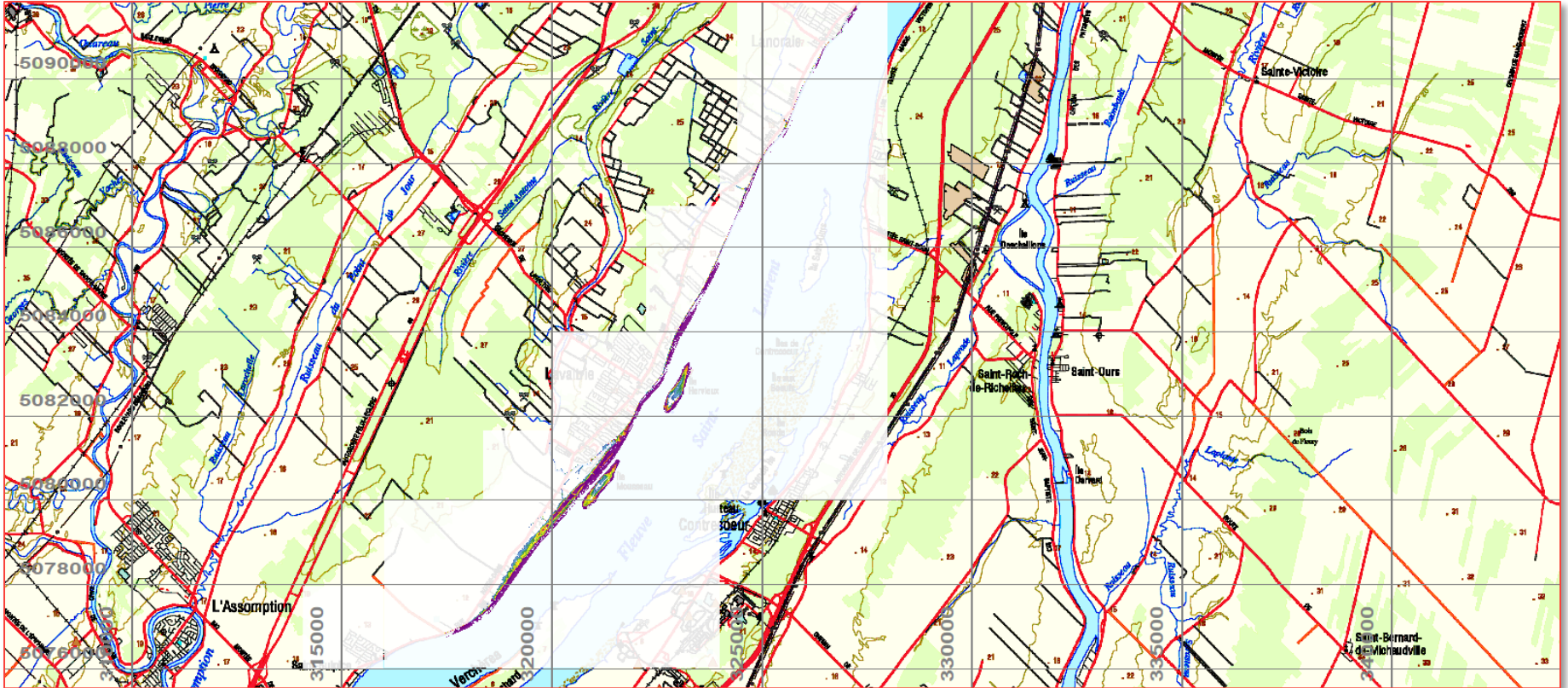


Figure 7-14 Zones inondées pour une crue de récurrence de 20 ans, région sud en transparence (à titre informatif)



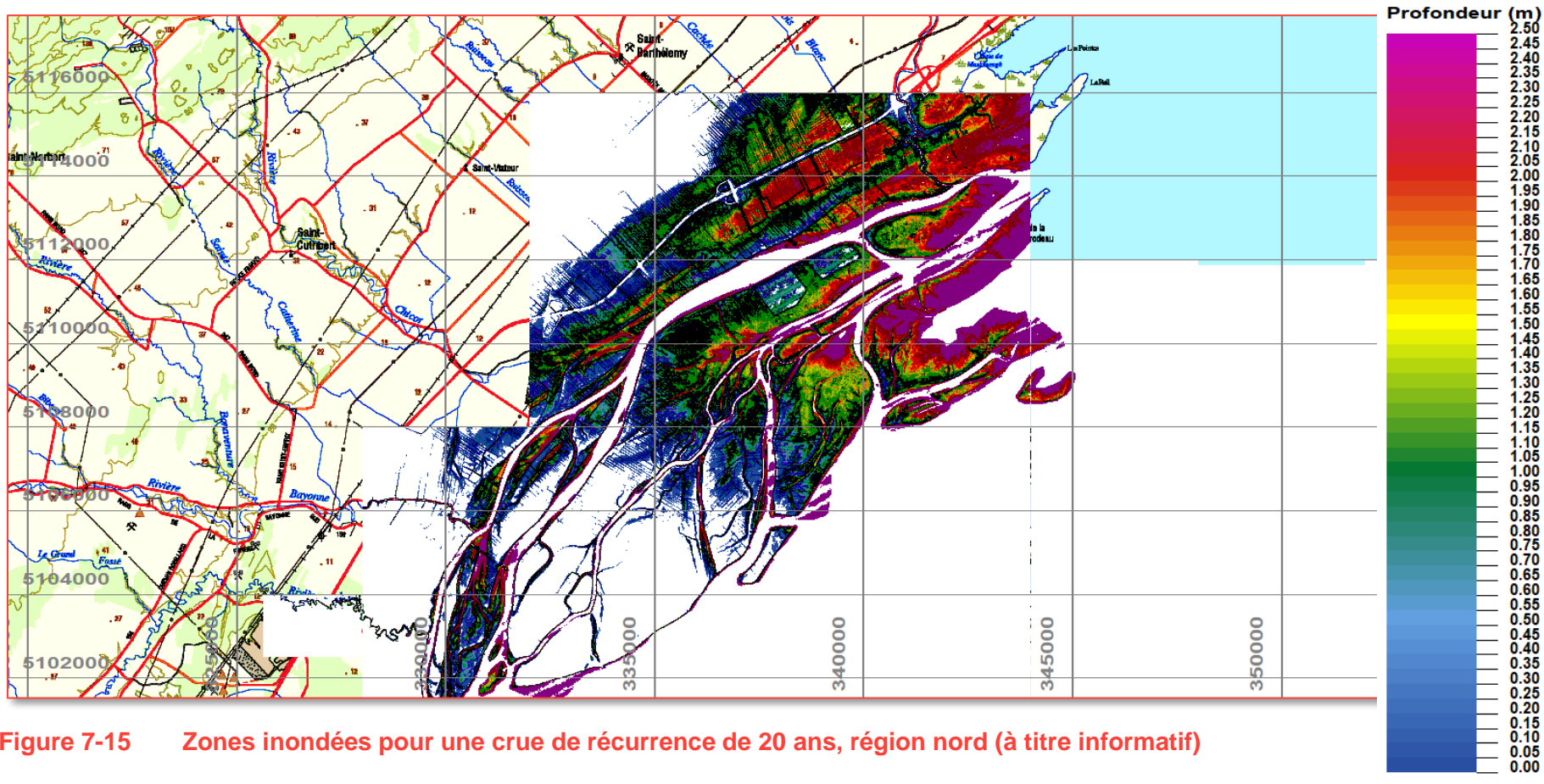


Figure 7-15 Zones inondées pour une crue de récurrence de 20 ans, région nord (à titre informatif)

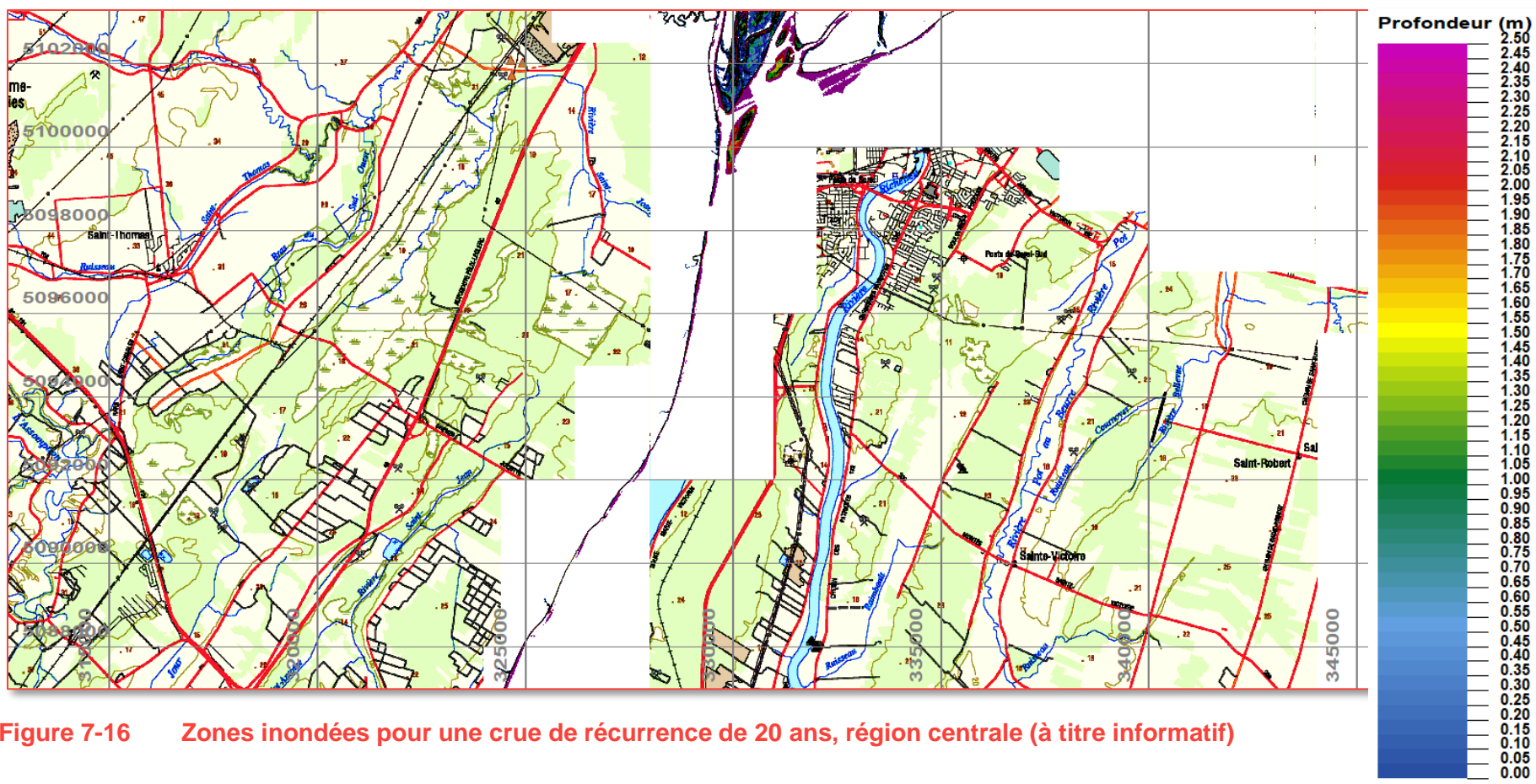


Figure 7-16 Zones inondées pour une crue de récurrence de 20 ans, région centrale (à titre informatif)

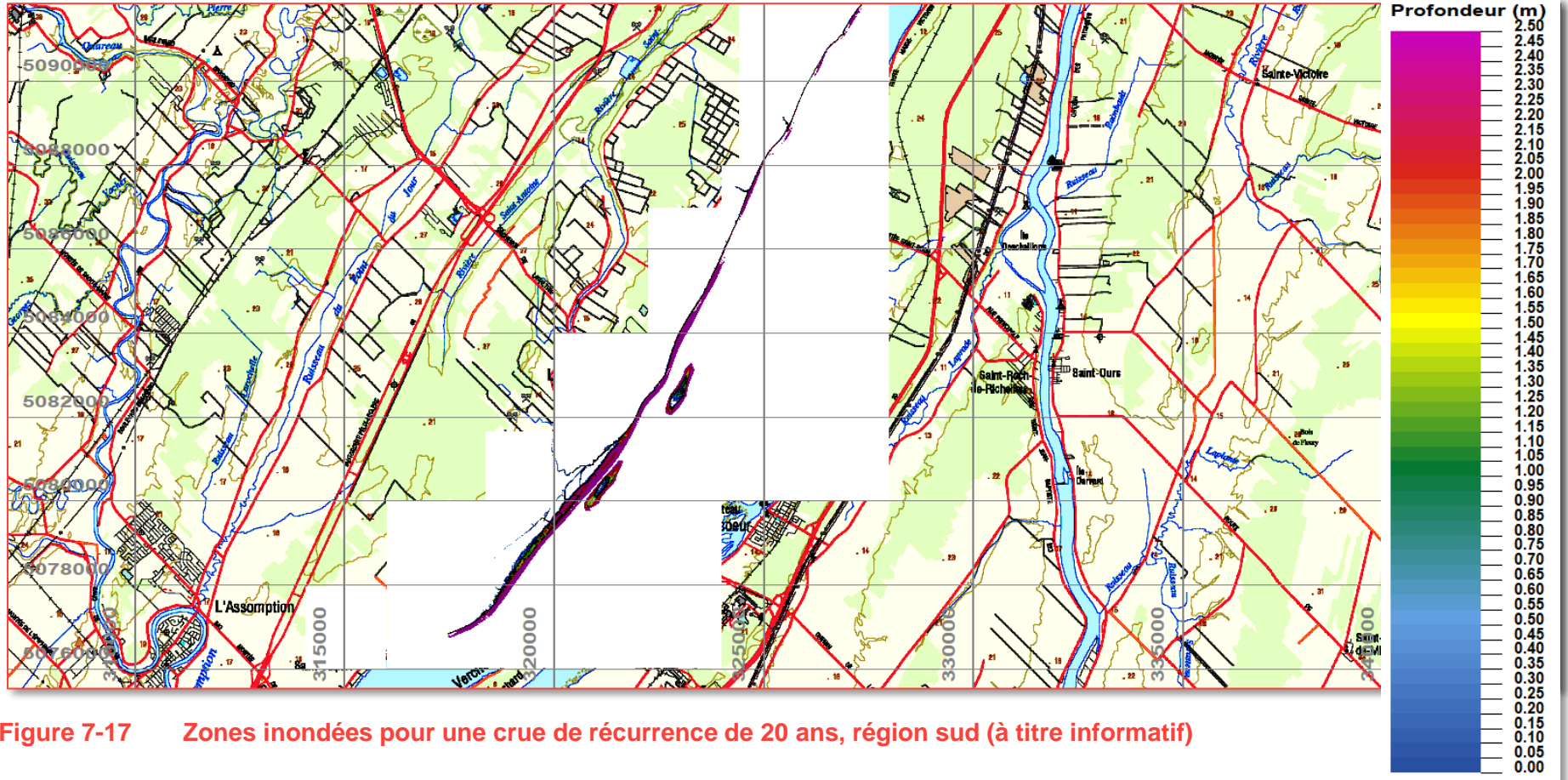


Figure 7-17 Zones inondées pour une crue de récurrence de 20 ans, région sud (à titre informatif)

## 7.4 ZONES INONDÉES LORS D'UNE CRUE DE RÉCURRENCE DE 100 ANS

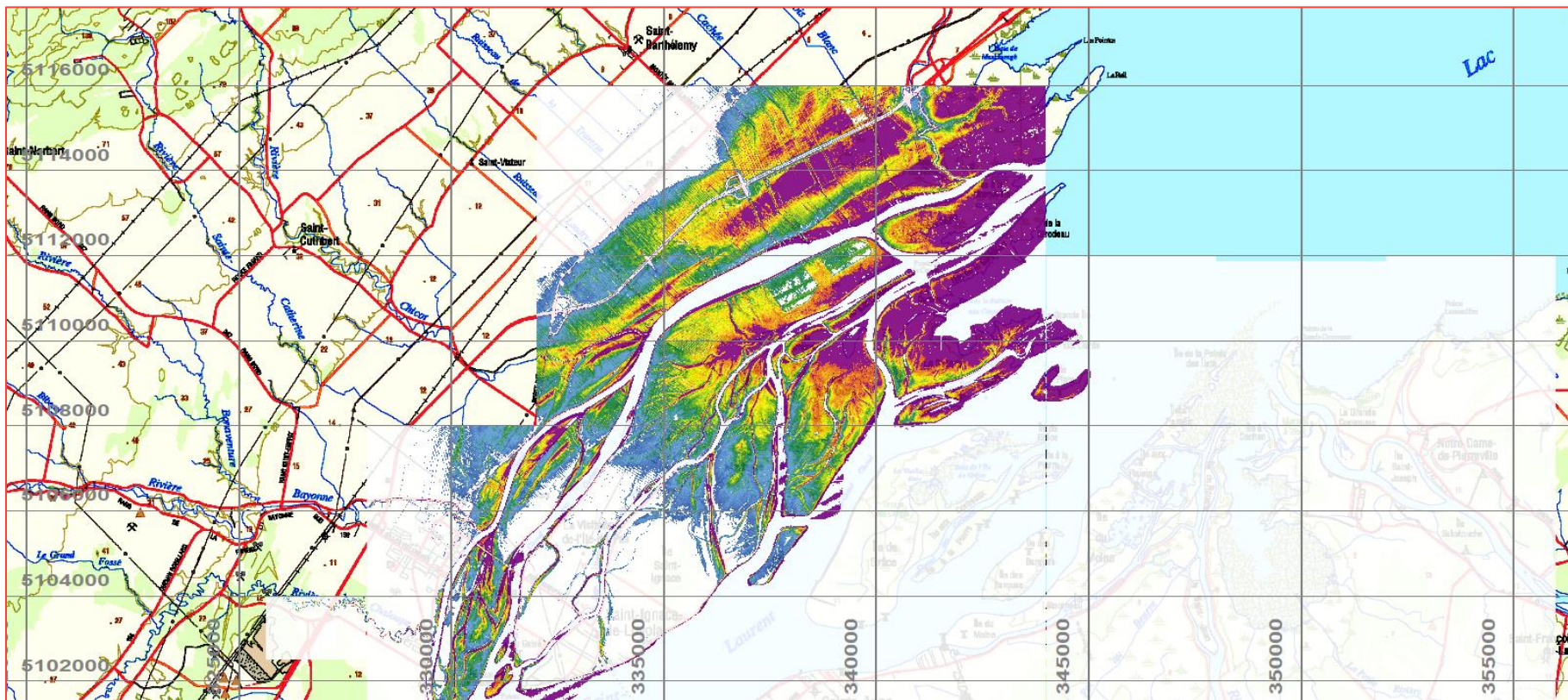
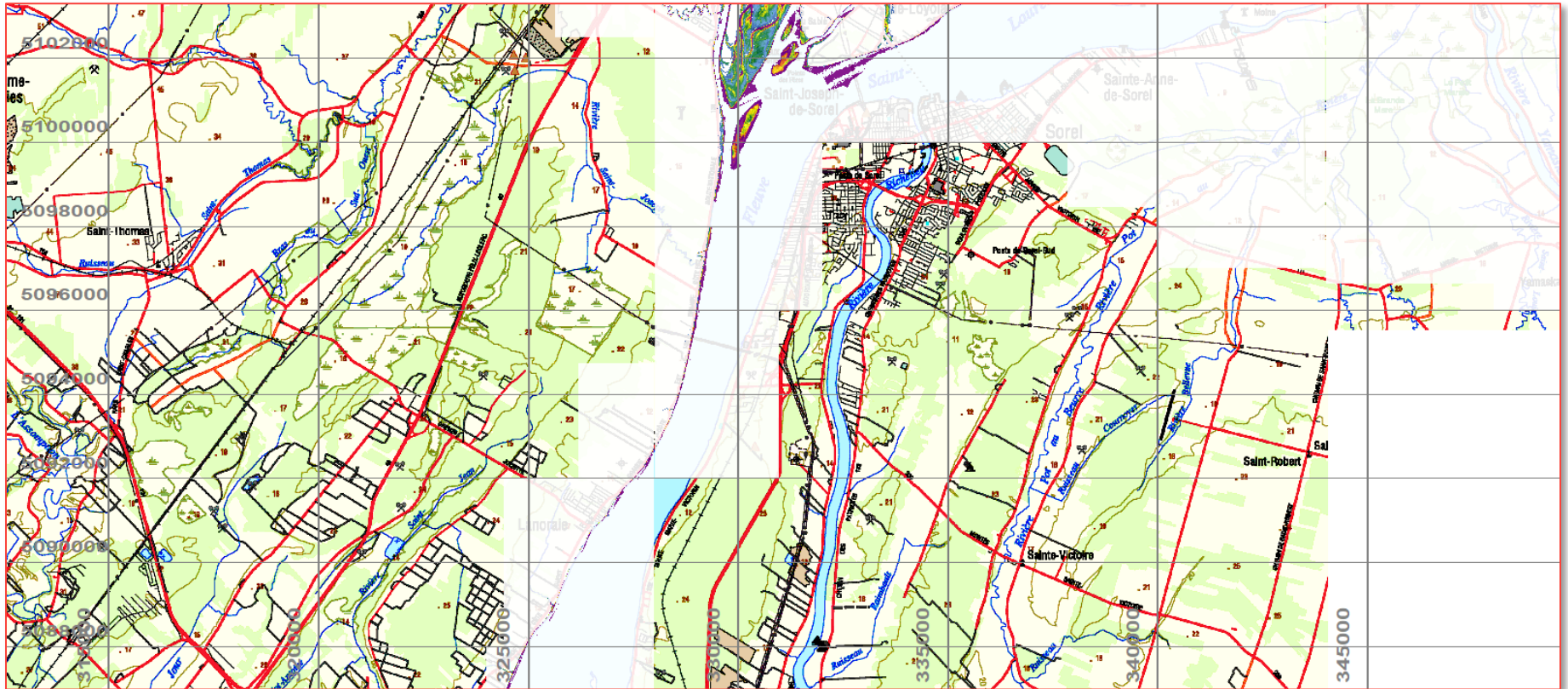


Figure 7-18 Zones inondées pour une crue de récurrence de 100 ans, région nord en transparence (à titre informatif)



**Figure 7-19** Zones inondées pour une crue de récurrence de 100 ans, région centrale en transparence (à titre informatif)



Figure 7-20 Zones inondées pour une crue de récurrence de 100 ans, région sud en transparence (à titre informatif)

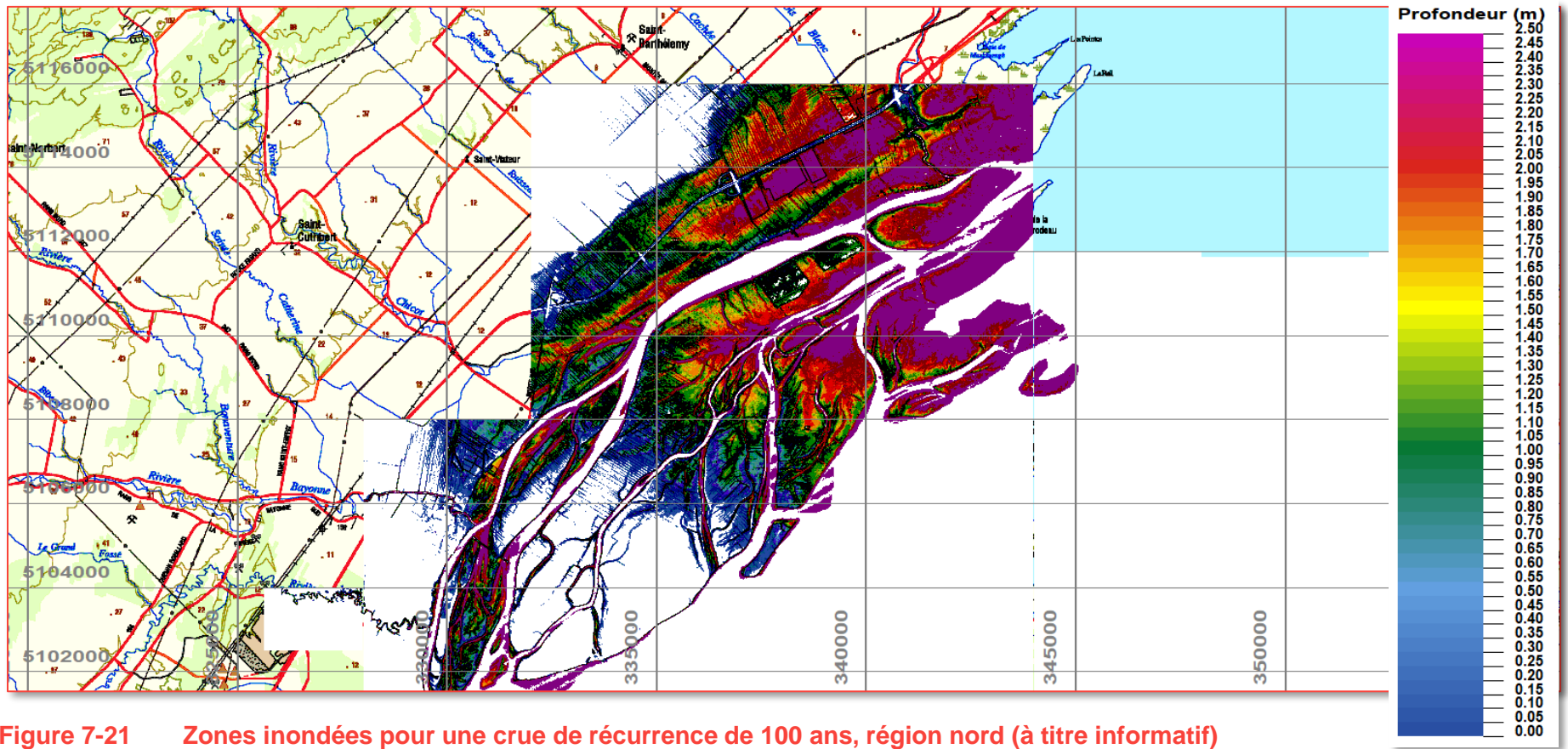


Figure 7-21 Zones inondées pour une crue de récurrence de 100 ans, région nord (à titre informatif)

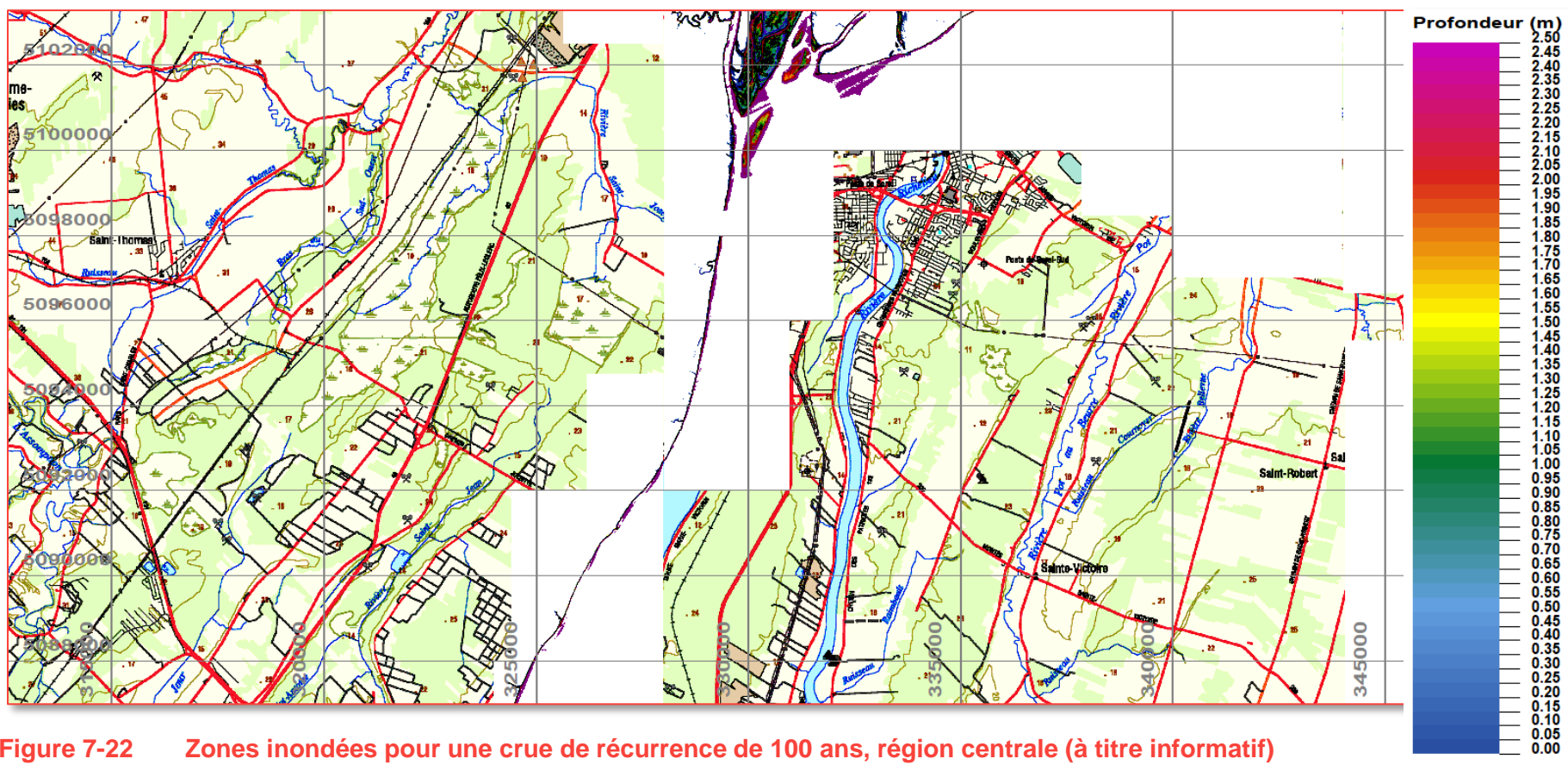


Figure 7-22 Zones inondées pour une crue de récurrence de 100 ans, région centrale (à titre informatif)



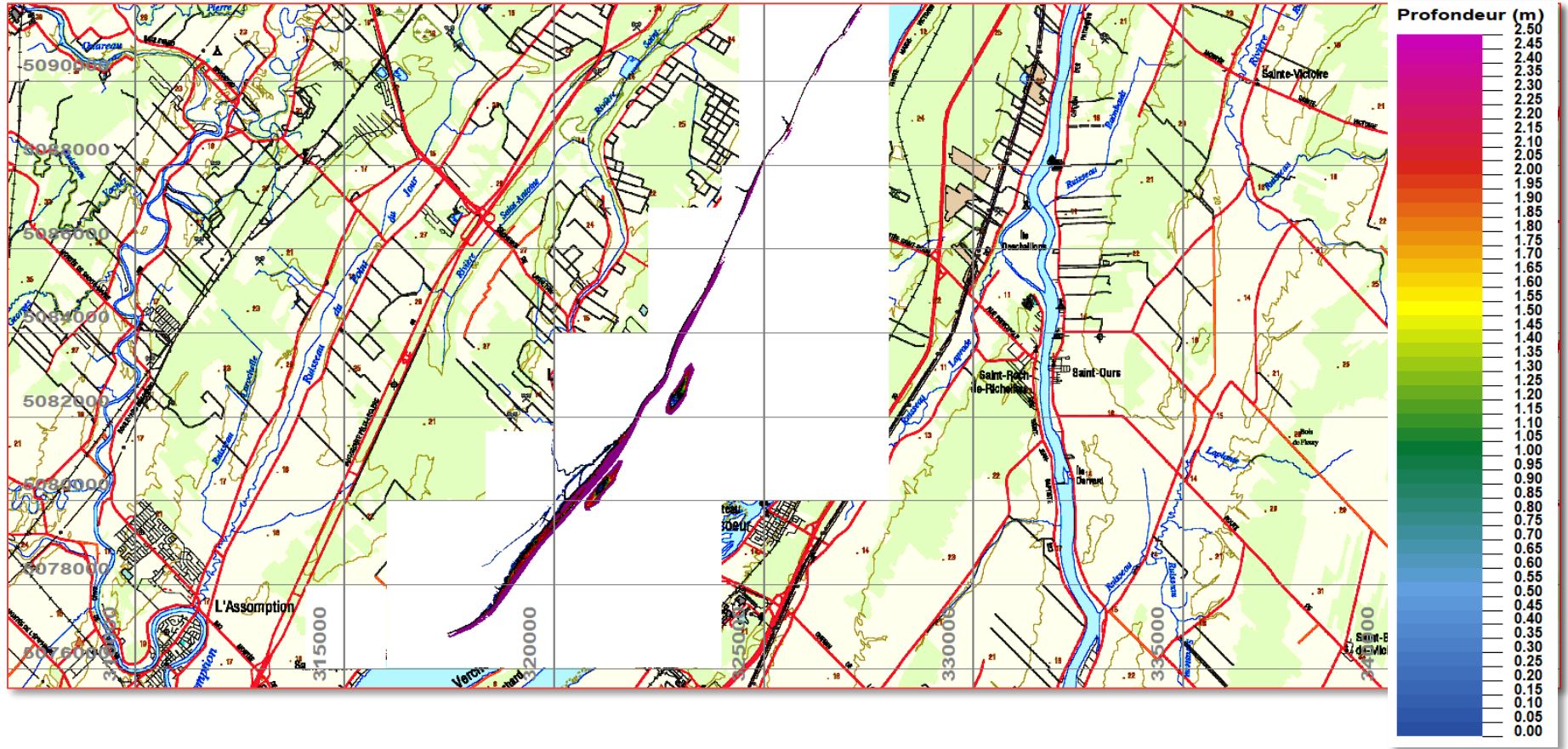


Figure 7-23 Zones inondées pour une crue de récurrence de 100 ans, région sud (à titre informatif)



## 8 DISCUSSION

### 8.1 DISCUSSION SUR LES DIFFÉRENTES COTES OBTENUES AU LAC SAINT-PIERRE

On soumet que la cote pour la ligne naturelle des hautes eaux au lac Saint-Pierre est environ 5 cm plus basse que celle établie à Saint-Barthélemy. Comme cette dernière est établie à 5,0 m IGLD85, celle au lac Saint-Pierre serait à la cote 4,95 (au droit de la courbe #2). La cote pour la ligne des hautes eaux est plus basse que celle pour la ligne naturelle des hautes eaux. Finalement, il y a environ un mètre de différence entre la cote de la LHNE et celle de la crue de récurrence de 2 ans.

**Tableau 8-1 Cotes établies à Varennes et pour le lac Saint-Pierre à la courbe #2**

	LHE	LNHE	2 ANS	20 ANS	100 ANS
Varennes	5,9	indéterminée	7,27	8,13	8,47
Lac Saint-Pierre	4,58	4,95	5,95	6,94	7,42

Note relative à l'équivalence entre la cote de crue de récurrence de 2 ans et la cote de la ligne naturelle des hautes eaux

L'élévation de la ligne naturelle des hautes eaux (au sens de la politique de protection des rives) a été établie à 4,95 m au lac Saint-Pierre, à la courbe #2. Le niveau de récurrence de 2 ans, établi par analyse statistique des extrêmes annuels est à la cote 5,95 m. Il y a donc une différence de 1,0 m entre la cote de la ligne naturelle des hautes eaux établie par la méthode botanique et la cote pour une crue de récurrence de 2 ans.

Il n'y a donc pas d'équivalence entre ces deux valeurs, contrairement à ce qui est indiqué dans le guide d'interprétation produit par le Gouvernement du Québec.

## 8.2 DISCUSSION SUR LA VALIDITÉ DES COTES PUBLIÉES EN 1990

Les cotes publiées en 1990 ont servi à la production des cartes d'inondation de 2013 (se référer au chapitre 2). Dans le rapport produit par le Ministère de l'Environnement en 1990, les stations retenues pour réaliser des analyses statistiques sur les niveaux d'eau extrêmes le long du tronçon Varennes-Grondines sont présentées au tableau 1 de ce rapport. Ce tableau est reproduit ci-dessous.

**Tableau 8-2 Stations et périodes retenues pour analyse par le Ministère de l'Environnement en 1990**

NOM DE LA STATION	NUMERO PROVINCIAL	LATITUDE NORD	LONGITUDE OUEST	PERIODE UTILISEE	CONSTANTE IGLD - GEOD
1 Varennes	000111	45o 41,08'	73o 26,64'	1930 - 1981	+ ,105 m
2 Repentigny	000112	45o 44,53'	73o 26,20'		+ ,068 m (1)
3 Verchères	000113	45o 46,74'	73o 21,45'	1959 - 1981	+ ,080 m
4 Contrecoeur	000114	45o 51,49'	73o 14,42'		+ ,108 m (1)
5 Lavaltrie	000115	45o 53,00'	73o 16,42'		+ ,060 m (1)
6 Lanoraie	000116	45o 57,56'	73o 12,90'	1930 - 1975	+ ,057 m
7 Sorel	000117	46o 02,82'	73o 06,96'	1930 - 1981	+ ,110 m
8 Louiseville	000119	46o 13,29'	72o 55,51'		0 m (1)
Lac St-Pierre	000119	46o 11,67'	72o 53,77'		0 m (1)
9 Port St-François	000118	46o 16,35'	72o 37,16'	1962 - 1975	+ ,077 m
10 Trois-Rivières	000126	46o 20,10'	72o 32,64'	1930 - 1981	+ ,050 m
11 Champlain	000124	46o 26,42'	72o 24,42'	1963 - 1986	+ ,043 m
12 Batiscan	000127	46o 30,04'	72o 14,82'	1961 - 1986	+ ,029 m
13 Cap-à-la-Roche	000128	46o 33,77'	72o 06,38'	1960 - 1986	+ ,052 m
14 Grondines	000129	46o 35,11'	72o 02,34'	1962 - 1982	+ ,040 m

(1) Ces stations ont été utilisées à titre de référence afin de vérifier l'allure des pentes calculées entre les différents points.

Source : Rapport MH-90-05 du Ministère de l'environnement

Dans ce tableau, on observe que les périodes de données se terminent au plus tard en 1986. En 2013, on disposait de près d'une trentaine d'années de données supplémentaires qui auraient permis d'actualiser les calculs statistiques. Or, ce sont les données de 1990 qui ont été retenues pour produire les cartes.

### Cotes à Varennes

Les cotes calculées pour Varennes sont présentées au tableau suivant, tiré du rapport MH-90-05 actualisé, qui a été téléchargé du site web du CEHQ.

**Tableau 8-3 Cotes retenues par le Gouvernement du Québec à Varennes**

FLEUVE SAINT-LAURENT - COTES DE CRUES DE RÉCURRENCE DE 2 ANS, DE 20 ANS ET DE 100 ANS VARENNES - GRONDINES					
Source: LAPOINTE, Denis (1990) Zones inondables - Fleuve Saint-Laurent, Calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans, Tronçon : Varennes-Grondines, MH-90-05, Ministère de l'Environnement, Direction du Domaine hydrique					
	Localisation	Distance cumulée (km)	Récurrence		
			2 ans (m)	20 ans (m)	100 ans (m)
	Varennes	0	8.14	9.08	9.42
		1	8.11	9.05	9.39

Source : Rapport MH-90-05 actualisé obtenu du site web du CEHQ

Ces valeurs sont à comparer avec celles établies par Favre *et al*<sup>8</sup> lors de la révision des cotes de crues de Laval.

**Tableau 8-4 Cotes établies par Favre et al à Varennes**

TABLE 7.7 – Quantiles des niveaux maxima [m] du fleuve Saint-Laurent à Varennes (02OA050) associés à trois périodes de retour, issus du modèle de mélange de deux distribution gamma avec persistance Markovienne.

Temps de retour	Quantile
2 ans	7.28
20 ans	8.46
100 ans	8.92

Rapport final 30 mai 2010

Source : Favre et al, 2010. Université Laval.

On constate que la révision produite par Favre et al (2010) des cotes de crues abaisse les cotes de crues de 0,86 m pour la récurrence de 2 ans, de 0,62 m pour la récurrence de 20 ans et de 0,5 m pour la récurrence de 100 ans. Rappelons que ces cotes ont été publiées et ensuite retenues par Dupuis et Leclerc dans leur étude portant sur la révision des cotes de crues de Laval qui a été déposée en décembre 2014<sup>9</sup>. Les résultats et conclusions de cette étude ont été acceptés par le ministère des Affaires Municipales et de l'occupation du Territoire en 2015. Les MRC de Deux-Montagnes, de Thérèse-de-Blainville, Les Moulins et L'Assomption ont ainsi pu corriger les cotes de crues le long des rives de la rivière des Mille Îles. Ces valeurs ont été établies avec une série de débits reconstitués qui ne tiennent toutefois pas compte de la gestion

8 Favre et al, 2010. « *Analyse statistique et expertise hydrologique liées aux écoulements autour de l'Archipel de Montréal* ». Version finale : 30 mai 2010. Université Laval. Département de mathématiques et statistique.

9 Dupuis et Leclerc, WSP 2014. « *Révision des cotes de crues, Ville de Laval.* » Rapport 141-16788-00 de WSP Canada Inc. à Ville de Laval. 108 pp. + 1 volume d'annexes.

du système hydrique. C'est ce qui explique que les valeurs soient supérieures à celles publiées dans le présent rapport.

En effet, l'analyse réalisée pour le présent rapport s'appuie sur la série des niveaux d'eau mesurés à Varennes depuis 1980, la même période que celle retenue pour l'analyse des niveaux du lac Saint-Pierre. Cette série tient compte de la gestion du système, qui est une réalité qu'on ne peut occulter et l'analyse sur cette série permet de réviser encore plus à la baisse les cotes du fleuve Saint-Laurent à Varennes (Tableau 8-5). Ces cotes sont représentatives des conditions vécues depuis les 36 dernières années.

**Tableau 8-5 Cotes établies à la station de Varennes dans le cadre de la présente étude**

	LHE	LNHE	2 ANS	20 ANS	100 ANS
Varennes	5,9	indéterminée	7,27	8,13	8,47

La différence significative entre les cotes actuellement utilisées par le Gouvernement du Québec pour établir les zones inondables dans le tronçon Varennes – Lac Saint-Pierre et celles obtenues suite à une analyse scientifique rigoureuse des niveaux d'eau représentatifs des conditions présentes fait en sorte qu'on doit considérer les cotes retenues par le gouvernement comme inexactes car trop élevées. Toute carte établie en s'appuyant sur ces cotes ou tout rapport rédigé en considérant ces cotes comme valides doivent être considérés comme inexacts et donc caduques.

### 8.3 DISCUSSION SUR LA PRÉCISION DES RELEVÉS LIDAR

L'acronyme **LIDAR** est constitué des premières lettres de « **L**ight **D**etection and **R**anging » ou « **L**ight **I**maging, **D**etection and **R**anging ». Il s'agit d'une technique permettant de mesurer une distance avec précision avec l'aide de rayons laser. Pour obtenir des relevés topographiques, l'instrument est installé dans un avion muni d'une plate-forme inertielle afin de pouvoir établir correctement la position de ce dernier par rapport au sol. La connaissance précise de la position de l'avion, l'angle du laser et la distance établie entre l'avion et le sol permet d'obtenir l'élévation du sol suite à de savants calculs. La qualité du signal, et donc du résultat, dépend de la nature du sol, de l'appareillage utilisé, des conditions météorologiques prévalant durant le vol et du type de couverture au sol. Idéalement, les relevés sont effectués au printemps avant l'éclosion des feuilles ou à l'automne lorsque les arbres ont perdu leurs feuilles pour augmenter la densité de points réfléchis par le sol et non par la végétation.

La précision des relevés réalisés au début des années 2000' devrait être de l'ordre de 30 cm suite au traitement des données brutes. En effet, dans un rapport d'expertise produit tout récemment en août 2015 par Jean-Denis Bouchard, géographe et François Godin, ing., tous deux à l'emploi du MDDELCC, il est mentionné que la marge d'erreur du LiDAR est d'au moins 20 cm et que les valeurs entre 20 et 30 cm sont incertaines (voir extrait dans l'encadré ci-bas). Dans un milieu très plat, cette imprécision peut produire des aberrations lors du processus de localisation d'une limite de cote de crues. La plus grande prudence est donc requise dans

l'élaboration des cartes d'inondation et idéalement il doit y avoir plusieurs recoupements avec des relevés réalisés de façon plus conventionnelle par des arpenteurs géomètres.

Il est donc fortement recommandé que la MRC obtienne les données LIDAR brutes et traitées pour son territoire aux fins de procéder à une évaluation de la qualité de l'information produite par les relevés LiDAR en recoupant les élévations LIDAR avec celles provenant de relevés d'arpentage réalisés par un arpenteur-géomètre.

Avec le logiciel Arc-GIS, il est possible de soustraire les élévations du MNT de 2013 (après travaux) avec celui de 2001 (avant travaux). La différence d'élévation entre les deux MNT nous permet d'identifier facilement la zone remblayée et sa hauteur (figure 7). Seules les hauteurs supérieures à 0,3 m ont été considérées comme un remblai, car les hauteurs inférieures à 0,2 m sont dans la marge d'erreur des LiDAR et celles entre 0,2 et 0,3 m sont incertaines. La zone remblayée couvre donc une largeur allant jusqu'à 11 m sur une longueur d'environ 125 m.

Source : Rapport d'expertise 4132-0304-04-2015-1 produit par le CEHQ





## 9 CONCLUSIONS

L'analyse de documents et études passés ainsi que le traitement de plusieurs séries de données de débits et de niveaux d'eau permettent de conclure que les cotes retenues par le gouvernement du Québec pour produire les cartes de zones inondables en 2013 sont trop hautes et inexactes. Ces cartes doivent donc être considérées comme caduques. L'étude scientifique permet de proposer :

- d'établir la cote de la ligne des hautes eaux (au sens du code civil) à la cote 4,58 m IGLD85 à la courbe #2 du lac Saint-Pierre;
- de retenir une cote de  $5,0 \pm 0,15$  m pour la ligne naturelle des hautes eaux ou LNHE (au sens de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables) à la courbe #2 du lac Saint-Pierre;
- d'établir la cote à 5,95 m pour la crue de récurrence de 2 ans, à 6,94 m pour la récurrence de 20 ans et à 7,42 m pour la crue de récurrence de 100 ans à la courbe #2 du lac Saint-Pierre;
- d'établir la cote à 7,27 m pour la crue de récurrence de 2 ans, à 8,13 m pour la récurrence de 20 ans et à 8,47 m pour la récurrence de 100 ans à la station de Varennes;
- de retenir les cotes publiées à l'annexe J du présent rapport pour les crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans le long des berges de la MRC de D'Autray. Les valeurs varient selon la localisation.

Cette correction varie selon qu'on se situe aux limites sud-ouest (plus haute) ou nord-est (plus basse) de la zone d'étude et selon le débit total du fleuve à l'exutoire du lac Saint-Pierre. Cet exercice de révision des cotes de crues abaisse donc les cotes d'environ un demi-mètre par rapport à celles retenues par le Gouvernement du Québec pour les récurrences de 20 ans et de 100 ans. Cette actualisation a des répercussions sur l'étendue des superficies inondées pour les zones 0-20 ans et 20-100 ans de la MRC de D'Autray.

Rappelons également que les calculs démontrent clairement que la cote de la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) établie selon la méthode botanique experte n'est pas équivalente à la cote de crue de récurrence de 2 ans établie par l'analyse statistique des niveaux de crue annuels du lac Saint-Pierre. La prétention du Gouvernement du Québec, dans son guide d'interprétation, à l'effet qu'il y a une équivalence certaine entre les résultats provenant des deux méthodes n'est donc pas valable, la différence étant ici de l'ordre du mètre.



# 10 DOCUMENTS ET RÉFÉRENCES

Plusieurs références sont citées dans des annexes.

- [1] Éditeur officiel du Québec, 2012 « *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* » Version du 1<sup>er</sup> novembre 2016 disponible sur la toile. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035/>. 18 pages.
- [2] Éditeur officiel du Québec, 2012 « *Loi sur la qualité de l'environnement* » Version du 1<sup>er</sup> novembre 2016 disponible sur la toile. 150 pages. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cs/Q-2.pdf>
- [3] MENV, 1990 « *Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent. Calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Tronçon : Varennes - Grondines.* » Ministère de l'environnement, Direction du domaine hydrique. Service hydrographie. Centre d'expertise hydrique du Québec. Rapport MH-90-05. Préparé par Denis Lapointe, géog. Septembre 1990. 44 p.
- [4] ROBVQ, 2014. « *Contexte légal de l'accès à l'eau au Québec – Aperçu* ». Regroupement des organismes de bassins versants du Québec. Pour le ministère des Richesses Naturelles. [http://www.agirpouurladiable.org/liens/Acces\\_eau\\_recherche\\_VF.pdf](http://www.agirpouurladiable.org/liens/Acces_eau_recherche_VF.pdf)
- [5] BAPE, 1994 « *Rapport d'enquête. Les hautes eaux de la côte de Beaupré : une réconciliation possible* » Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement. 128 p. Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 1994. ISBN 2-550-29358-4.
- [6] Environnement Québec, Goupil Jean-Yves. « *Protection des rives, du littoral et des plaines inondables : guide des bonnes pratiques* » Rédaction, Jean-Yves Goupil ; réalisé par le Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral. Québec : Ministère de l'Environnement et de la Faune : distribué par les Publications du Québec. 1998. Nouvelle édition revue, corrigée et mise à jour en 2002. 174 p. ISBN 2-551-21460-2.

- [7] MDDELCC, 2015 « *Politique Protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Guide d'interprétation* ». Version révisée 2015 du document de la référence [6]. 165 pages.  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-interpretationpprpi.pdf>
- [8] Sarrazin, Pascal, MDDEP, 2007 « *Les cours d'eau : Les définitions et les intervenants* » Présentation Powerpoint au Comité Multipartite sur la gestion des fumiers et de l'agriculture durable en Chaudière-Appalaches. Le 7 novembre 2007.
- [9] Beaulieu, Berthier, 2006 « *La genèse de la délimitation des domaines en milieu hydrique* » Mélanges offerts au professeur François Frenette. Études portant sur le droit patrimonial. Université Laval. Faculté de Droit. Presses de l'Université Laval. 2006. Pp 195 – 228.
- [10] Lord, Guy. « *Le droit québécois de l'eau* » Étude réalisée sous la direction de Me Guy Lord. Centre de recherche en droit public. Pour le ministère des Richesses Naturelles.
- [11] Bachand, P. 1992 « *Jugement no 455-001195-907* ». Le Procureur Général du Québec contre les Entreprises M.G. de Guy Ltée. 24 janvier 1992. 16 p (la page 4 est manquante).
- [12] USACE, 1987 « *Corps of Engineers. Wetland Delineation Manual* » U.S. Army Corps of Engineers, Wetland Research Program, Technical Report Y-87-1. Vicksburg, MS. 143 p.
- [13] The Swamp School, 2009 « *Wetland Plants of the Northeast (Region 1) CT, DE, KY, MA, MD, ME, NH, NJ, NY, OH, PA, RI, VA VT, WV* » Prepared by : The Swamp School, Raleigh, North Carolina. SwampScool.org.
- [14] Environnement et Faune Québec, 1996 « *Document de réflexion sur la ligne des hautes eaux* » Direction des politiques du secteur municipal. Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral. Les limites botaniques du rivage et du littoral de la rivière. Par Jean-Yves Goupil, Février 1996. 49 pages.
- [15] Gilbert, Hélène, 1995 « *Corrélation entre la cote de récurrence des inondations de deux ans et la limite botanique.* » Document réalisé par le Groupe Dryade Ltée et Hélène Gilbert éco-service pour le ministère de l'environnement et de la Faune. 1995. 56 pages + 4 annexes.

- [16] Gilbert, Hélène, 1996      « *Les limites botaniques du rivage et du littoral de la rivière Richelieu à Saint-Jean-sur-Richelieu.* » Rapport soumis par Hélène Gilbert éco-service à la Direction des politiques du secteur municipal, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et à Daniel Arbour et associés inc urbanistes-conseils. Mai 1996, #ES 003 17 pages.
  
- [17] Messier, Frédéric 2007      « *Détermination de la ligne des hautes eaux dans le cadre de l'application de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Le cas des petits cours d'eau non instrumentés* » Thèse de maîtrise. Avril 2007.

<http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/24416/24416.html>
  
- [18] Girard, Jean-François 1999      « *La gestion de l'eau au Québec. Aspects juridiques et institutionnels* ». Mémoire du Centre québécois du droit de l'environnement. Document présenté devant le bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) dans le cadre des audiences sur la gestion de l'eau. Novembre 1999. 56 pages + 4 annexes.
  
- [19] Dubé et al. 2005      « *Révision des cotes de crues. Rivière des Mille Îles. Villes de Boisbriand, de Bois-des-Filion, de Deux-Montagnes, de Laval, de Lorraine, de Rosemère, de Saint-Eustache et de Terrebonne.* ». Rapport CEHQ 13-001. Centre d'expertise hydrique du Québec. Direction de l'expertise hydrique et de la gestion des barrages publics. Avril 2005. 113 pages.
  
- [20] Bouchard, Lucie, 2009      « *Modèles d'application des prescriptions de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables par les municipalités du Québec.* ». Mémoire de maîtrise. Université de Sherbrooke, Janvier 2009. 94 pages.
  
- [21] Dupuis, Pierre et Michel Leclerc, 2014      « *Révision des cotes de crues, Ville de Laval* ». Rapport 141-16788-00 de WSP Canada Inc. à Ville de Laval. 108 pp. + 1 volume d'annexes.
  
- [22] Favre, Catherine et al.      « *Analyse statistique et expertise hydrologique liées aux écoulements autour de l'Archipel de Montréal.* ». Rapport final transmis à la ville de Laval le 30 mai 2010. Ville de Laval. 109 pp. 4 annexes.

- [23] Fortin, Vincent, 2011. « *Révision de la relation niveau-débit pour la rivière des Mille Îles et quelques précisions sur l'analyse fréquentielle bivariée* ». Note technique du 16 août 2011 transmise à la ville de Laval. 10 pages.
- [24] IUGL, 2012 « *International Upper Great Lakes Study. Lake Superior Regulation : Addressing Uncertainty in Upper Great Lakes Water Levels.* » Final report to the International Joint Commission. March 2012. 236 p. ISBN-pdf 978010100-20324-9  
<http://ijc.org/iuglsreport/>
- [25] IUGL, 2011 « *International Upper Great Lakes Study. Stochastic Hydrology of the Great Lakes – A Systemic Analysis*» The Hydroclimate Working Group. Revised report of December 2011. 280 pages.  
[http://www.iugls.org/files/tinymce/uploaded/PeerReview\\_pdfs/Stochastic%20Hydrology%20of%20the%20Great%20Lakes%20-%20Final.pdf](http://www.iugls.org/files/tinymce/uploaded/PeerReview_pdfs/Stochastic%20Hydrology%20of%20the%20Great%20Lakes%20-%20Final.pdf)
- [26] Champoux, Olivier et Jean Morin, 2002 « *Application of hydrodynamic, waves and transport-diffusion models in the St. Lawrence River.* » Environnement Canada. Meteorological Service of Canada. Québec, Canada. 4 pages.
- [27] Morin, Jean et André Bouchard « *Les bases de la modélisation du Tronçon Montréal/Trois-Rivières.* » Environnement Canada. Rapport Scientifique RS-100. Mars 2001. 65 pages.
- [28] Morin, Jean et al, 2005 « *Modélisation intégrée de la réponse l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent.* » Environnement Canada. Rapport Scientifique RS-100. Avril 2005. 157 pages.
- [29] Plan Saint-Laurent « *Suivi de l'état du Saint-Laurent. Évolution des niveaux et débits du fleuve Saint-Laurent.* » Fiche technique. 8 pages. Téléchargée fin 2016.  
  
[http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches\\_indicateur/SFiche-debits\\_niveaux\\_eau\\_F\\_final.pdf](http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateur/SFiche-debits_niveaux_eau_F_final.pdf)
- [30] INRS-Eau, Leclerc Michel, 1992 « *Modélisation hydrodynamique des écoulements en eau libre du tronçon Tracy - lac Saint-Pierre* INRS-Eau - No RS-317a. 189 pages.

- [31] Morin et al, 2003      « *Emergence of New Explanatory Variables for 2D Habit Modelling in Large Rivers : The St.Lawrence Experience.* » Canadian Water Resources Journal. Vol. 28, No 2. 24 pages. 2003.  
[http://www.academia.edu/27418129/Impacts\\_of\\_the\\_hydrological\\_regime\\_on\\_St.\\_Lawrence\\_River\\_fish\\_communities\\_and\\_their\\_habitats](http://www.academia.edu/27418129/Impacts_of_the_hydrological_regime_on_St._Lawrence_River_fish_communities_and_their_habitats)
  
- [32] Morse et al, 1999      « *River ice processes in tidal rivers :Research needs* »  
[http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/10th\\_Workshop/Morse\\_et\\_al\\_1999.pdf](http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/10th_Workshop/Morse_et_al_1999.pdf)
  
- [33] Statistique Canada      « *La tempête de verglas de 1998 dans la vallée du Saint-Laurent. Cartes et faits* » Statistique Canada. No catalogue 16F0021XIB.  
<http://www.statcan.gc.ca/pub/16f0021x/4194604-eng.pdf>
  
- [34] Environnement Canada, 2016      « *Le fleuve Saint-Laurent – un danger hivernal* »  
<https://ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=C0122DA3-1#Section3>
  
- [35] CMI, 1981      « *Régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain* ». Rapport de la Commission Mixte Internationale aux Gouvernements du Canada et des États-Unis. 37 pages.
  
- [36] CMI, 1977      « *Régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain* ». Rapport présenté à la Commission Mixte Internationale par le bureau international Champlain-Richelieu. 83 pages.
  
- [37] CMI, 1978      « *Régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain* ». Rapport supplémentaire présenté à la Commission Mixte Internationale par le bureau international Champlain-Richelieu. Août 1978. 73 pages.
  
- [38] CMI, 1975      « *Rapport provisoire sur régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain* ». Commission Mixte Internationale. Mars 1975. 25 pages.
  
- [39] CMI, 1974      « *Étude Richelieu – Lac Champlain. Sommaire des résultats.* » Commission Mixte Internationale. Octobre 1974. 19 pages.
  
- [40] CMI, 1974      « *Régularisation du lac Champlain.* » Rapport présenté à la Commission Mixte Internationale par le bureau international Champlain-Richelieu. Septembre 1974. 70 pages.

- [41] IJC, 1937                   « *Richelieu River Remedial Works.* » International Joint Commission. Ottawa-Washington. 1937. 88 pages.
  
- [42] IJC, 2013                   « *Un plan de gestion adaptative face aux niveaux d'eau extrêmes* » Commission Mixte Internationale. Équipe de travail internationale sur la gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Mai 2013, 95 p.  
  
<http://www.ijc.org/files/tinymce/uploaded/Publications/FR%20-%20GLSLR%20Adaptive%20Management%20Plan%20-%20Final%20Report%202013.pdf>
  
- [43] MDDELCC,2015           « *Summary Profile of the Rivière des Outaouais Watershed*» Ministère du développement durable de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Direction générale des politiques de l'eau. 2015, 57 p.  
  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/outaouais/portrait-sommaire-en.pdf>
  
- [44] IJC, 2016                   « *Regulation Plan 2014 for the Lake Ontario and the St. Lawrence River*» Compendium Document. International Joint Commission. December 2016. 37 p.
  
- [45] Gouvernement du Canada. 2017           « *Loi du traité des eaux limitrophes internationales. LRC (1985) ch I-17. À jour au 31 janvier 2017.* » Ministre de la Justice du Canada. 2017, 42 pages.
  
- [46] Werick, 2010               « *Planning the regulation of Lake Superior*» 27th Annual Captains Committee Meeting. Cleveland, OH. January 28, 2010. Powerpoint Presentation. 16 slides.
  
- [47] USACE, 1991               « *Lake Ontario Regulation*» USACE Detroit. Update Letter No. 75. October First 1991. 6 pages.
  
- [48] USACE, 1993               « *The Regulation of the Outflow from Lake Superior* » USACE Detroit. Update Letter No. 101. December First, 1993. 7 pages.
  
- [49] Dupuis, 2015               « *The Lake Champlain Haut-Richelieu water system; Adaptation to climate and anthropogenic changes*». WSP Canada inc., 22nd Canadian Hydrotechnical Conference, Montreal, May 2015. Canadian Society of Civil Engineers. 10 pages.



- [50] Dupuis, 2016 « *Méthode pour la projection des cotes de crues en rive* » WSP Canada inc. Rapport technique 161-14563-00 produit pour la Communauté Métropolitaine de Montréal. 2015, 65 pages.  
  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/outaouais/portrait-sommaire-en.pdf>
- [51] State of Vermont, 1972 « *Rules determining mean water levels* » Vermont Water Resources Board. November 15, 1972. 1 page.
- [52] CEHQ, 2005 « *Révision des cotes de crues. Rivière des Mille Îles. Villes de Boisbriand, de Bois-des-Filion, de Deux-Montagnes, de Laval, de Lorraine, de Rosemère, de Saint-Eustache et de Terrebonne* » Centre d'expertise hydrique du Québec. Direction de l'expertise hydrique et de la gestion des barrages. Rapport 13-001. Avril 2005, 103 pages.
- [53] Environnement Illimité Inc., 2008 « *Hydrologie de la rivière des Mille Îles – Relevés en période de crue de printemps dans la région de l'archipel de Montréal.* » Rapport de mission #1814. (Juillet). 55 pp + annexes.
- [54] Cantin, 2000 « *Reassessment of stage-discharge relationship between Lac des Deux-Montagnes and Lac Saint-Louis* ». Environment Canada. Meteorological Service of Canada. Hydrology Section. Report RT-102b. ISBN 0-662-29445-9. Minister of Goods and Services Canada. 2000. 13 p.
- [55] Aquapaxis, 2007 « *Hydrologie de la rivière des Mille Îles. Étude des crues* ». Pour Ville de Laval. Rapport 10107-00. 111 p.
- [56] Ouranos, 2015 « *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1. Évolution climatique au Québec* » Édition 2015. Montréal, Québec : Ouranos. 114 p.



# ANNEXE

## **A** LA POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES, DU LITTORAL ET DES PLAINES INONDABLES, VERSION 2017-08-01



# ANNEXE A

## Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables

### TABLE DES MATIÈRES

<b>A 1</b>	<b>POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES, DU LITTORAL ET DES PLAINES INONDABLES (VERSION 2017-08-01) .....</b>	<b>3</b>
------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------



## A 1 POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES, DU LITTORAL ET DES PLAINES INONDABLES (VERSION 2017-08-01)

[..\References\Ref\\_01\\_PolitiqueDeProtection\PolitiqueDeProtection\\_20170801.xps](#)

<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035/#>

chapitre Q-2, r. 35

### **Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables**

#### **Loi sur la qualité de l'environnement**

(chapitre Q-2, a. 2.1)

#### **PRÉAMBULE**

Les rives, le littoral et les plaines inondables sont essentiels à la survie des composantes écologiques et biologiques des cours d'eau et des plans d'eau. La volonté du gouvernement du Québec de leur accorder une protection adéquate et minimale s'est concrétisée par l'adoption de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables le 22 décembre 1987 sur proposition du ministre de l'Environnement conformément à l'article 2.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2).

En 1991, le gouvernement du Québec a étendu l'aire d'application de la politique à l'ensemble des cours d'eau. En 1996, cette politique a été révisée afin de résoudre des difficultés rencontrées lors de son application. En vue de permettre l'adoption de mesures mieux adaptées, la nouvelle politique a notamment introduit la possibilité pour une municipalité régionale de comté (MRC) ou une communauté urbaine de faire approuver un plan de gestion de ses rives et de son littoral et d'adopter des mesures particulières de protection divergeant, en tout ou en partie, de celles de la politique.

En effet, bien que la politique vise à préciser les types d'intervention qui peuvent, ou non, être réalisés dans les milieux qu'elle vise, le mécanisme du plan de gestion permet de prendre en considération certaines situations particulières, compte tenu de la qualité du milieu ou de son degré d'artificialisation. L'application stricte des règles de la politique dans ce genre de situation ne correspondant pas toujours à la réalité, il peut s'avérer nécessaire d'adopter des mesures différentes tout en garantissant une protection adéquate des milieux riverains, leur mise en valeur et, le cas échéant, leur restauration.

De nouveau, une révision de la politique s'avère nécessaire afin d'améliorer son contenu, en protégeant davantage les zones de grand courant des plaines inondables, en élargissant le champ d'application des plans de gestion aux plaines inondables, ainsi qu'en réitérant des mesures auparavant incluses dans la Convention conclue avec le gouvernement du Canada le 7 septembre 1994 en matière de cartographie et de protection des plaines d'inondation.

Cette politique donne un cadre normatif minimal; elle n'exclut pas la possibilité pour les différentes autorités gouvernementales et municipales concernées, dans le cadre de leurs compétences respectives, d'adopter des mesures de protection supplémentaires pour répondre à des situations particulières.

### **1. OBJECTIFS**

**1.1.** — Assurer la pérennité des plans d'eau et des cours d'eau, maintenir et améliorer leur qualité en accordant une protection minimale adéquate aux rives, au littoral et aux plaines inondables;

— Prévenir la dégradation et l'érosion des rives, du littoral et des plaines inondables en favorisant la conservation de leur caractère naturel;

— Assurer la conservation, la qualité et la diversité biologique du milieu en limitant les interventions pouvant permettre l'accessibilité et la mise en valeur des rives, du littoral et des plaines inondables;

— Dans la plaine inondable, assurer la sécurité des personnes et des biens;

— Protéger la flore et la faune typique de la plaine inondable en tenant compte des caractéristiques biologiques de ces milieux et y assurer l'écoulement naturel des eaux;

— Promouvoir la restauration des milieux riverains dégradés en privilégiant l'usage de techniques les plus naturelles possibles.

D. 468-2005, a. 1.1.

## 2. DÉFINITIONS ET CHAMP D'APPLICATION

### 2.1. Ligne des hautes eaux

La ligne des hautes eaux est la ligne qui, aux fins de l'application de la présente politique, sert à délimiter le littoral et la rive.

Cette ligne des hautes eaux se situe à la ligne naturelle des hautes eaux, c'est-à-dire:

a) à l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres, ou

s'il n'y a pas de plantes aquatiques, à l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau.

Les plantes considérées comme aquatiques sont toutes les plantes hydrophytes incluant les plantes submergées, les plantes à feuilles flottantes, les plantes émergentes et les plantes herbacées et ligneuses émergées caractéristiques des marais et marécages ouverts sur des plans d'eau.

b) dans le cas où il y a un ouvrage de retenue des eaux, à la cote maximale d'exploitation de l'ouvrage hydraulique pour la partie du plan d'eau situé en amont;

c) dans le cas où il y a un mur de soutènement légalement érigé, à compter du haut de l'ouvrage;

À défaut de pouvoir déterminer la ligne des hautes eaux à partir des critères précédents, celle-ci peut être localisée comme suit:

d) si l'information est disponible, à la limite des inondations de récurrence de 2 ans, laquelle est considérée équivalente à la ligne établie selon les critères botaniques définis précédemment au point a.

D. 468-2005, a. 2.1.



## 2.2. Rive

Pour les fins de la présente politique, la rive est une bande de terre qui borde les lacs et cours d'eau et qui s'étend vers l'intérieur des terres à partir de la ligne des hautes eaux. La largeur de la rive à protéger se mesure horizontalement.

La rive a un minimum de 10 m:

- lorsque la pente est inférieure à 30%, ou;
- lorsque la pente est supérieure à 30% et présente un talus de moins de 5 m de hauteur.

La rive a un minimum de 15 m:

- lorsque la pente est continue et supérieure à 30%, ou;
- lorsque la pente est supérieure à 30% et présente un talus de plus de 5 m de hauteur.

D'autre part, dans le cadre de l'application de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) et de sa réglementation se rapportant aux normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État, des mesures particulières de protection sont prévues pour la rive.

D. 468-2005, a. 2.2.

## 2.3. Littoral

Pour les fins de la présente politique, le littoral est cette partie des lacs et cours d'eau qui s'étend à partir de la ligne des hautes eaux vers le centre du plan d'eau.

D. 468-2005, a. 2.3.

## 2.4. Plaine inondable

Aux fins de la présente politique, la plaine inondable est l'espace occupé par un lac ou un cours d'eau en période de crue. Elle correspond à l'étendue géographique des secteurs inondés dont les limites sont précisées par l'un des moyens suivants:

- une carte approuvée dans le cadre d'une convention conclue entre le gouvernement du Québec et le gouvernement du Canada relativement à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation;
- une carte publiée par le gouvernement du Québec;
- une carte intégrée à un schéma d'aménagement et de développement, à un règlement de contrôle intérimaire ou à un règlement d'urbanisme d'une municipalité;
- les cotes d'inondation de récurrence de 20 ans, de 100 ans ou les deux, établies par le gouvernement du Québec;
- les cotes d'inondation de récurrence de 20 ans, de 100 ans ou les deux, auxquelles il est fait référence dans un schéma d'aménagement et de développement, un règlement de contrôle intérimaire ou un règlement d'urbanisme d'une municipalité.

S'il survient un conflit dans l'application de différents moyens, et qu'ils sont tous susceptibles de régir une situation donnée selon le droit applicable, la plus récente carte ou la plus récente cote d'inondation,

selon le cas, dont la valeur est reconnue par le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, devrait servir à délimiter l'étendue de la plaine inondable.

D. 468-2005, a. 2.4.

## **2.5. Zone de grand courant**

Cette zone correspond à la partie d'une plaine inondable qui peut être inondée lors d'une crue de récurrence de 20 ans.

D. 468-2005, a. 2.5.

## **2.6. Zone de faible courant**

Cette zone correspond à la partie de la plaine inondable, au delà de la limite de la zone de grand courant, qui peut-être inondée lors d'une crue de récurrence de 100 ans.

D. 468-2005, a. 2.6.

## **2.7. Coupe d'assainissement**

Une coupe d'assainissement consiste en l'abattage ou la récolte d'arbres déficients, tarés, dépérissants, endommagés ou morts dans un peuplement d'arbres.

D. 468-2005, a. 2.7.

## **2.8. Cours d'eau**

Tous les cours d'eau sont visés par l'application de la politique. Ils correspondent:

a) à toute masse d'eau qui s'écoule dans un lit avec débit régulier ou intermittent, y compris un lit créé ou modifié par une intervention humaine, le fleuve Saint-Laurent, le golfe du Saint-Laurent, de même que toutes les mers qui entourent le Québec, à l'exception d'un fossé tel que défini à l'article 2.9;

b) en milieu forestier du domaine de l'État, à un cours d'eau tel que défini par le Règlement sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État (chapitre A-18.1, r. 7).

D. 468-2005, a. 2.8; D. 702-2014.

## **2.9. Fossé**

Un fossé mitoyen, un fossé de voies publiques ou privées ou un fossé de drainage visé par le paragraphe 4 de l'article 103 de la Loi sur les compétences municipales (chapitre C-47.1).

D. 468-2005, a. 2.9; D. 702-2014.

## **2.10. Immunisation**

L'immunisation d'une construction, d'un ouvrage ou d'un aménagement consiste à l'application de différentes mesures, énoncées à l'annexe 1, visant à apporter la protection nécessaire pour éviter les dommages qui pourraient être causés par une inondation.

D. 468-2005, a. 2.10.

# **3. RIVES ET LITTORAL**

## **3.1. Autorisation préalable des interventions sur les rives et le littoral**

Toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux qui sont susceptibles de détruire ou de modifier la couverture végétale des rives, ou de porter le sol à nu, ou d'en affecter la stabilité, ou qui empiètent sur le littoral, doivent faire l'objet d'une autorisation préalable. Ce contrôle préalable devrait être réalisé dans le cadre de la délivrance de permis ou d'autres formes d'autorisation, par les autorités municipales, le gouvernement, ses ministères ou organismes, selon leurs compétences respectives. Les autorisations préalables qui seront accordées par les autorités municipales et gouvernementales prendront en considération le cadre d'intervention prévu par les mesures relatives aux rives et celles relatives au littoral.

Les constructions, ouvrages et travaux relatifs aux activités d'aménagement forestier, dont la réalisation est assujettie à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) et à ses règlements, ne sont pas sujets à une autorisation préalable des municipalités.

D. 468-2005, a. 3.1.

### **3.2. Mesures relatives aux rives**

Dans la rive, sont en principe interdits toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux. Peuvent toutefois être permis les constructions, les ouvrages et les travaux suivants, si leur réalisation n'est pas incompatible avec d'autres mesures de protection préconisées pour les plaines inondables:

- a) L'entretien, la réparation et la démolition des constructions et ouvrages existants, utilisés à des fins autres que municipales, commerciales, industrielles, publiques ou pour des fins d'accès public;
- b) Les constructions, les ouvrages et les travaux à des fins municipales, commerciales, industrielles, publiques ou pour des fins d'accès public, y compris leur entretien, leur réparation et leur démolition, s'ils sont assujettis à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2);
- c) La construction ou l'agrandissement d'un bâtiment principal à des fins autres que municipales, commerciales, industrielles, publiques ou pour des fins d'accès public aux conditions suivantes:
  - les dimensions du lot ne permettent plus la construction ou l'agrandissement de ce bâtiment principal à la suite de la création de la bande de protection de la rive et il ne peut raisonnablement être réalisé ailleurs sur le terrain;
  - le lotissement a été réalisé avant l'entrée en vigueur du premier règlement municipal applicable interdisant la construction dans la rive;
  - le lot n'est pas situé dans une zone à forts risques d'érosion ou de glissements de terrain identifiée au schéma d'aménagement et de développement;
  - une bande minimale de protection de 5 m devra obligatoirement être conservée dans son état actuel ou préférablement retournée à l'état naturel si elle ne l'était déjà.
- d) La construction ou l'érection d'un bâtiment auxiliaire ou accessoire de type garage, remise, cabanon ou piscine, est possible seulement sur la partie d'une rive qui n'est plus à l'état naturel et aux conditions suivantes:
  - les dimensions du lot ne permettent plus la construction ou l'érection de ce bâtiment auxiliaire ou accessoire, à la suite de la création de la bande de protection de la rive;
  - le lotissement a été réalisé avant l'entrée en vigueur du premier règlement municipal applicable interdisant la construction dans la rive;

— une bande minimale de protection de 5 m devra obligatoirement être conservée dans son état actuel ou préférablement retournée à l'état naturel si elle ne l'était déjà;

— le bâtiment auxiliaire ou accessoire devra reposer sur le terrain sans excavation ni remblayage.

e) Les ouvrages et travaux suivants relatifs à la végétation:

— les activités d'aménagement forestier dont la réalisation est assujettie à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) et à ses règlements d'application;

— la coupe d'assainissement;

— la récolte d'arbres de 50% des tiges de 10 cm et plus de diamètre, à la condition de préserver un couvert forestier d'au moins 50% dans les boisés privés utilisés à des fins d'exploitation forestière ou agricole;

— la coupe nécessaire à l'implantation d'une construction ou d'un ouvrage autorisé;

— la coupe nécessaire à l'aménagement d'une ouverture de 5 m de largeur donnant accès au plan d'eau, lorsque la pente de la rive est inférieure à 30%;

— l'élagage et l'émondage nécessaires à l'aménagement d'une fenêtre de 5 m de largeur, lorsque la pente de la rive est supérieure à 30%, ainsi qu'à l'aménagement d'un sentier ou d'un escalier qui donne accès au plan d'eau;

— aux fins de rétablir un couvert végétal permanent et durable, les semis et la plantation d'espèces végétales, d'arbres ou d'arbustes et les travaux nécessaires à ces fins;

— les divers modes de récolte de la végétation herbacée lorsque la pente de la rive est inférieure à 30% et uniquement sur le haut du talus lorsque la pente est supérieure à 30%.

f) La culture du sol à des fins d'exploitation agricole est permise à la condition de conserver une bande minimale de végétation de 3 m dont la largeur est mesurée à partir de la ligne des hautes eaux; de plus, s'il y a un talus et que le haut de celui-ci se situe à une distance inférieure à 3 m à partir de la ligne des hautes eaux, la largeur de la bande de végétation à conserver doit inclure un minimum d'un mètre sur le haut du talus.

g) Les ouvrages et travaux suivants:

— l'installation de clôtures;

— l'implantation ou la réalisation d'exutoires de réseaux de drainage souterrain ou de surface et les stations de pompage;

— l'aménagement de traverses de cours d'eau relatif aux passages à gué, aux ponceaux et ponts ainsi que les chemins y donnant accès;

— les équipements nécessaires à l'aquaculture;

— toute installation septique conforme à la réglementation sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées édictée en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement;

— lorsque la pente, la nature du sol et les conditions de terrain ne permettent pas de rétablir la couverture végétale et le caractère naturel de la rive, les ouvrages et les travaux de stabilisation végétale ou

mécanique tels les perrés, les gabions ou finalement les murs de soutènement, en accordant la priorité à la technique la plus susceptible de faciliter l'implantation éventuelle de végétation naturelle;

— les installations de prélèvement d'eau souterraine utilisées à des fins autres que municipales, commerciales, industrielles, publiques ou pour fins d'accès public et aménagées conformément au Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (chapitre Q-2, r. 35.2);

— la reconstruction ou l'élargissement d'une route ou d'un chemin existant incluant les chemins de ferme et les chemins forestiers;

— les ouvrages et travaux nécessaires à la réalisation des constructions, ouvrages et travaux autorisés sur le littoral conformément au point 3.3;

— les activités d'aménagement forestier dont la réalisation est assujettie à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier et à sa réglementation sur les normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État.

D. 468-2005, a. 3.2; D. 702-2014.

### **3.3. Mesures relatives au littoral**

Sur le littoral, sont en principe interdits toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux.

Peuvent toutefois être permis les constructions, les ouvrages et les travaux suivants, si leur réalisation n'est pas incompatible avec d'autres mesures de protection recommandées pour les plaines inondables:

a) les quais, abris ou débarcadères sur pilotis, sur pieux ou fabriqués de plates-formes flottantes;

b) l'aménagement de traverses de cours d'eau relatif aux passages à gué, aux ponceaux et aux ponts;

c) les équipements nécessaires à l'aquaculture;

d) les installations de prélèvement d'eau de surface aménagées conformément au Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (chapitre Q-2, r. 35.2), à l'exception des installations composées de canaux d'amenée ou de canaux de dérivation destinées à des fins non agricoles;

e) (*paragraphe abrogé*);

f) l'empiétement sur le littoral nécessaire à la réalisation des travaux autorisés dans la rive;

g) les travaux de nettoyage et d'entretien dans les cours d'eau, sans déblaiement, effectués par une autorité municipale conformément aux pouvoirs et devoirs qui lui sont conférés par la loi;

h) les constructions, les ouvrages et les travaux à des fins municipales, industrielles, commerciales, publiques ou pour des fins d'accès public, y compris leur entretien, leur réparation et leur démolition, assujettis à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement, de la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (chapitre C-61.1), de la Loi sur le régime des eaux (chapitre R-13) et de toute autre loi;

i) l'entretien, la réparation et la démolition de constructions et d'ouvrages existants, qui ne sont pas utilisés à des fins municipales, industrielles, commerciales, publiques ou d'accès public.

D. 468-2005, a. 3.3; D. 702-2014.

## **4. PLAINE INONDABLE**

#### **4.1. Autorisation préalable des interventions dans les plaines inondables**

Toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux qui sont susceptibles de modifier le régime hydrique, de nuire à la libre circulation des eaux en période de crue, de perturber les habitats fauniques ou floristiques ou de mettre en péril la sécurité des personnes et des biens, doivent faire l'objet d'une autorisation préalable. Ce contrôle préalable devrait être réalisé dans le cadre de la délivrance de permis ou d'autres formes d'autorisation, par les autorités municipales ou par le gouvernement, ses ministères ou organismes, selon leurs compétences respectives. Les autorisations préalables qui seront accordées par les autorités municipales et gouvernementales prendront en considération le cadre d'intervention prévu par les mesures relatives aux plaines inondables et veilleront à protéger l'intégrité du milieu ainsi qu'à maintenir la libre circulation des eaux.

Les constructions, ouvrages et travaux relatifs aux activités d'aménagement forestier, dont la réalisation est assujettie à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) et à ses règlements, et les activités agricoles réalisées sans remblai ni déblai ne sont pas sujets à une autorisation préalable des municipalités.

D. 468-2005, a. 4.1.

#### **4.2. Mesures relatives à la zone de grand courant d'une plaine inondable**

Dans la zone de grand courant d'une plaine inondable ainsi que dans les plaines inondables identifiées sans que ne soient distinguées les zones de grand courant de celles de faible courant sont en principe interdites toutes les constructions, tous les ouvrages et tous les travaux, sous réserve des mesures prévues aux paragraphes 4.2.1 et 4.2.2.

D. 468-2005, a. 4.2.

##### **4.2.1. Constructions, ouvrages et travaux permis**

Malgré le principe énoncé précédemment, peuvent être réalisés dans ces zones, les constructions, les ouvrages et les travaux suivants, si leur réalisation n'est pas incompatible avec les mesures de protection applicables pour les rives et le littoral:

- a) les travaux qui sont destinés à maintenir en bon état les terrains, à entretenir, à réparer, à moderniser ou à démolir les constructions et ouvrages existants, à la condition que ces travaux n'augmentent pas la superficie de la propriété exposée aux inondations; cependant, lors de travaux de modernisation ou de reconstruction d'une infrastructure liée à une voie de circulation publique, la superficie de l'ouvrage exposée aux inondations pourra être augmentée de 25% pour des raisons de sécurité publique ou pour rendre telle infrastructure conforme aux normes applicables; dans tous les cas, les travaux majeurs à une construction ou à un ouvrage devront entraîner l'immunisation de l'ensemble de celle-ci ou de celui-ci;
- b) les travaux, constructions ou ouvrages destinés à des fins d'accès public ou à des fins municipales, industrielles, commerciales ou publiques, qui sont nécessaires aux activités portuaires, à la navigation ou à la construction navale, notamment les quais, les brise-lames, les canaux, les écluses, les aides fixes à la navigation ainsi que leurs équipements et accessoires; des mesures d'immunisation appropriées devront s'appliquer aux parties des ouvrages situées sous le niveau d'inondation de la crue à récurrence de 100 ans;
- c) les installations souterraines linéaires de services d'utilité publique telles que les pipelines, les lignes électriques et téléphoniques ainsi que les conduites d'aqueduc et d'égout ne comportant aucune entrée de service pour des constructions ou ouvrages situés dans la zone inondable de grand courant;

- d)* la construction de réseaux d'aqueduc ou d'égout souterrains dans les secteurs déjà construits mais non pourvus de ces services afin de raccorder uniquement les constructions et ouvrages déjà existants à la date d'entrée en vigueur du premier règlement municipal interdisant les nouvelles implantations;
- e)* les installations septiques destinées à des constructions ou des ouvrages existants; l'installation prévue doit être conforme à la réglementation sur l'évacuation et le traitement des eaux usées des résidences isolées édictée en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2);
- f)* la modification ou le remplacement, pour un même usage, d'une installation de prélèvement d'eau existante, de même que l'implantation d'une installation de prélèvement d'eau de surface se situant en-dessous du sol, conformément au Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (chapitre Q-2, r. 35.2);
- g)* un ouvrage à aire ouverte, à des fins récréatives, autre qu'un terrain de golf, réalisable sans remblai ni déblai;
- h)* la reconstruction lorsqu'un ouvrage ou une construction a été détruit par une catastrophe autre qu'une inondation; les reconstructions devront être immunisées conformément aux prescriptions de la politique;
- i)* les aménagements fauniques ne nécessitant pas de remblai et ceux qui en nécessitent, mais dans ce dernier cas, seulement s'ils sont assujettis à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement;
- j)* les travaux de drainage des terres;
- k)* les activités d'aménagement forestier, réalisées sans déblai ni remblai, dont la réalisation est assujettie à la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) et à ses règlements;
- l)* les activités agricoles réalisées sans remblai ni déblai.

D. 468-2005, a. 4.2.1; D. 709-2008; D. 702-2014.

#### **4.2.2. Constructions, ouvrages et travaux admissibles à une dérogation**

Peuvent également être permis certaines constructions, certains ouvrages et certains travaux, si leur réalisation n'est pas incompatible avec d'autres mesures de protection applicables pour les rives et le littoral et s'ils font l'objet d'une dérogation conformément aux dispositions de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (chapitre A-19.1). L'annexe 2 de la présente politique indique les critères que les communautés métropolitaines, les MRC ou les villes exerçant les compétences d'une MRC devraient utiliser lorsqu'ils doivent juger de l'acceptabilité d'une demande de dérogation. Les constructions, ouvrages et travaux admissibles à une dérogation sont:

- a)* les projets d'élargissement, de rehaussement, d'entrée et de sortie de contournement et de réaligement dans l'axe actuel d'une voie de circulation existante, y compris les voies ferrées;
- b)* les voies de circulation traversant des plans d'eau et leurs accès;
- c)* tout projet de mise en place de nouveaux services d'utilité publique situés au-dessus du niveau du sol tels que les pipelines, les lignes électriques et téléphoniques, les infrastructures reliées aux aqueducs et égouts, à l'exception des nouvelles voies de circulation;
- d)* l'implantation d'une installation de prélèvement d'eau souterraine conformément au Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection (chapitre Q-2, r. 35.2);

- e) l'implantation d'une installation de prélèvement d'eau de surface se situant au-dessus du sol conformément au Règlement sur le prélèvement des eaux et leur protection;
- f) les stations d'épuration des eaux usées;
- g) les ouvrages de protection contre les inondations entrepris par les gouvernements, leurs ministères ou organismes, ainsi que par les municipalités, pour protéger les territoires déjà construits et les ouvrages particuliers de protection contre les inondations pour les constructions et ouvrages existants utilisés à des fins publiques, municipales, industrielles, commerciales, agricoles ou d'accès public;
- h) les travaux visant à protéger des inondations, des zones enclavées par des terrains dont l'élévation est supérieure à celle de la cote de crue de récurrence de 100 ans, et qui ne sont inondables que par le refoulement de conduites;
- i) toute intervention visant:
- l'agrandissement d'un ouvrage destiné aux activités agricoles, industrielles, commerciales ou publiques;
  - l'agrandissement d'une construction et de ses dépendances en conservant la même typologie de zonage;
- j) les installations de pêche commerciale et d'aquaculture;
- k) l'aménagement d'un fonds de terre à des fins récréatives, d'activités agricoles ou forestières, avec des ouvrages tels que chemins, sentiers piétonniers et pistes cyclables, nécessitant des travaux de remblai ou de déblai; ne sont cependant pas compris dans ces aménagements admissibles à une dérogation, les ouvrages de protection contre les inondations et les terrains de golf;
- l) un aménagement faunique nécessitant des travaux de remblai, qui n'est pas assujéti à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2);
- m) les barrages à des fins municipales, industrielles, commerciales ou publiques, assujéti à l'obtention d'une autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement.

D. 468-2005, a. 4.2.2; D. 709-2008; D. 702-2014.

### **4.3. Mesures relatives à la zone de faible courant d'une plaine inondable**

Dans la zone de faible courant d'une plaine inondable sont interdits:

- a) toutes les constructions et tous les ouvrages non immunisés;
- b) les travaux de remblai autres que ceux requis pour l'immunisation des constructions et ouvrages autorisés.

Dans cette zone peuvent être permis des constructions, ouvrages et travaux bénéficiant de mesures d'immunisation différentes de celles prévues à l'annexe 1, mais jugées suffisantes dans le cadre d'une dérogation adoptée conformément aux dispositions de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (chapitre A-19.1) à cet effet par une communauté métropolitaine, une MRC ou une ville exerçant les compétences d'une MRC.

D. 468-2005, a. 4.3.

## **5. MESURES DE PROTECTION PARTICULIÈRES DANS LE CADRE D'UN PLAN DE GESTION**



## 5.1. Objectifs

Permettre à une communauté métropolitaine, une MRC ou une ville exerçant les compétences d'une MRC, dans le cadre d'une révision ou d'une modification à un schéma d'aménagement et de développement:

- de présenter pour son territoire, un plan de gestion des rives, du littoral et des plaines inondables;
- d'élaborer des mesures particulières de protection (normes), de mise en valeur et de restauration des rives, du littoral et des plaines inondables identifiés, pour répondre à des situations particulières; plus spécifiquement, dans le cas des plaines inondables, d'élaborer pour un secteur identifié de son territoire, des mesures particulières de protection permettant de régir la consolidation urbaine tout en interdisant l'expansion du domaine bâti;
- d'inscrire ces mesures à l'intérieur d'une planification d'ensemble reflétant une prise en considération et une harmonisation des différentes interventions sur le territoire.

En effet, le plan de gestion et les mesures particulières de protection et de mise en valeur qui sont approuvées pour les rives, le littoral et les plaines inondables ont pour effet de remplacer, dans la mesure qu'il y est précisé, pour les plans d'eau et les cours d'eau visés, les mesures prévues par la présente politique.

D. 468-2005, a. 5.1.

## 5.2. Critères généraux d'acceptabilité

Le plan de gestion doit présenter une amélioration de la situation générale de l'environnement sur le territoire de son application.

Pour la réalisation d'un plan de gestion, les zones riveraines et littorales dégradées ou situées en zones fortement urbanisées devraient être préférées à celles encore à l'état naturel.

Les zones riveraines et littorales présentant un intérêt particulier sur le plan de la diversité biologique devraient être considérées dans l'application de mesures particulières de protection et de mise en valeur.

Dans les forêts du domaine de l'État, l'article 40 de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) prévoit que lorsque des circonstances l'exigent, des normes particulières pour protéger les rives et le littoral peuvent être adoptées. L'examen de ces circonstances et de ces normes sera fait dans le cadre d'une modification ou de la révision des schémas d'aménagement et de développement, sur proposition des communautés métropolitaines, des MRC ou des villes exerçant les compétences d'une MRC. Toutefois, la responsabilité d'adopter et de faire respecter ces mesures relève du ministère des Ressources naturelles et de la Faune.

D. 468-2005, a. 5.2.

## 5.3. Critères spécifiques d'acceptabilité d'un plan quant aux plaines inondables

Dans le cadre d'un plan de gestion, certains ouvrages, constructions et travaux pourraient être réalisés, en plus de ceux qui sont prévus en vertu des dispositions du chapitre 4 de la présente politique parce qu'ils sont spécifiquement permis ou admissibles à une dérogation (articles 4.2 et 4.3). Ces ouvrages, constructions et travaux qui pourront être réalisés sont ceux qui découlent:

- de l'aménagement de zones de grand courant qui sont enclavées à l'intérieur d'une zone de faible courant, si ces espaces ne revêtent pas de valeur environnementale;

— de complément d'aménagement de secteurs urbains (densité nette plus grande que 5,0 constructions à l'hectare ou 35 constructions au kilomètre linéaire, par côté de rue) déjà construits, desservis par un réseau d'aqueduc ou un réseau d'égout ou par les 2 réseaux, avant le 18 mai 2005 ou avant la date à laquelle l'étendue de la plaine d'inondation concernée a été déterminée, selon la plus récente des deux éventualités; un secteur est considéré construit si 75% des terrains sont occupés par une construction principale; les nouvelles constructions devront être limitées à des insertions dans un ensemble déjà bâti, les zones d'expansion étant exclues.

L'analyse de l'acceptabilité du plan de gestion tiendra compte des critères suivants:

— un plan de gestion doit fixer les conditions définitives d'aménagement pour l'ensemble des plaines inondables d'une ou de plusieurs municipalités;

— la sécurité des résidents doit être assurée pour l'évacuation, par exemple par l'immunisation des voies de circulation, tout en préservant la libre circulation de l'eau; un programme d'inspection annuelle doit être élaboré et mis en place dans le cas où le plan de gestion comporte des ouvrages de protection;

— les impacts hydrauliques générés par les ouvrages et constructions à réaliser dans le cadre du plan de gestion ne doivent pas être significatifs; la libre circulation des eaux et l'écoulement naturel doivent être assurés;

— si le plan de gestion ne peut être mis en oeuvre sans comporter des pertes d'habitats floristiques et fauniques ou des pertes de capacité de laminage de crue (capacité d'accumulation d'un volume d'eau permettant de limiter d'autant l'impact de l'inondation ailleurs sur le territoire), ces pertes devront faire l'objet de mesures de compensation sur le territoire de la municipalité ou ailleurs sur le même cours d'eau; le plan de gestion doit donc comporter une évaluation de la valeur écologique des lieux (inventaire faunique et floristique préalable), une estimation des volumes et superficies de remblai anticipés et des pertes d'habitats appréhendés;

— le plan de gestion doit tenir compte des orientations et politiques du gouvernement; il doit entre autres, prévoir des accès pour la population aux cours d'eau et aux plans d'eau en maintenant les accès existants si ceux-ci sont adéquats et en en créant de nouveaux si les accès actuels sont insuffisants;

— le plan de gestion doit comporter le lotissement définitif des espaces visés;

— le plan de gestion doit prévoir l'immunisation des ouvrages et constructions à ériger; il doit aussi comprendre une analyse de la situation des constructions et ouvrages existants eu égard à leur immunisation et présenter les avenues possibles pour remédier aux problèmes soulevés;

— le plan de gestion doit prévoir la desserte de l'ensemble des secteurs à consolider par les services d'aqueduc et d'égout;

— le plan de gestion doit établir un calendrier de mise en oeuvre;

— le plan de gestion doit tenir compte des titres de propriété de l'État et entre autres du domaine hydrique de l'État.

D. 468-2005, a. 5.3.

#### **5.4. Contenu**

Le plan de gestion devra être élaboré en prenant en considération les objectifs de la politique et il devra notamment comprendre les éléments suivants:

D. 468-2005, a. 5.4.

### **5.4.1. Identification**

- du territoire d'application du plan de gestion;
- des plans d'eau et cours d'eau ou tronçons de cours d'eau visés;
- des plaines inondables visées.

D. 468-2005, a. 5.4.1.

### **5.4.2. Motifs justifiant le recours à un plan de gestion**

Les raisons qui amènent la présentation d'un plan de gestion peuvent être de diverses natures. La communauté métropolitaine, la MRC ou la ville exerçant les compétences d'une MRC devra faire état des motifs qui l'amènent à proposer un plan de gestion des rives, du littoral et des plaines inondables pour son territoire et à ainsi élaborer des mesures particulières de protection, de mise en valeur et de restauration de ces espaces en plus ou en remplacement de ce que prévoit la présente politique.

D. 468-2005, a. 5.4.2.

### **5.4.3. Caractérisation du territoire visé par le plan de gestion**

- la description générale du milieu physique et du réseau hydrographique et la description écologique générale du milieu;
- la description générale de l'occupation du sol;
- la caractérisation de l'état des plans d'eau et cours d'eau et des rives (qualité de l'eau et des rives; nature des sols; secteurs artificialisés, à l'état naturel, sujets à l'érosion; etc.);
- une description des secteurs présentant un intérêt particulier (habitat faunique et floristique particulier, groupement végétal rare, milieu recelant des espèces menacées ou vulnérables ou susceptibles d'être classées ainsi, site patrimonial, etc.);
- une présentation des secteurs présentant un intérêt pour la récréation et le tourisme et pour l'accès du public;

et en plus, dans le cas où le plan de gestion intègre une plaine inondable:

- la localisation des infrastructures d'aqueduc et d'égout desservant le territoire et, section par section, la date d'entrée en vigueur du règlement décrétant leur installation;
- un plan d'utilisation du sol indiquant, terrain par terrain, les constructions existantes, la date de leur édification, le caractère saisonnier ou permanent de leur occupation et leur état en terme d'immunisation;
- un plan indiquant le niveau de la surface de roulement des voies de circulation et leur état en terme d'immunisation.

D. 468-2005, a. 5.4.3.

### **5.4.4. Protection et mise en valeur des secteurs visés par le plan de gestion**

- l'identification des secteurs devant faire l'objet d'intervention de mise en valeur et de restauration;
- la description de ces interventions;

- les répercussions environnementales de ces interventions sur le milieu naturel (faune, flore, régime hydraulique) et humain;
  - l'identification des zones où des mesures particulières de protection seront appliquées;
  - l'identification des mesures d'atténuation, de mitigation et d'immunisation qui seront appliquées;
  - l'identification des normes de protection qui seront appliquées;
- et en plus, dans le cas où le plan de gestion intègre une plaine inondable:
- l'identification des terrains qui, selon l'article 116 de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (chapitre A-19.1), peuvent permettre l'implantation d'une construction et de ses dépendances;
  - dans le cas où le territoire n'est desservi que par l'aqueduc ou l'égout, la planification de l'implantation du réseau absent;
  - les mesures préconisées pour permettre l'immunisation des constructions et ouvrages existants.

D. 468-2005, a. 5.4.4.

## 6. MISE EN OEUVRE

**6.1.** En vertu de l'article 2.1 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2), le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs a la responsabilité «d'élaborer et de proposer au gouvernement, une Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables, de la mettre en oeuvre et d'en coordonner l'exécution».

Conformément aux schémas d'aménagement et de développement et aux documents complémentaires des communautés métropolitaines, des MRC ou des villes exerçant les compétences d'une MRC, qui intègrent les objectifs et dispositions de la politique, les municipalités, adoptent des règlements permettant la mise en oeuvre des principes de cette politique, et voient à leur application, en vertu de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme (chapitre A-19.1).

Cette dernière loi prévoit que le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs peut notamment, s'il le juge à propos, demander à une municipalité de modifier sa réglementation en matière d'urbanisme, si elle ne respecte pas la politique du gouvernement, ou n'offre pas, compte tenu des particularités du milieu, une protection adéquate des rives, du littoral et des plaines inondables.

Sur les terres du domaine de l'État, le gouvernement partage la responsabilité de la mise en oeuvre de la politique avec les municipalités. À cet effet, le ministre des Ressources naturelles et de la Faune est responsable de l'application de la Loi sur les terres du domaine de l'État (chapitre T-8.1) et de ses règlements. Par contre, les municipalités sont responsables de l'application de la présente politique sur les terres du domaine de l'État en ce qui concerne les constructions, ouvrages et travaux effectués par les personnes qui ont acquis des droits fonciers sur ces terres.

D'autre part, dans les forêts du domaine de l'État, la responsabilité de la mise en oeuvre de la politique en ce qui concerne les activités d'aménagement forestier relève du ministre des Ressources naturelles et de la Faune qui voit à l'application de la Loi sur l'aménagement durable du territoire forestier (chapitre A-18.1) et de sa réglementation, dont celle se rapportant aux normes d'intervention dans les forêts du domaine de l'État. Les interventions des MRC sur les territoires non organisés et celles des municipalités locales doivent s'harmoniser avec celles du ministère.

Tant en milieu privé que sur les terres du domaine de l'État, les constructions, ouvrages et travaux pour fins municipales, commerciales, industrielles, publiques ou pour fins d'accès public doivent également,

lorsque la Loi sur la qualité de l'environnement le prévoit, être autorisés par le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et, selon le cas, par le gouvernement.

Les constructions, ouvrages et travaux réalisés sur le littoral, et plus particulièrement dans l'habitat du poisson, doivent, lorsque la Loi sur la conservation et la mise en valeur de la faune (chapitre C-61.1) et sa réglementation le prévoient, faire l'objet d'une autorisation du ministre des Ressources naturelles et de la Faune. Ce ministère, par ses agents de protection de la faune, a également la responsabilité de contrôler l'application de la législation fédérale sur les pêches qui assure aussi la protection de l'habitat du poisson.

Comme il a été indiqué précédemment, les mesures prévues à la politique sont des mesures minimales; des mesures supplémentaires de protection peuvent être adoptées par les autorités gouvernementales et municipales pour répondre à des situations particulières.

Enfin, en vue d'assurer la mise en oeuvre de la présente politique, le gouvernement, ses ministères et organismes, et les municipalités respecteront les restrictions que la politique impose dans la réalisation de leurs travaux, constructions et ouvrages. De plus, dans leur administration de programme d'aide financière aux tiers, ils veilleront à ce qu'aucune aide ne soit accordée pour des constructions, des travaux ou des ouvrages qui ne devraient pas être réalisés sur les rives ou sur le littoral. Ils veilleront également, au regard des plaines inondables, à ce qu'aucune aide ne soit accordée pour des ouvrages ou des travaux dont la réalisation n'est pas permise en vertu de la présente politique et à ce qu'aucune aide ne soit accordée pour des constructions, hormis pour faciliter l'immunisation ou la relocalisation de constructions existantes.

D. 468-2005, a. 6.1.

## 7. INFORMATION ET ÉDUCATION

**7.1.** Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs fournit une assistance technique aux municipalités en leur rendant disponible un guide pour l'application de la Politique comprenant des mesures au plan technique pour la protection, la restauration et la mise en valeur des milieux riverains.

Différents moyens pourront aussi être pris par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs pour donner davantage d'information aux communautés métropolitaines, aux MRC ainsi qu'aux villes exerçant les pouvoirs d'une MRC, aux municipalités locales et au public sur les objectifs et la nature des exigences de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables et pour mieux faire comprendre que la survie des lacs et cours d'eau dépend non seulement de leur protection contre la pollution mais aussi de la préservation à l'état naturel des milieux aquatique et riverain ainsi que de la restauration des zones dégradées.

D. 468-2005, a. 7.1.

### ANNEXE 1

#### MESURES D'IMMUNISATION APPLICABLES AUX CONSTRUCTIONS, OUVRAGES ET TRAVAUX RÉALISÉS DANS UNE PLAINE INONDABLE

Les constructions, ouvrages et travaux permis devront être réalisés en respectant les règles d'immunisation suivantes, en les adaptant au contexte de l'infrastructure visée:

1. aucune ouverture (fenêtre, soupirail, porte d'accès, garage, etc.) ne peut être atteinte par la crue de récurrence de 100 ans;
2. aucun plancher de rez-de-chaussée ne peut être atteint par la crue à récurrence de 100 ans;

3. les drains d'évacuation sont munis de clapets de retenue;

4. pour toute structure ou partie de structure sise sous le niveau de la crue à récurrence de 100 ans, une étude soit produite démontrant la capacité des structures à résister à cette crue, en y intégrant les calculs relatifs à:

- l'imperméabilisation;
- la stabilité des structures;
- l'armature nécessaire;
- la capacité de pompage pour évacuer les eaux d'infiltration; et
- la résistance du béton à la compression et à la tension;

5. le remblayage du terrain doit se limiter à une protection immédiate autour de la construction ou de l'ouvrage visé et non être étendu à l'ensemble du terrain sur lequel il est prévu; la pente moyenne, du sommet du remblai adjacent à la construction ou à l'ouvrage protégé, jusqu'à son pied, ne devrait pas être inférieure à 33⅓% (rapport 1 vertical: 3 horizontal).

Dans l'application des mesures d'immunsation, dans le cas où la plaine inondable montrée sur une carte aurait été déterminée sans qu'ait été établie la cote de récurrence d'une crue de 100 ans, cette cote de 100 ans sera remplacée par la cote du plus haut niveau atteint par les eaux de la crue ayant servi de référence pour la détermination des limites de la plaine inondable auquel, pour des fins de sécurité, il sera ajouté 30 cm.

D. 468-2005, Ann. 1.

## ANNEXE 2

### CRITÈRES PROPOSÉS POUR JUGER DE L'ACCEPTABILITÉ D'UNE DEMANDE DE DÉROGATION

Pour permettre de juger de l'acceptabilité d'une dérogation, toute demande formulée à cet effet devrait être appuyée de documents suffisants pour l'évaluer. Cette demande devrait fournir la description cadastrale précise du site de l'intervention projetée et démontrer que la réalisation des travaux, ouvrages ou de la construction proposés satisfait aux 5 critères suivants en vue de respecter les objectifs de la Politique en matière de sécurité publique et de protection de l'environnement:

1. assurer la sécurité des personnes et la protection des biens, tant privés que publics en intégrant des mesures appropriées d'immunisation et de protection des personnes;
2. assurer l'écoulement naturel des eaux; les impacts sur les modifications probables au régime hydraulique du cours d'eau devront être définis et plus particulièrement faire état des contraintes à la circulation des glaces, de la diminution de la section d'écoulement, des risques d'érosion générés et des risques de hausse du niveau de l'inondation en amont qui peuvent résulter de la réalisation des travaux ou de l'implantation de la construction ou de l'ouvrage;
3. assurer l'intégrité de ces territoires en évitant le remblayage et en démontrant que les travaux, ouvrages et constructions proposés ne peuvent raisonnablement être localisés hors de la plaine inondable;
4. protéger la qualité de l'eau, la flore et la faune typique des milieux humides, leurs habitats et considérant d'une façon particulière les espèces menacées ou vulnérables, en garantissant qu'ils n'encourent pas de dommages; les impacts environnementaux que la construction, l'ouvrage ou les travaux sont susceptibles de générer devront faire l'objet d'une évaluation en tenant compte des caractéristiques des matériaux utilisés pour l'immunisation;
5. démontrer l'intérêt public quant à la réalisation des travaux, de l'ouvrage ou de la construction.

D. 468-2005, Ann. 2.

### RÉFÉRENCES

D. 468-2005, 2005 G.O. 2, 2180

D. 709-2008, 2008 G.O. 2, 4009

L.Q. 2011, c. 21, a. 242

D. 702-2014, 2014 G.O. 2, 2767





# ANNEXE

## **B** NOTIONS SUR LES LIGNES D'EAU





# ANNEXE B

## Notions sur les lignes d'eau

### TABLE DES MATIÈRES

<b>B 1</b>	<b>DÉFINITIONS DES LIGNES D'EAU .....</b>	<b>3</b>
<b>B 2</b>	<b>LA NOTION DU LIT DU COURS D'EAU.....</b>	<b>7</b>
<b>B 3</b>	<b>LE NIVEAU D'EAU MOYEN ANNUEL.....</b>	<b>7</b>
<b>B 4</b>	<b>LE NIVEAU D'EAU MOYEN ASSOCIÉ À UNE PÉRIODE DONNÉE .....</b>	<b>8</b>
<b>B 5</b>	<b>LE NIVEAU DES HAUTES EAUX PRINTANIÈRES MOYENNES .....</b>	<b>8</b>
<b>B 6</b>	<b>LA LIGNE DES HAUTES EAUX NATURELLES (ORDINAIRES) (LHE) .....</b>	<b>10</b>
<b>B 7</b>	<b>LE NIVEAU DES HAUTES EAUX ORDINAIRES SELON PÊCHES ET Océan Canada.....</b>	<b>12</b>
<b>B 8</b>	<b>LE DOMAINE HYDRIQUE DE L'ÉTAT .....</b>	<b>12</b>
<b>B 9</b>	<b>LA LIGNE DES HAUTES EAUX NATURELLES SANS DÉBORDEMENT SELON LE GUIDE .....</b>	<b>13</b>
<b>B 10</b>	<b>LA LIGNE NATURELLES DES HAUTES EAUX (OU LIGNE DES HAUTES EAUX AU SENS DE LA POLITIQUE) .....</b>	<b>14</b>
<b>B 11</b>	<b>LES COTES DE CRUES DE RÉCURRENCE DE 20 ANS ET DE 100 ANS .....</b>	<b>16</b>
<b>B 12</b>	<b>LE NIVEAU D'EAU MOYEN JOURNALIER MAXIMUM DE RÉCURRENCE DE 2 ANS.....</b>	<b>17</b>
<b>B 13</b>	<b>SUR LES FORÊTS, LES MILIEUX HUMIDES ET LA LHE.....</b>	<b>17</b>
<b>B 14</b>	<b>SUR LES MODIFICATIONS ANTHROPIQUES.....</b>	<b>21</b>
<b>B 15</b>	<b>DOCUMENT DE RÉFLEXION SUR LA LIGNE DES HAUTES EAUX .....</b>	<b>23</b>

<b>B 16</b>	<b>SYNTHÈSE ET DISCUSSION .....</b>	<b>24</b>
B 16.1	LE LIT MINEUR .....	24
B 16.2	LE LIT MAJEUR .....	24
B 16.3	LA COLONISATION DU LIT MAJEUR PAR LES PLANTES .....	25
B 16.4	LA LIGNE DES HAUTES EAUX (ORDINAIRES SANS DÉBORDEMENT) (LHE).....	25
B 16.5	LA LIGNE DES HAUTES EAUX AU SENS DE LA POLITIQUE DE PROTECTION DES RIVES ET DU LITTORAL (LNHE).....	25
<b>B 17</b>	<b>LISTE DES RÉFÉRENCES .....</b>	<b>26</b>

## B 1 Définitions des lignes d'eau

Pour bien comprendre les analyses produites dans ce document, il importe de présenter les définitions relatives à différentes cotes de lignes d'eau. Certaines lignes servent à délimiter le domaine privé de celui de l'État, d'autres à identifier des zones sujettes à l'application de règlements d'urbanismes. Les cotes de ces lignes sont établies suite à l'analyse de la variation des niveaux d'eau (hydrologie) ou à l'analyse des types de végétaux rencontrés en rive (méthode botanique experte) selon les politiques, règlements ou lois qui s'appliquent.

Les principales définitions sont celles :

- du niveau d'eau moyen;
- du niveau d'eau de récurrence de 2 ans;
- du niveau d'eau de récurrence de 20 ans;
- du niveau d'eau de récurrence de 100 ans;
- du niveau des hautes eaux tel que défini pour établir la limite de propriété de l'État;
- du niveau des hautes eaux tel que défini dans la Politique sur la protection des rives, du littoral et des plaines inondables (la Politique).

On doit d'abord différencier la « ligne des hautes eaux » qui est définie dans la Politique de protection des rives et du littoral (identifiée comme la « Politique » par la suite) de celle retenue pour établir la limite de propriété de l'État. Le rapport d'enquête du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE), traitant des hautes eaux de la côte de Beupré (réf. 5), permet de jeter un peu de lumière sur certaines de ces définitions.

**Tableau 3 Nomenclature, fins poursuivies et référence légale de diverses lignes d'eaux**

Nom de la ligne	Fins poursuivies	Référence
Limite des hautes eaux printanières moyennes	Environnementales	- <i>Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement</i>
Ligne des hautes eaux naturelles et ligne des basses eaux naturelles (ordinaires)	Immobilières	- <i>Loi sur le régime des eaux</i> - <i>Règlement sur le domaine hydrique public</i> - Lois relatives à l'extension des frontières du Québec - <i>Convention de la Baie-James et du Nord québécois</i>
Ligne de récurrence de 20 ans et de 100 ans	Environnementales et pour la protection contre les inondations	- Entente Canada-Québec - <i>Règlements municipaux</i> - <i>Loi sur l'aménagement et l'urbanisme</i>
Ligne naturelle des hautes eaux	Environnementales	- <i>Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables</i>

Source: adapté du *Rapport du groupe de travail pour étudier et proposer des définitions aux termes utilisés dans la gestion du milieu riverain québécois*, MENVIQ, août 1993, annexe I.

Source : réf. 5 p 27

Nous y référerons, ainsi qu'au « Guide des bonnes pratiques » pour la protection des rives, du littoral et des plaines inondables (Goupil, réf. 6) et au texte de Berthier Beaulieu, arpenteur-géomètre, qui traite de « La genèse de la délimitation des domaines en milieu hydrique » (réf. 9).

Le BAPE reconnaît que « diverses définitions de lignes d'eau diffèrent en fonction des fins qu'elles poursuivent et des contextes légaux qu'elles desservent... » (réf. 5, p. 26). Le tableau 3 de cette même référence, reproduit à la page précédente, présente les différentes définitions, leur référence et les fins poursuivies.

Le BAPE indique que « Dans les faits, il y a autant de lignes de hautes eaux qu'il y a de définitions. Il s'agit alors de savoir à quelles fins elles sont utilisées ou pour quels motifs l'une d'entre elles doit être retenue par rapport à une autre. Une bonne partie de la confusion entourant les diverses définitions de lignes des hautes eaux est causée par l'existence des deux vocations du MEF touchant les rives, soit la gestion du domaine hydrique et la protection de l'environnement. » (réf. 5, page 27).

Cette constatation est toujours pertinente en 2006, alors que Beaulieu conclut (réf. 9) que « bien des incompréhensions du concept de la ligne des hautes eaux découlent d'un vocabulaire peu approprié et portant à confusion » et il recommande de retenir les définitions du Code civil du Québec pour désigner la limite séparant le domaine privé du domaine public.

Enfin, bien des incompréhensions du concept de la *ligne des hautes eaux* découlent d'un vocabulaire peu approprié et portant à confusion. Il serait souhaitable de s'en tenir rigoureusement aux termes du *Code civil du Québec* pour désigner et déterminer la limite devant séparer les domaines privé et public en milieu hydrique.

Source : Réf. 9

Pour les fins du présent rapport, nous retenons les définitions apparaissant au tableau 3 du BAPE, et utilisons les termes suivants pour discerner deux concepts différents :

### **Ligne des hautes eaux (LHE)**

Il s'agit de la ligne utilisée pour délimiter le domaine privé du domaine de l'État.

Synonymes : Ligne des hautes eaux ordinaire sans débordement (LHEO).

Ligne des hautes eaux naturelles (notez que l'adjectif naturelles suit le terme « hautes eaux » et non le contraire).

### **Ligne naturelle des hautes eaux (LNHE)**

C'est la ligne utilisée pour délimiter la rive du littoral tel que défini dans la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables (réf. 1). Notez qu'ici l'adjectif naturelle précède le terme « hautes eaux ».

Le lecteur doit noter que pour les figures du guide d'interprétation produit par le MDDEP (réf. 6), on traite de la ligne naturelle des hautes eaux. L'acronyme « LHE » qui est largement utilisé dans les figures de cet ouvrage réfère plutôt à la ligne naturelle des hautes eaux (que nous identifions par l'acronyme LNHE dans ce rapport pour la différencier de celle qui délimite le domaine de l'État. Ceci permet d'éviter toute ambiguïté. En effet, dans ce guide, la ligne des hautes eaux réfère essentiellement à la ligne séparant la rive du littoral, qui correspond donc à la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) telle qu'établie aux fins de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables.

On notera également, en se référant au tableau 3 du BAPE, que la « ligne naturelle des hautes eaux » n'est pas synonyme de la « ligne des hautes eaux naturelles ». On doit donc porter grande attention à la position de l'adjectif « naturelles » dans la définition.

Berthier Beaulieu, arpenteur-géomètre, (réf. 9) et professeur au département de géodésie de l'Université Laval, présente la définition de la ligne des hautes eaux (LHE) :

« Par définition, il s'agit d'une ligne se situant à la limite du plan d'eau lorsqu'il coule à pleins bords, tout juste avant qu'il commence à déborder ou à inonder les terrains au-delà de la rive ».

Cette définition indique qu'il s'agit de conditions sans inondation.

ges lorsqu'il s'agit de déterminer les propriétés p...

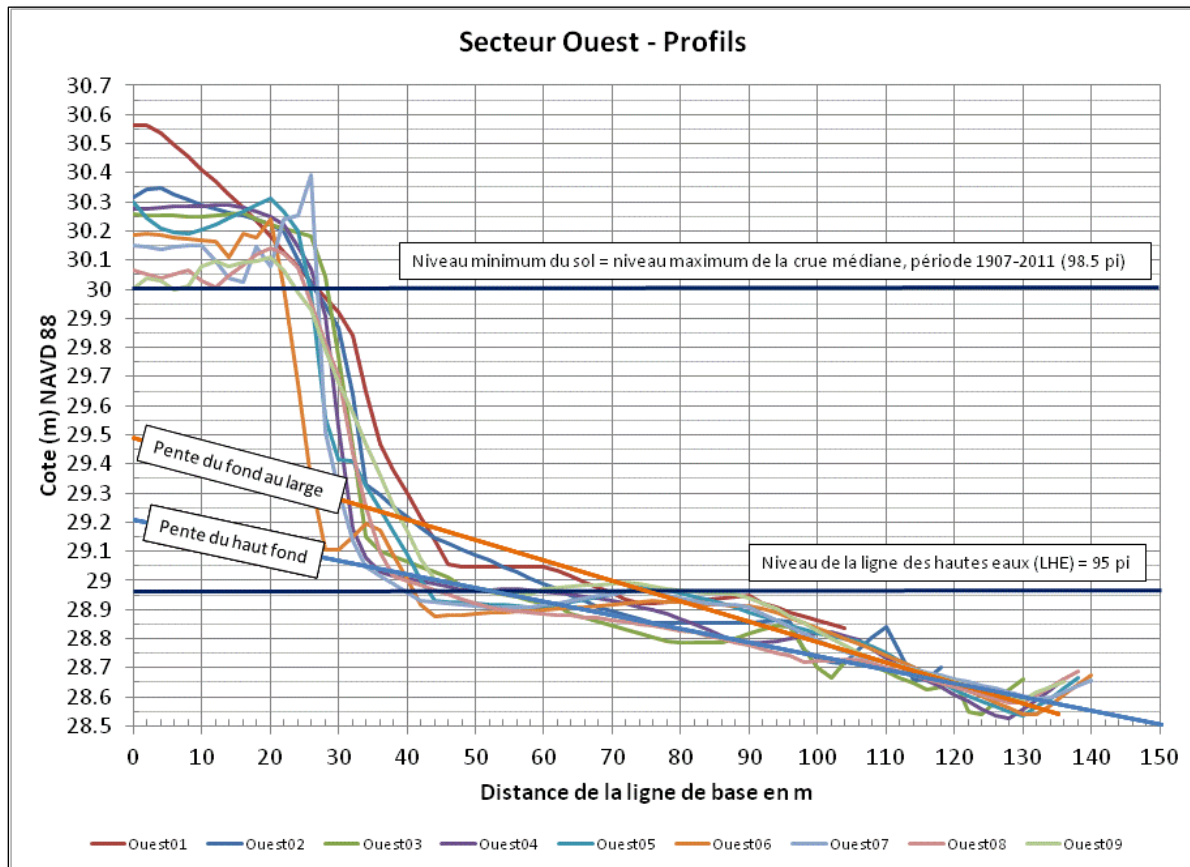
Le mot *domaines*, écrit au pluriel dans le présent titre, englobe à la fois le **domaine privé** des particuliers qui correspond ici spécifiquement aux terres ayant fait l'objet d'une concession ou encore au domaine aliéné de la Couronne<sup>1</sup>, et à l'opposé du **domaine public**<sup>2</sup> qui correspond aux biens immobiliers qui appartiennent à l'État. En milieu hydrique, c'est généralement la *ligne des hautes eaux* qui divise ces deux domaines. Par définition, il s'agit d'une ligne se situant à la limite du plan d'eau lorsqu'il coule à pleins bords, tout juste avant qu'il commence à déborder ou à inonder les terrains au-delà de la rive<sup>3</sup>. Elle marque donc, au sens juridique du terme, la limite entre le lit d'un cours d'eau et la berge, c'est-à-dire le point proéminent du flanc de sa rive. Énoncer ce principe est une chose, mais connaître cette limite et la localiser concrètement sur le ter-

Source : Réf. 9

Soulignons qu'il spécifie qu'il s'agit de « la limite entre le lit du cours d'eau et la berge, c'est à-dire le point proéminent du flanc de sa rive ». En tant qu'hydraulicien et selon notre expérience et notre compréhension, ce point proéminent s'avère être l'endroit où il y a rupture de pente du terrain lorsqu'on trace un profil qui est perpendiculaire à la ligne de rive. Selon les règles, la ligne des hautes eaux (LHE) ne peut être établie en conditions d'inondation. Il convient donc de nuancer cette définition, et la question à se poser est de savoir quelle est la cote de la LHE par rapport aux deux ruptures de pente qui sont fréquemment observées lorsqu'il y a présence d'un talus en rive. À la Figure 1-1, les profils tracés présentent le cas d'une berge soumise à une érosion provoquée principalement par l'attaque par les vagues durant les périodes de crue, qui résulte en un talus dont la proéminence pourrait être associée à celle mentionnée par Beaulieu. Plusieurs profils y sont tracés. Le recul du terrain, résultant de l'érosion provoquée par l'attaque des vagues, peut produire une cote du haut du talus d'élévation supérieure par rapport à la cote qui serait associée à la ligne des hautes eaux (LHE). Pour ce cas précis, les calculs hydrologiques ont permis de fixer la cote de la ligne des hautes eaux à l'élévation 28,96 m, soit au pied du talus, au point bas de la rupture de pente et non au haut du talus.

Par ailleurs, il est souvent facile, même pour le non spécialiste, de repérer les zones de rupture de pentes et de changement d'état du milieu par de simples relevés d'un profil en rive. Des calculs plus sophistiqués sont cependant requis pour fixer la cote finale associée à la limite supérieure des hautes eaux en période hors crue.

Le cas des talus à Pointe-aux-Outardes sur la Côte-Nord permet de démontrer que la ligne des hautes eaux ne se situe pas forcément au point proéminent de la rive. La cote associée à la ligne des hautes eaux (LHE) est beaucoup plus près du pied de talus que du haut de talus (Figure 1-1).



Source : Dupuis



**Figure 1-1 Exemples de pentes du fond du lac, talus et haut de talus à la baie Missisquoi et exemple d'un talus à Pointe-aux-Outardes**

## B 2 La notion du lit du cours d'eau

Le rapport d'enquête du BAPE (réf. 5) définit le lit du cours d'eau dans l'encadré suivant. À sa lecture, on retient que la végétation riveraine aquatique ou semi-aquatique fait partie du lit majeur du cours d'eau et qu'elle est régulièrement submergée par les crues. Le niveau atteint par une crue exceptionnelle ne peut donc servir à délimiter cette zone de végétation. C'est le niveau atteint par une crue fréquente qui est recherché. Le lit majeur est donc réputé être dans une zone réputée inondable, contrairement au lit mineur.

d'apparence simple, se complique dès que les phénomènes des crues ou des marées sont pris en compte. Cette complexité est liée à la variabilité de ces phénomènes. La définition la plus simple du lit d'un cours d'eau se réfère au chenal qu'il creuse et par lequel il s'écoule. Le lit majeur représente l'étendue qu'occupe un cours d'eau lors des crues, ce qui inclut les zones inondables. Le lit mineur est la partie du lit occupé lors des étiages, c'est-à-dire lors des périodes de basses eaux. La végétation s'ajuste aux variations du niveau des eaux, et une répartition progressive des plantes franchement aquatiques jusqu'aux plantes franchement terrestres y est observable. Sur les berges inclinées, les diverses lignes de végétation sont rapprochées et facilement identifiables puisque généralement très bien définies. Tel n'est pas nécessairement le cas lorsque le terrain est plat. Dans une telle situation, la transition des plantes aquatiques aux plantes terrestres est plus étalée et la démarcation entre les divers groupements végétaux est moins nette.

La figure 3 illustre schématiquement les divers lits d'un cours d'eau et localise sur les berges les niveaux d'eau et les types de végétation susceptibles d'être observés. La première ligne de végétation est normalement située à des niveaux correspondant à des crues de faible récurrence. Sur le plan technique et hydraulique, la végétation riveraine aquatique ou semi-aquatique fait donc partie du lit majeur d'un cours d'eau et est régulièrement submergée soit par les eaux de la crue, soit par les marées.

Source : Réf. 5 page 24

## B 3 Le niveau d'eau moyen annuel

Le niveau d'eau moyen annuel est obtenu en calculant la moyenne des mesures de niveaux d'eau réalisées à intervalle de temps régulier durant l'année. La formule mathématique décrivant le calcul de la moyenne arithmétique s'écrit :

$$\bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i$$

À titre d'exemple, pour calculer le niveau moyen d'un plan d'eau pour une année de durée 365 jours, on somme les 365 valeurs du niveau d'eau moyen journalier et on divise cette somme par le nombre de jours, soit 365.

## B 4 Le niveau d'eau moyen associé à une période donnée

Le législateur peut fixer la période durant laquelle le niveau d'eau moyen journalier est utilisé pour établir un niveau d'eau moyen. À titre d'exemple, l'État du Vermont établit (Rules 3, réf. 51) la cote servant à délimiter la propriété de l'État en calculant la moyenne du niveau d'eau moyen d'un lac pour la période débutant le premier juin et se terminant le 15 septembre de chaque année. On constate que la période retenue couvre la période de décrue ainsi que la période d'étiage d'été.

State of Vermont  
Water Resources Board  
Montpelier  
05602

RULES DETERMINING MEAN WATER LEVELS

“Mean water level” for purposes of section 401 of Chapter 11 of Title 29, Vermont Statutes Annotated, and “normal mean water mark” for purposes of section 1101 (6) of Chapter 34 of Title 10, Vermont Statutes Annotated, shall be determined according to the following rules:

Rule 1. For Lake Champlain, 95.5 feet above mean sea level;

Rule 2. For those lakes and ponds that have an artificial structure which controls the flow of water at the outlet, the elevation of the spillway plus the mean depth of flowage over the spillway as measured during the period June 1 to September 15 or that level which has been customarily maintained during the said period if such level is other than the spillway elevation plus the aforesaid flowage;

Rule 3. For those lakes and ponds that have natural outlets, exclusive of Lake Champlain, the elevation of the natural control section plus the mean depth of flowage over it as measured during the period June 1 to September 15;

Source : Réf. 51

On comprend, de cette approche, que l'État du Vermont établit cette cote en considérant une période qui est considérée majoritairement hors crue (juillet à septembre) pour établir la cote de la ligne des hautes eaux (LHE). Quoique cette approche ne s'applique pas au Québec, nous la présentons pour indiquer que la méthode de calcul et la période de temps pour le traitement des données à utiliser sont indiquées, de façon à ce que quiconque puisse la reproduire sans ambiguïté. Comme la période à considérer est balisée, le calcul du niveau à partir de mesures devient trivial.

## B 5 Le niveau des hautes eaux printanières moyennes

Il est mentionné dans le rapport du BAPE (réf. 5, voir extrait page suivante) que cette « ligne est normalement établie à partir de la moyenne arithmétique sur plusieurs années des plus hautes eaux

observées – les niveaux hydrologiques – pendant les trois mois du printemps, soit entre le 21 mars et le 21 juin. Les résultats sont très fiables si la série de données est suffisamment longue, soit idéalement d’au moins 30 années ». On comprend de cet extrait qu’on doit différencier l’action de calculer la cote de celle qui consiste à localiser la ligne au sol. En pratique et à notre connaissance, le calcul de cotes associées à des conditions de crue ou de non-crue relève des sciences de l’hydrologie et de l’hydraulique. Par contre, le positionnement légal de la ligne au sol relève des compétences de l’arpenteur-géomètre une fois la cote connue et établie par l’hydraulicien.

On comprend également, à la lecture de ce texte, que la fiabilité du calcul sera d’autant plus grande que la série temporelle est longue.

L’extrait, tiré du document du BAPE, suit : « Cette limite des hautes eaux printanières moyennes est donc conçue dans une perspective écologique, comme moyen de protection et de préservation du littoral, incluant les plaines inondables. »

On peut ajouter qu’au Québec, la crue du fleuve Saint-Laurent joue un rôle important dans l’établissement de cette ligne puisque durant cette période il y a combinaison des fortes marées de printemps et de la crue du fleuve, ce qui donne habituellement des niveaux d’eau élevés.

### **La limite des hautes eaux printanières moyennes**

La limite des hautes eaux printanières moyennes, indiquée dans le *Règlement sur l’évaluation et l’examen des impacts sur l’environnement*, vise la protection d’une zone écologique pour le milieu aquatique qui inclut la plaine de débordement printanière moyenne des cours d’eau. Cette ligne est normalement établie à partir de la moyenne arithmétique sur plusieurs années des plus hautes eaux observées – les niveaux hydrologiques – pendant les trois mois du printemps, soit entre le 21 mars et le 21 juin. Les résultats sont très fiables si la série de données est suffisamment longue, soit idéalement d’au moins 30 années, ce qui est le cas pour la station d’observation des marées à Lauzon, près de Québec, en fonction depuis 1901.

En l’absence de données prélevées directement sur la côte de Beaupré, les stations marégraphiques de Lauzon et de Saint-François de l’île d’Orléans, ont servi de référence. Une corrélation a été établie avec des sites de la côte de Beaupré, grâce à des observations à Château-Richer et au pont de l’île d’Orléans au cours de l’année 1985. Selon le MEF, la limite des hautes eaux printanières moyennes varie en cote géodésique ou en altitude par rapport au niveau de la mer de 4,2 mètres à 4,27 mètres sur la côte de Beaupré.

### **2<sup>e</sup> constat technique**

**La limite des hautes eaux printanières moyennes a été conçue dans une perspective écologique, comme moyen de protection et de préservation du littoral, incluant les plaines inondables.**

Source : Réf. 5 BAPE, 1994, p.28

## B 6 La ligne des hautes eaux naturelles (ordinaires) (LHE)

« La ligne des hautes eaux naturelles (ordinaires), mentionnée dans la *Loi sur le régime des eaux* et dans le *Règlement sur le domaine hydrique public*, vise à fixer la limite entre les domaines privé et public. » (Réf. 5 page 28).

Dans le guide de pratique (réf. 6), à la page 40, il est mentionné « qu'en règle générale, le lit des lacs et cours d'eau, y compris le Saint-Laurent, est la propriété du gouvernement du Québec, mais il y a des exceptions car le lit du lac ou du cours d'eau peut aussi appartenir au propriétaire riverain en vertu des dispositions du *Code civil*, ou encore en vertu d'actes seigneuriaux ou d'actes de concession. La propriété du lit n'entre pas en compte dans l'application de la Politique et des règlements qui en découlent ; la municipalité n'a donc pas à s'en préoccuper. Bien que la limite de propriété soit définie par rapport à la notion de la ligne des hautes eaux, celle identifiée dans la Politique (réf. 1) s'avère être tout à fait différente ».

Selon le thésaurus gouvernemental du gouvernement du Québec, la ligne des hautes eaux est la « limite qu'atteint le plus haut niveau des eaux sans débordement ».

The screenshot shows the 'Thésaurus de l'activité gouvernementale (TAG)' interface. It includes a search bar, navigation links (Accueil, Aide, Impression, Carte sémantique), and a 'Fiche du terme' section for 'LIGNE DES HAUTES EAUX'. The definition provided is: 'Limite qu'atteint le plus haut niveau des eaux sans débordement.'

Source : <http://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=7373>

Ce niveau « correspond au niveau visible des hautes eaux d'un lac, d'une rivière d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau quelconque où la présence d'eau est **une chose si fréquente et si normale et l'action de l'eau se poursuit si longtemps durant les années normales** que le lit du lac, de la rivière, du cours d'eau ou du plan d'eau en porte la marque et où la végétation de même que la nature du sol proprement dits permettent de distinguer cet endroit des rives »

Dans son Règlement sur le domaine hydrique (c. R-13, r.2), à l'article 1 de ce règlement, on définit le « **domaine hydrique public** » comme étant le domaine public situé dans le lit de la mer, d'un cours d'eau ou d'un lac, incluant les rives, soit la bande de terrain délimitée par les lignes des basses et hautes eaux naturelles, sans débordement ».

Suite à la lecture de ces définitions, on retient que le Gouvernement du Québec fait toujours référence à la notion de « sans débordement » pour établir la cote de la ligne des hautes eaux (LHE). Le texte suivant extrait de Beaulieu confirme que la cote des hautes eaux doit être établie en période hors crue (voir

encadré suivant) et nous respectons donc ces paramètres pour calculer les conditions hydrologiques associées aux conditions des hautes eaux.

Dans l'affaire CIP, les experts commis pour mener l'enquête de bornage ont, à l'unanimité, recommandé que les limites de propriété soient établies conformément aux observations de Lafond. Au procès qui a suivi, la thèse de la Commission Hydro-électrique a été défendue par Jacques Rousseau, directeur du Jardin botanique de Montréal. Dans son rapport, le D<sup>r</sup> Rousseau insistait pour que la *ligne des hautes eaux* corresponde à la *ligne des hautes eaux ordinaires* selon la méthode prescrite par Marie-Victorin dans son expertise de 1941. Rappelons qu'une différence verticale minimale aurait eu là de graves conséquences.

Dans un jugement catégorique rendu le 24 octobre 1966, le juge Robert Lafleur a retenu le rapport Lafond. Il a statué que « les débordements ou les inondations qui au printemps, coïncident avec la fonte des neiges ne doivent pas entrer dans la détermination de la *ligne des hautes eaux*, en conséquence, on doit éliminer du lit de la rivière, les terrains ainsi inondés ». Le jugement Lafleur est logique et concorde avec la définition traditionnelle de la *ligne des hautes eaux* ainsi qu'avec la définition qu'en ont presque toujours donnée les tribunaux<sup>58</sup>. Un mémoire conjoint en appel a été préparé mais n'a pas eu de suite.

La doctrine québécoise fait souvent référence à l'expression *ligne ordinaire des hautes eaux* pour parler de la *ligne des hautes eaux*. Il s'agit peut-être là d'une formulation équivalente, ayant eu cours à un moment donné. Mais depuis le jugement de 1966, il s'agit-là sûrement d'une formulation prêtant à confusion et qui est, par conséquent, à proscrire. Comme il a été démontré chez de nombreux auteurs provenant des disciplines des sciences naturelles, le concept de *ligne des hautes eaux* ne correspond pas du tout à celui de *ligne ordinaire des hautes eaux*. En raison de la fréquence des récurrences dont fait mention le frère Marie-Victorin, la *ligne des hautes eaux ordinaires* devrait correspondre à des crues annuelles ou encore dont la récurrence est de deux ans. Cette dernière récurrence équivaut exactement à la *ligne naturelle des hautes eaux* au sens de la *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables*<sup>59</sup>. La méthode de Marie-Victorin peut alors être avantageusement utilisée pour déterminer une telle *ligne naturelle des hautes eaux ordinaires*, qui est un concept tout à fait différent de celui de *ligne des hautes eaux*.

Source : Réf. 9

Notons toutefois que Beaulieu aborde la question de la *ligne des hautes eaux ordinaires* qui devrait correspondre à des crues annuelles ou à une crue de récurrence de 2 ans (voir texte ci-haut). Cette définition serait donc semblable à celle souvent véhiculée pour la ligne naturelle des hautes eaux au sens de la Politique. Il s'agit d'une assertion souvent utilisée pour déterminer la LNHE, mais selon les documents consultés, cette approche n'est pas celle recommandée dans la Politique, la méthode botanique experte étant celle recommandée. Pour terminer, notons qu'à la fin de l'encadré ci-haut, Beaulieu établit clairement que la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) est un concept tout à fait différent de celui de la ligne des hautes eaux (LHE).

## B 7 Le niveau des hautes eaux ordinaires selon Pêches et Océan Canada

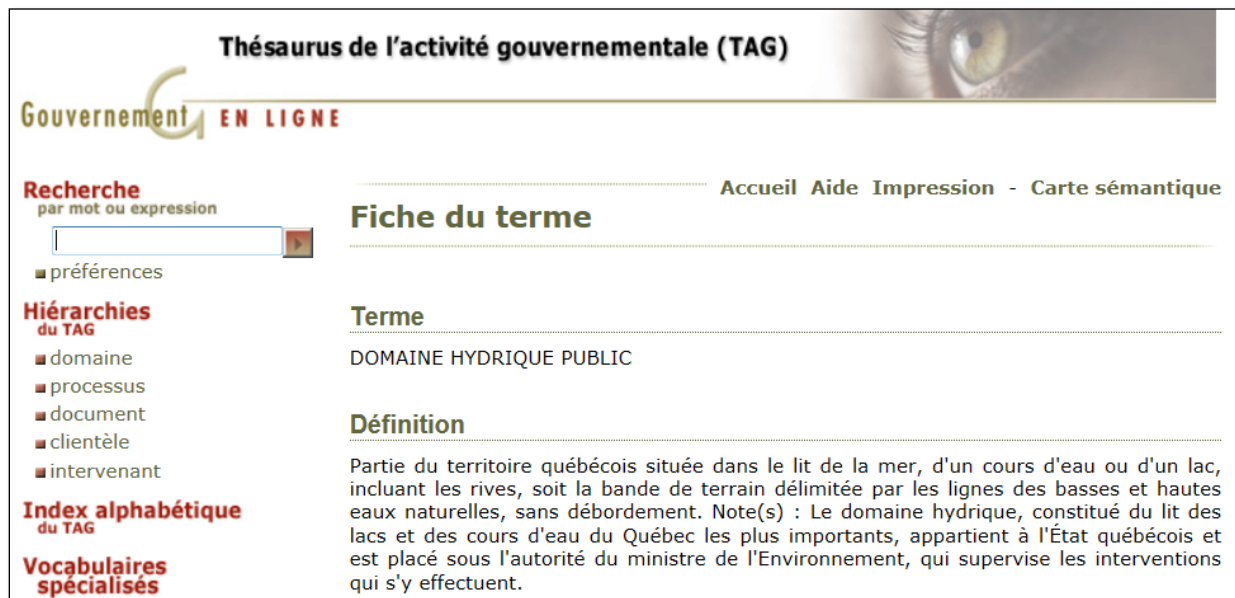
Ce niveau « correspond au niveau visible des hautes eaux d'un lac, d'une rivière d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau quelconque où la présence d'eau est **une chose si fréquente et si normale et l'action de l'eau se poursuit si longtemps durant les années normales** que le lit du lac, de la rivière, du cours d'eau ou du plan d'eau en porte la marque et où la végétation de même que la nature du sol proprement dits permettent de distinguer cet endroit des rives »<sup>1</sup>

On retient de cette définition que l'action de l'eau se poursuit longtemps durant les années normales. Du point de vue de la science de l'hydraulique, cette définition serait celle du lit mineur du cours d'eau.

## B 8 Le domaine hydrique de l'État

Le domaine hydrique public est défini comme suit dans le thésaurus de l'activité gouvernementale (Gouvernement du Québec) :

« Partie du territoire québécois située dans le lit de la mer, d'un cours d'eau ou d'un lac, incluant les rives, soit la bande de terrain délimitée par les lignes des basses et hautes eaux naturelles, sans débordement. » (Le soulignement est de l'auteur). Nous comprenons que les qualificatifs naturelles et sans débordement réfèrent à des conditions non influencées par des actions anthropiques et hors de la période de crue.



**Thésaurus de l'activité gouvernementale (TAG)**

Gouvernement EN LIGNE

Recherche par mot ou expression

Accueil Aide Impression - Carte sémantique

**Fiche du terme**

**Terme**

DOMAINE HYDRIQUE PUBLIC

**Définition**

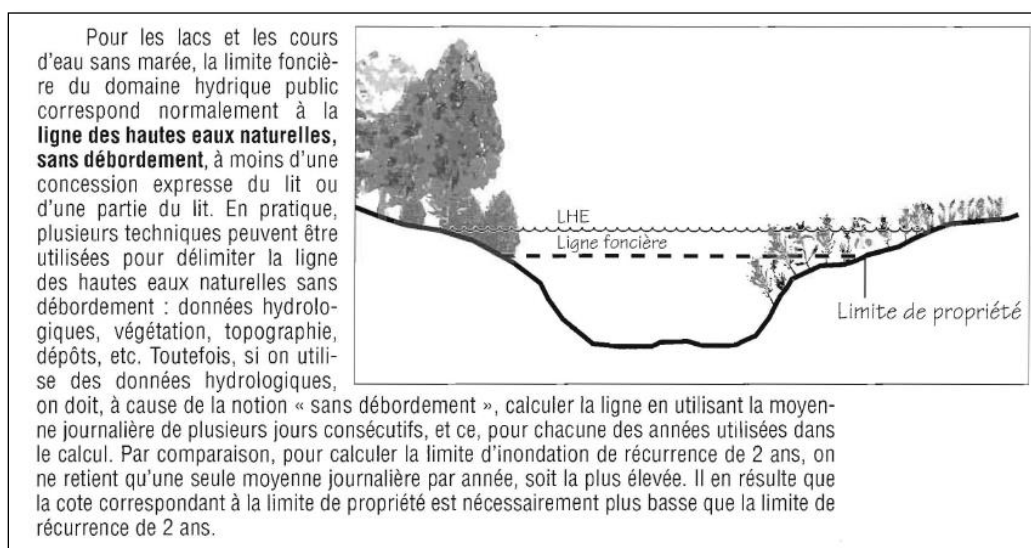
Partie du territoire québécois située dans le lit de la mer, d'un cours d'eau ou d'un lac, incluant les rives, soit la bande de terrain délimitée par les lignes des basses et hautes eaux naturelles, sans débordement. Note(s) : Le domaine hydrique, constitué du lit des lacs et des cours d'eau du Québec les plus importants, appartient à l'État québécois et est placé sous l'autorité du ministre de l'Environnement, qui supervise les interventions qui s'y effectuent.

Source : <http://www.thesaurus.gouv.qc.ca/tag/terme.do?id=4320>

1 <http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/habitat/Glossary-glossaire-fra.htm>

## B 9 La ligne des hautes eaux naturelles sans débordement selon le guide

L'extrait suivant (Figure 9-1) provient du guide des bonnes pratiques (référence 6). Il traite de la notion de ligne des hautes eaux naturelles sans débordement (note de l'auteur : LHE sur cette figure représente la LNHE selon les définitions retenues pour la rédaction du présent document et la ligne foncière serait la LHE au sens du code civil).



Source : Réf. 6, p. 41

**Figure 9-1** Ligne foncière et ligne naturelle des hautes eaux

On y indique que pour tenir compte de la notion « sans débordement » on doit calculer la cote de la ligne en utilisant la moyenne journalière sur plusieurs jours consécutifs. Du point de vue de la science de l'hydraulique, cette méthode est vague et elle ne peut être utilisée car la période de l'année durant laquelle le calcul doit être réalisé, ni le nombre de jours à retenir pour en calculer la moyenne, ne sont fixés. Une telle définition ne permet donc pas d'assurer la répétitivité de cet exercice de calcul, contrairement, par exemple, au calcul du débit minimum  $Q_{2,7}$  qui définit le débit minimum de récurrence de 2 ans avec l'utilisation d'une moyenne mobile de 7 jours. Cette définition floue pouvant donc laisser place à l'arbitraire, elle ne peut et ne doit pas être appliquée dans le cadre d'analyses.

Selon l'usage, la période de crue provoquée par la fonte des neiges au printemps doit être exclue car elle est associée à des conditions dites de débordement. Pour identifier le moment où se termine la condition de crue, il suffit, au niveau de la science de l'hydrologie, d'analyser le phénomène de décrue et d'identifier la période à partir de laquelle on établit que la crue de printemps est terminée. Un traitement statistique des valeurs du niveau moyen journalier est requis, traitement qui relève du champ de pratique de l'hydraulicien. Le passage d'une condition de crue à une condition de non crue fixe forcément la cote associée à la condition des plus hautes eaux sans débordement.

Un tel exercice est réalisé en utilisant le limnigramme des valeurs médianes du niveau d'eau obtenu pour chaque jour julien d'une série temporelle. Par définition, la cote du plan d'eau pour cette condition est

forcément plus basse que la cote de crue de récurrence de 2 ans, en accord avec la représentation à la Figure 9-1.

## B 10 La ligne naturelles des hautes eaux (ou ligne des hautes eaux au sens de la Politique)

Du guide de pratique (réf. 6) l'encadré de la page 39 présente la définition de la ligne des hautes eaux au sens de la politique. C'est « la ligne des hautes eaux est la ligne qui, aux fins de l'application de la présente politique, sert à délimiter le littoral et la rive des lacs et cours d'eau. »

On prend la peine de spécifier que « cette ligne des hautes eaux se situe à la ligne naturelle des hautes eaux » (le souligné est de l'auteur). On définit donc cette ligne comme étant « la ligne naturelle des hautes eaux ou LNHE ». Ceci permet de la différencier de la ligne foncière ou des hautes eaux (LHE) qui sert à départager le domaine privé du domaine de l'État (en accord avec les définitions publiées dans le document du BAPE, réf. 5).

Les alinéas a) à c) définissent l'endroit où doit se situer cette ligne naturelle des hautes eaux. L'alinéa a) présente le cas usuel, alors que les alinéas b) et c) traitent de cas particuliers découlant de la présence d'ouvrages anthropiques en rive ou le long du cours d'eau.

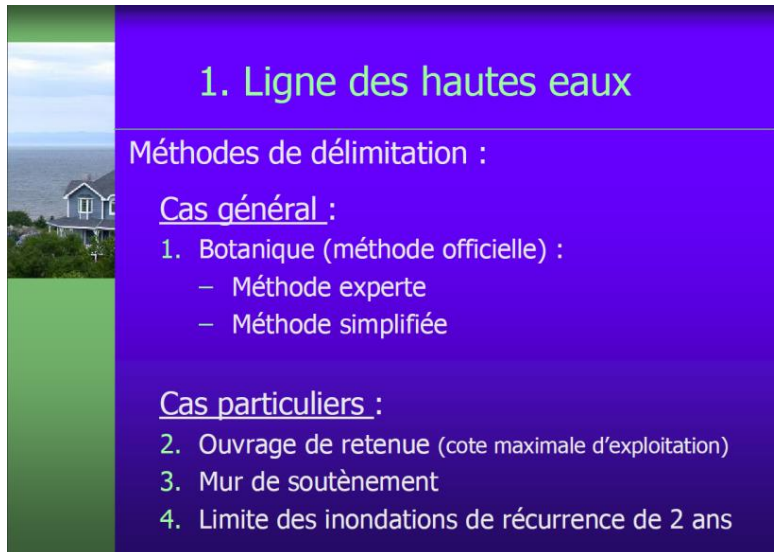
L'alinéa a) indique que la ligne des hautes eaux (on doit comprendre qu'il s'agit de LNHE selon les définitions retenues pour ce rapport) se situe « à l'endroit où l'on passe d'une prédominance de plantes aquatiques à une prédominance de plantes terrestres, ou s'il n'y a pas de plantes aquatiques, à l'endroit où les plantes terrestres s'arrêtent en direction du plan d'eau. »

Dans l'éventualité où l'on ne peut déterminer la ligne des hautes eaux selon les définitions des alinéas a) à c) alors l'approche décrite à l'alinéa d) peut être utilisée, qui autorise l'utilisation de la ligne d'inondation de récurrence de 2 ans. La Politique mentionne que cette limite « est considérée équivalente à la ligne établie selon les critères botaniques définis précédemment au point a). » Selon l'usage et notre compréhension, le calcul de la cote associée à cette récurrence de 2 ans relève de la compétence de l'ingénieur hydraulicien. Selon notre expérience, il n'y a pas d'équivalence entre la cote obtenue selon la méthode botanique experte et celle correspondant à une crue de récurrence de 2 ans.

Par ailleurs, l'alinéa d) est précédé du préambule « À défaut de pouvoir déterminer la ligne des hautes eaux à partir des critères précédents... ». Selon notre interprétation, la cote associée à la crue de 2 ans ne peut être utilisée que lorsqu'on ne peut utiliser la méthode officielle, qui s'avère être la méthode botanique experte.

Pour supporter cette interprétation, nous présentons l'acétate 14 de la présentation de Monsieur Pascal Sarrazin du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) (réf. 8) et Figure 10-1, qui distingue le cas général de certains cas particuliers. Il indique que la « méthode officielle » est celle basée sur la méthode botanique, les autres méthodes s'avérant des cas particuliers pour établir la délimitation.





## 1. Ligne des hautes eaux

Méthodes de délimitation :

Cas général :

1. Botanique (méthode officielle) :
  - Méthode experte
  - Méthode simplifiée

Cas particuliers :

2. Ouvrage de retenue (cote maximale d'exploitation)
3. Mur de soutènement
4. Limite des inondations de récurrence de 2 ans

Source : Réf. 8, Sarrazin, 2007

**Figure 10-1 Méthodes pour la délimitation de la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE)**

Notons que dans le guide d'interprétation (réf. 6, p. 39 au bas), on mentionne que dans ses versions antérieures, « une deuxième définition de la ligne des hautes eaux qui permettait de situer celle-ci à **l'endroit où la végétation arbustive s'arrête en direction du plan d'eau**. Cette définition a cependant été abandonnée, car elle venait en contradiction avec la première. » (Rappelons qu'on réfère toujours à la LNHE).

Finalement, le texte suivant, extrait d'un rapport déposé par le Bureau International Champlain-Richelieu, permettrait de situer la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) dans la zone de prairie humide. On note également qu'elle « est peut-être la zone la plus sensible aux changements de niveau du lac ». Sans être spécialiste en botanique, on peut, strictement d'un point de vue scientifique, en déduire que la position de cette ligne pourrait varier d'année en année, selon les conditions hydrologiques qui prévalent au moment des mesures, notamment si on vit une période caractérisée par un climat sec ou humide.

Les plantes émergentes sont normalement exposées à une fluctuation saisonnière qui varie grandement. Si les niveaux du lac demeurent hauts à la fin du printemps et à l'été, les plantes émergentes ne produiront ni fleurs ni fruits et leurs feuilles deviendront faibles, molles et linéaires. La croissance sera retardée et la zone sera réduite du côté du lac. Si elles sont exposées à des conditions sèches, elles produiront une abondance de fruits et leurs feuilles seront larges et raides.

La zone de prairie humide qui se présente souvent le long du rivage du lac et de la rivière adjacente à la zone des plantes émergentes, ou qui en est séparée par la forêt marécageuse, est peut-être la zone la plus sensible aux changements de niveau du lac. C'est une zone de transition entre les communautés de plantes vraiment terrestres et celles qui sont vraiment aquatiques. C'est la zone qu'utilisent les fermiers pour faire paître le bétail et, dans les années sèches pour récolter du foin. C'est aussi la zone la plus productive pour le frai du grand brochet.

Pour garder son intégrité, la prairie humide doit être exposée à un mouillage périodique. Des conditions sèches continues entraînent l'envahissement d'espèces des hautes terres, alors qu'une inondation continue, comme il est arrivé dans les récentes années conduit à l'envahissement des plantes aquatiques. C'est la zone la plus restreinte de la berge limitée par le lac et la rivière du côté lac et par la culture ou l'aménagement intensifs du côté terres.

Source : Réf. 36

L'encadré qui suit, tiré de la même référence, est d'ailleurs éloquent à cet égard.

### 3.3 Etudes floristiques

La succession des plantes sur l'aire de rivage du lac et de la rivière est influencée naturellement par les changements de durée et de fréquence de l'inondation et par la profondeur de l'eau. Les études de 1976-1977 ont indiqué un déplacement certain, vers

l'intérieur des terres, des zones végétales, résultant de la perte temporaire ou d'une perturbation sérieuse de la végétation terrestre située sous l'élévation 97.0. Ce déplacement ou changement dans la succession des plantes a sa cause dans des périodes prolongées de hautes eaux durant la fin du printemps et l'été et n'est pas directement relié à l'amplitude des crues du printemps.

La zone de forêt marécageuse, qui est caractérisée par les érables, fut à l'évidence la zone la plus perturbée par la durée exceptionnellement longue de l'inondation. Beaucoup d'arbres subirent un choc, n'eurent pas de feuillaison, et quelques-uns moururent. La perte des communautés du sous-bois comme les arbustes et les herbages est encore peut-être plus significative. Ces communautés furent remplacées par des plantes aquatiques émergentes et des plantes flottantes à feuilles.

Des pertes et gains similaires se présentèrent dans toutes les communautés de plantes qui furent sujettes à des changements des niveaux de l'eau. Les plantes d'eau profonde moururent le long de leur limite extérieure, mais envahirent la frange extérieure de la communauté des plantes flottantes. De même, les plantes flottantes envahirent les surfaces occupées auparavant par les plantes émergentes. Ce processus s'étendit vers l'intérieur aussi loin que les conditions de hautes eaux perturbèrent la reproduction et la survie de la végétation.

Source : Réf. 36

Cette zone tampon peut donc se modifier au gré des fluctuations ou cycles caractérisés par des périodes de temps sec ou humide. Si ces commentaires, formulés par des spécialistes engagés par la CMI, sont valables, alors nous comprenons que la détermination de la LNHE par la méthode botanique est sujette à une certaine variabilité et que des mesures, réalisées en un même endroit mais à des moments différents (lors d'années différentes), pourraient produire des résultats différents. On peut donc difficilement qualifier la méthode botanique experte comme étant une méthode scientifique pouvant être reproduite et qui donnerait les mêmes résultats.

## B 11 Les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans

Les lignes pour les cotes de crues de récurrence de 20 ans et de 100 ans ont été établies au Québec dans le cadre de la Convention Canada-Québec relative à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation. Depuis le programme initial, certaines zones ont été révisées, notamment par le Centre d'Expertise Hydrique du Québec (CEHQ). Les cotes correspondant à ces récurrences sont établies par traitement de séries temporelles de niveau d'eau. Dans le rapport du BAPE, il est mentionné que ces limites n'ont pas force légale, à moins de se retrouver dans une réglementation municipale.

Les lignes de récurrence de 20 ans et de 100 ans, établies dans le cadre de la Convention Canada-Québec relative à la cartographie et à la protection des plaines d'inondation, visent à identifier les zones inondables à risque élevé (0-20 ans) et à risque moyen (20-100 ans) afin de réglementer les ouvrages à être érigés et de protéger aussi les zones écologiques. Ces limites n'ont pas force légale, à moins de se retrouver dans une réglementation municipale. Actuellement, 220 municipalités sur plus de 500 concernées possèdent une cartographie officielle de ces lignes.

Source : Réf. 5 page 29

## B 12 Le niveau d'eau moyen journalier maximum de récurrence de 2 ans

Le niveau d'eau moyen journalier maximum de récurrence de 2 ans s'avère être le niveau d'eau moyen journalier maximum qui est dépassé en moyenne une année sur deux. Cet événement survient habituellement au printemps, en période de crue. La valeur de ce niveau d'eau maximum est souvent déterminée par ajustement de lois statistiques d'extrêmes sur la série des valeurs maximales annuelles du débit moyen journalier. La détermination de ce niveau d'eau présume toutefois que la série des données est homogène, c'est-à-dire qu'il n'y a pas eu de modifications anthropiques d'apportées au cours d'eau qui auraient provoqué un rehaussement ou un abaissement des niveaux d'eau durant la période considérée.

## B 13 Sur les forêts, les milieux humides et la LHE

Les extraits qui suivent sont tirés de Beaulieu (réf. 9), arpenteur-géomètre. Ces extraits sont intéressants pour la présente étude du fait qu'ils précisent des notions relatives à la berge et au littoral et présentent une approche différente de celle suivie en hydrologie et en hydraulique pour fixer la cote de la ligne des hautes eaux. La lecture de ces extraits est riche en enseignements. On y aborde la question de la position de la ligne des hautes eaux (LHE) en considérant les notions d'érosion et de « végétation forte ». Selon l'approche de Béique, « il s'agit de déterminer, sur la rive, l'endroit spécifique et le niveau où la végétation forte paraît résister au lessivage et à l'érosion » (extrait 1).

« La présence d'un peuplement d'érables argentés indique la présence d'une zone inondable par définition (extrait 3). Dans l'est du Canada, aucune forêt ne peut s'établir, ni croître dans le lit des cours d'eau, ou encore dans un endroit où le sol est saturé d'eau à l'année longue, parce que les racines des arbres suffoqueraient. »

- « La présence d'une forêt implique l'existence d'un milieu terrestre caractérisé par une couche d'humus suffisamment aéré pour permettre le développement des racines des arbres sur de nombreuses années. »
- « Lorsque les eaux d'une rivière recouvrent la couche d'humus, le terrain de celle-ci doit être considéré comme étant alors en état d'inondation. »
- « En situant la ligne des hautes eaux à la limite de la zone fertile en bordure d'un cours d'eau, on définit *a contrario* son lit comme étant la partie lessivée. » (extrait 3)
- « C'est ainsi qu'il se forme en bordure de tout cours d'eau ou plan d'eau, en présence de végétation, un talus plus ou moins prononcé dont la paroi verticale, la berge... » Il s'agit ici du point proéminent du flanc de sa rive décrit en début de cette annexe. On en déduit également que le talus peut faire partie de la berge.
- « la cote exacte de la ligne des hautes eaux doit être établie entre la base des racines et le sommet de la couche de sol arable » selon Beaulieu.
- « L'examen ne doit pas se limiter à quelques points d'une propriété, mais doit comprendre des sections en amont et en aval ainsi que sur la rive opposée. » (extrait 2).

Ainsi, on notera le niveau où le passage répété des eaux à des périodes relativement fréquentes a imprimé un caractère différent au sol, cette différenciation étant le résultat du lessivage de la berge. Au-dessus de cette bande lessivée, on devrait retrouver une zone d'équilibre où s'arrête l'action érosive des eaux en raison de la résistance du sol des rives, et où commence la végétation forte (arbres, cultures essentiellement terriennes). Juste au-dessous, on notera les parois rendues manifestement stériles par le mouvement des eaux, les changements notables dans le caractère du

Extrait 1, référence 9

Évidemment, on ne répond pas sur tous les sites d'observation à tous les critères de différenciation en même temps. On doit juger de la prévalence de l'un ou de l'autre suivant la nature des lieux. L'examen méthodique du terrain devrait conduire assez facilement à l'identification de la *ligne des hautes eaux*, hormis quelques cas d'exception. L'examen ne doit pas se limiter à quelques points d'une propriété, mais doit comprendre des sections en amont et en aval ainsi que sur la rive opposée. Ces constats devraient permettre, comme Béique le mentionne, de déterminer le point de jonction « jusqu'où la rivière étend sa domination ».

Extrait 2, référence 9

Les commentaires de Lafond permettent de préciser plusieurs aspects de la causerie de Béique. La coïncidence de la couche d'humus et de la végétation forte n'est jamais l'effet du hasard. La couche d'humus assure la croissance des plantes alors que les racines de la végétation forte empêchent le lessivage de ladite couche d'humus. L'une conditionne la présence de l'autre. En situant la *ligne des hautes eaux* à la limite de la zone fertile en bordure d'un cours d'eau, on définit *a contrario* son lit comme étant la partie lessivée. C'est ainsi qu'il se forme en bordure de tout cours d'eau ou plan d'eau, en présence de végétation, un talus plus ou moins prononcé dont la paroi verticale, la berge, est formée de deux couches distinctes, la première étant constituée par l'épaisseur du sol arable, la deuxième par les racines des arbres et arbrisseaux. Selon Lafond, c'est à cet

Extrait 3, référence 9

### La genèse de la délimitation des domaines en milieu hydrique

faisant partie d'un ancien delta d'alluvions argileuses, appartenait au lit original du lac Saint-Jean inondé, depuis huit ans à ce moment. Le niveau du terrain en question se situait entre les cotes 10 et 15 au-dessus de l'échelle d'étiage de Roberval. Avant l'inondation, il y poussait une forêt de haute futaie « constituée par une espèce dominante: l'orme d'Amérique (*Ulmus americana*) et par des espèces secondaires: le frêne blanc (*Fraxinus americana*), l'orme roux (*Ulmus fulva*) et le peuplier (*Populus tacamahacca*) ». La taille des arbres (jusqu'à 56 pouces de diamètre) indiquait bien la remarquable qualité des sols qui les portaient. Il s'agissait d'un sol arable d'une grande qualité « formé d'un argile très riche en débris organiques, amené au niveau inférieur, [...] par l'érosion des ruisseaux qui coupent à travers les terrasses<sup>51</sup> ».

Les terrains étudiés formaient ce que Marie-Victorin appelle des « bottom-lands » qui ne sont pas des grèves, mais des plaines alluviales normalement inondées. Comme il s'agit de terrains sujets aux inondations, ils se situent par définition à l'extérieur du lit du lac, conclut-il. Après avoir établi que la forêt de haute futaie en question ne constituait pas des arbres de grève pouvant s'accommoder de conditions semi-aquatiques<sup>52</sup>, il conclut que la couverture forestière du terrain en question, supportée par un sol arable de riche qualité, est inconciliable avec l'appellation de grève et indiquerait au contraire un terrain frais sujet à l'inondation, mais soustrait à l'occupation périodique et prolongée des eaux de rivage. En d'autres mots, une telle forêt ne peut définitivement pas appartenir au lit du lac.

En conclusion, cette première expertise de Marie-Victorin établit sans équivoque que ce type de forêt de haute futaie, quoique sujette aux inondations, ne fait donc pas partie du lit du plan d'eau. Tout au long de son expertise, il établit un lien direct entre la qualité du sol et la luxuriance de la végétation. En ce sens il rejoint l'idée de Bouffard et de Béique selon laquelle la limite de la végétation doit constituer un critère important pour reconnaître si un terrain fait partie ou non du lit d'un plan ou d'un cours d'eau. Mais cela est insuffisant car cette donnée ne nous renseigne pas avec précision sur les caractéristiques biophysiques des limites de cette forêt, donc de la rive. Elle fournit toutefois des critères d'exclusion d'un certain type de végétation dans le lit des cours d'eau sans pour autant en déterminer les limites.

Extrait 4, référence 9

d'eau est dans un état d'inondation. À cela, s'ajoutent deux autres arguments subsidiaires pour établir que les observations du frère Marie-Victorin ne correspondaient pas à la *ligne des hautes eaux* au sens de l'article 919 du *Code civil du Québec*, ou du moins aux indices décrits par Béique. Le premier établit que la cote maximale des inondations ainsi décrites par le frère Marie-Victorin est donnée entre autres par des marques sur le tronc des arbres. Il s'agit d'indices qui sont au-dessus du sol alors que Béique décrit la *ligne des hautes eaux* comme une ligne continue au sol. Deuxièmement, les marques de mousses et de lichens indiquant la cote des inondations ne sont repérables que par des personnes ayant des connaissances poussées en botanique. Au contraire, les auteurs qui ont décrit la *ligne des hautes eaux* suivant le texte de Daviel cité par Bouffard ou encore Béique semblent moins exigeants en affirmant que, d'une manière générale, elle est facilement reconnaissable pour quiconque s'y arrête et y prête attention.

Extrait 5, référence 9

216

Berthier Beaulieu

utiles comme argument *a contrario*. Sachant qu'un peuplement d'érables argentés indique la présence d'une zone inondable, par définition, les superficies de ces peuplements devront être exclues du lit des cours d'eau qui les bordent. Ainsi, la limite d'un peuplement d'érables argentés en direction du plan d'eau indiquerait la présence de son lit à proximité, soit l'endroit où la rivière ou le lac commence à déborder. Il s'agit en fait de la *ligne des hautes eaux* dont les caractéristiques botaniques ont été plus amplement décrites par le professeur de foresterie André Lafond, en 1962.

Extrait 6, référence 9

besoin d'eau bien sûr, mais aussi et surtout d'air pour survivre<sup>55</sup>. Aussi, la survie d'une forêt est obligatoirement associée à l'existence d'une couche d'humus qui résulte de la décomposition organique, laquelle ne pourrait se produire dans un sol constamment submergé<sup>56</sup>. Dans ce dernier cas, il en résulterait la formation d'un marécage ou d'un marais qui favoriserait l'apparition d'une flore caractéristique de ces milieux, mais sûrement pas d'une forêt. Il s'ensuit que la présence d'une forêt implique l'existence d'un milieu terrestre caractérisé par une couche d'humus suffisamment aérée (et non pas imbibée ou saturée d'eau) pour permettre le développement des racines des arbres sur de nombreuses années. Ainsi, lorsque les eaux d'une rivière recouvrent la couche d'humus, le terrain de celle-ci doit être considéré comme étant alors en état d'inondation :

Extrait 7, référence 9

Les commentaires de Lafond permettent de préciser plusieurs aspects de la causerie de Béique. La coïncidence de la couche d'humus et de la végétation forte n'est jamais l'effet du hasard. La couche d'humus assure la croissance des plantes alors que les racines de la végétation forte empêchent le lessivage de ladite couche d'humus. L'une conditionne la présence de l'autre. En situant la *ligne des hautes eaux* à la limite de la zone fertile en bordure d'un cours d'eau, on définit *a contrario* son lit comme étant la partie lessivée. C'est ainsi qu'il se forme en bordure de tout cours d'eau ou plan d'eau, en présence de végétation, un talus plus ou moins prononcé dont la paroi verticale, la berge, est formée de deux couches distinctes, la première étant constituée par l'épaisseur du sol arable, la deuxième par les racines des arbres et arbrisseaux. Selon Lafond, c'est à cet

Extrait 8, référence 9

endroit précis que se situe la *ligne des hautes eaux*. À notre avis, la cote exacte de la *ligne des hautes eaux* doit être établie entre la base des racines et le sommet de la couche de sol arable.

Extrait 9, référence 9

Sous certains aspects, sans préjuger des améliorations pouvant découler de l'analyse structurée des autres commentateurs, l'application de la méthode Béique garde encore tout son intérêt, même aujourd'hui. Sa méthode est surtout applicable pour les cours d'eau qui ne sont pas sujets à la marée, valant autant pour les lacs où la pente d'écoulement est nulle ou tend vers zéro. Il s'agit de déterminer, sur la rive, l'endroit spécifique et le niveau où la végétation forte paraît résister au lessivage et à l'érosion. Or à l'expérience, cette méthode donne des résultats très concordants.

Extrait 10, référence 9

## B 14 Sur les modifications anthropiques

Les deux extraits qui suivent, tirés de Beaulieu (réf. 9) traitent des perturbations que les rives peuvent subir. Le premier extrait présente le cas d'une rive qui a tous les aspects d'une rive naturelle mais qui est, en fait, le résultat d'une adaptation de la nature suite à un exhaussement important du plan d'eau. Le second extrait traite d'exceptions notoires, notamment celles qui concernent les cas où l'état ancien du lit est bien documenté. Ce point est important car la réponse du système hydrique du fleuve Saint-Laurent a été modifié lors de la mise en opération de la voie maritime du Saint-Laurent au début des années 1960'.

Tout emmagasinement ou détournement des eaux, ainsi que toute régularisation des débits entraîne nécessairement la modification des aires de végétation en bordure des rives, de sorte que même les plus naturelles en apparence sont susceptibles d'avoir subi des perturbations importantes. Donnons à titre d'exemple la reconstitution de la rive du lac Témiscouata à la suite de son exhaussement de cinq pieds en 1930. La photographie 1, qui fut prise le 5 octobre 2005 à proximité de la plage municipale de Notre-Dame-du-Lac, illustre la reconstitution d'une *ligne des hautes eaux* après soixante-et-quinze ans d'inondation continue. L'état des lieux présente pourtant tous les caractères d'une rive naturelle.



Reconstitution naturelle de la *ligne des hautes eaux* du lac Témiscouata près de la plage municipale de Notre-Dame-du-Lac.

Extrait 11, référence 9

Ce commentaire sur l'artificialisation des rives des cours et plans d'eau n'est pas qu'un simple exercice théorique, car ce caractère artificiel résulte de la colonisation, de l'industrialisation et de l'urbanisation du territoire. Sur le plan pratique, sauf circonstances exceptionnelles (telles qu'un empiètement illégal dans le lit d'un cours d'eau), il faut considérer généralement les problèmes de délimitation en tenant compte de toutes les modifications aux rives comme étant des phénomènes naturels lorsque l'état des lieux correspond à une situation permanente ou quasiment permanente<sup>33</sup>. En d'autres mots, cela revient à appliquer la théorie de l'alluvion « successive » et « imperceptible » énoncée aux articles 965 et 966 du *Code civil du Québec*<sup>34</sup>. Vouloir procéder autrement nécessiterait la reconstitution historique du régime hydrique du cours ou du plan d'eau; dans la majorité des cas, cela s'avérerait pratiquement impossible en raison du manque d'information sur l'état antérieur de ses rives et des droits délimités s'y étant appliqués. Au surplus, il serait utopique d'imaginer un retour aux conditions antérieures, car peu importe les modifications passées, la nature se réadapte toujours rapidement (en quelques décennies) à une nouvelle situation particulière. Toute modification à une rive aura tôt fait de laisser sa marque sur le terrain en reconstituant naturellement une nouvelle *ligne des hautes eaux* conforme à la nouvelle situation réelle. Les seules exceptions notoires concernent les cas où l'état ancien du lit est bien documenté et fait référence à un titre particulier ou à un acte relatant des démembrements de droits de propriété localisés par rapport à l'ancienne rive, ou encore, lorsque des travaux d'exhaussement du plan d'eau sont le résultat d'un acte de servitude.

Extrait 12, référence 9



## B 15 Document de réflexion sur la ligne des hautes eaux

En 1996, un document de réflexion sur la ligne des hautes eaux est produit par la Direction des politiques du secteur municipal du Ministère de l'Environnement et de la Faune (réf. 14). Dans ce document, on indique que la limite de récurrence de 2 ans, calculée sur la base des données hydrologiques des vingt dernières années, serait nettement assimilable à la ligne naturelle des hautes eaux au sens de la Politique (voir encadré ci-dessous). Toutefois, à la fin du document il est écrit qu'il y aurait « corrélation certaine entre la limite d'inondation de récurrence de 2 ans et la ligne naturelle des hautes eaux (Politique) ». Il ne s'agit plus ici du conditionnel mais d'une affirmation. On y mentionne également que la ligne est applicable dans tous les plans d'eau. L'adéquation entre le niveau de récurrence de 2 ans et la limite botanique trouverait donc son origine dans ce document qui est souvent proposée par le Gouvernement du Québec.

Tel que mentionné, l'encadré ci-dessous, tiré de la référence 14, indique qu'il y aurait corrélation certaine entre la limite d'inondation de récurrence de 2 ans et la ligne des hautes eaux (Politique), d'où une valeur écologique similaire. Selon nos recherches, l'étude dont on parle dans l'encadré jaune ci-dessous est fort probablement celle de Gilbert (réf. 15). La lecture de cette étude, les documents analysés et nos propres calculs ne supportent pas cette assertion. En fait, cette corrélation ne s'applique pas partout au Québec ni dans tous les plans d'eau. **CETTE ASSERTION EST FAUSSE!**

Lignes	Avantages	Inconvénients
La ligne naturelle des Hautes eaux (Politique)	L'implantation, la répartition et l'étagement des espèces végétales limitrophes reflètent bien les conditions d'inondation du milieu riverain.  La ligne fournit une excellente protection au plan écologique et elle est applicable à tous les plans d'eau.	- la définition actuelle est incomplète; - une expertise est nécessaire pour différencier les espèces végétales; - la période de l'année peut s'avérer un facteur limitant pour l'identification des espèces végétales; - dans un milieu plat ou à pente faible, la démarcation entre les plantes hydrophytes et terrestres peut s'avérer difficile à préciser.
La limite d'inondation de récurrence 2 ans	<b>Selon une étude de MEF, il y aurait une corrélation certaine entre la limite d'inondation de récurrence de 2 ans et la ligne naturelle des hautes eaux (Politique), d'où une valeur écologique similaire. La ligne est applicable dans tous les plans d'eau.</b>	Nécessite des calculs arithmétiques et statistiques importants. Pour les plans d'eau sans stations hydrométriques, on doit transposer les données d'un autre bassin versant en utilisant les formules régionales, mais dans ce cas, pour diminuer le risque d'erreur, il peut être nécessaire de réaliser une étude hydrologique sur le terrain.

Source : Réf. 14

La lecture des avantages et inconvénients propres aux deux lignes retenues par le comité permet de constater que la période de l'année peut s'avérer un facteur limitant pour l'identification des espèces végétales. Par ailleurs, la détermination de la cote d'inondation de récurrence de 2 ans doit être établie par calculs statistiques par un ingénieur hydraulicien compétent lorsque la série temporelle des données existe et qu'elle couvre une période jugée suffisante par ce spécialiste. Notons également que nos calculs ont démontré que les cotes de crues établies par le Gouvernement du Québec sont souvent inexactes (réf. 21, réf. 22 et réf. 49). Si les cotes alors établies étaient incorrectes alors comment peut-on affirmer qu'il existe une corrélation certaine entre la cote de crue de récurrence de 2 ans et celle établie par la méthode botanique experte puisqu'avec les cotes révisées cette corrélation ne tient plus. En effet si la cote retenue à l'époque était inexacte, alors la corrélation devient forcément inexacte à ce moment.

Par ailleurs, l'emploi de la méthode botanique ne permet pas d'assurer la répétabilité de la mesure car tous s'accordent sur le fait que « les espèces végétales s'adaptent assez rapidement à un changement du niveau d'eau » (encadré à la fin de la section B 10 ). Pour les sites où l'on dispose d'une longue série de mesures de niveau d'eau, l'approche hydrologique devrait être privilégiée car elle permet cette répétabilité. Également, plus la période de mesures est longue et homogène et plus la valeur du niveau d'eau de récurrence de 2 ans tend à se stabiliser. En d'autres termes, plus la série est longue et homogène et moins la valeur obtenue variera de sa valeur antérieurement établie.

Par contre, la méthode botanique est utile lorsqu'on dispose de peu de données hydrologiques, comme c'est souvent le cas au Québec pour les petits bassins non-jaugés en des lieux reculés, difficilement accessibles et non instrumentés.

Suite à ces remarques, pour le fleuve Saint-Laurent, sur lequel des stations limnimétriques sont implantées l'approche hydrologique doit être privilégiée. Cette approche est bien décrite dans l'annexe qui traite de l'hydrologie du fleuve Saint-Laurent. Notons que le comité (réf. 14) reconnaissait qu'on doit chercher à obtenir une série hydrologique la plus longue possible. C'est normal puisqu'en hydraulique, plus la série est longue et plus les résultats obtenus des analyses sont fiables, sous réserve que les données soient homogènes et de qualité.

Or on constate que pour la détermination de la LNHE, on propose que la période soit limitée à 20 ans. Cette période est proposée par Gilbert puisqu'elle observe des différences entre la cote associée à la période de retour de 2 ans et les peuplements botaniques selon la période considérée. Ceci indique que les résultats de l'analyse botanique peuvent donc varier selon le moment des mesures, la période retenue et la valeur de la cote de récurrence de 2 ans. On en déduit facilement que cette méthode peut ne pas donner des résultats reproductibles. Sachant que le climat s'avère être une succession de cycles secs et humides (voir annexe B du présent rapport), le fait de limiter la période d'analyse aux vingt dernières années peut avoir comme résultat de fixer la cote de la LNHE à une hauteur inappropriée, qui correspond à des conditions hydrologiques particulières. Qui plus est, des études réalisées en des sites différents mais rapprochés, à des périodes différentes, pourraient donner des résultats inconciliables pour un même plan d'eau.

## B 16 Synthèse et discussion

Les références consultées permettent de préciser certaines notions et de produire des définitions qui sont utilisées dans ce rapport. L'objectif de cet exercice est d'utiliser des termes qui respectent les définitions trouvées dans des références considérées fiables et qui ne sont pas ambigus.

### B 16.1 Le lit mineur

- a) Le lit mineur est la partie du lit occupée lors des étiages, c'est-à-dire lors des périodes de basses eaux (BAPE, réf. 5).

### B 16.2 Le lit majeur

- a) Le lit majeur représente l'étendue qu'occupe un cours d'eau lors des crues, ce qui inclut les zones inondables (BAPE, réf. 5).
- b) Sur le plan technique et hydraulique, la végétation riveraine aquatique ou semi-aquatique fait donc partie du lit majeur d'un cours d'eau et est régulièrement submergée. (BAPE, réf. 5).

### B 16.3 La colonisation du lit majeur par les plantes

- a) La végétation s'ajuste aux variations du niveau des eaux (Beaulieu, réf. 9) et une répartition progressive des plantes franchement aquatiques jusqu'aux plantes franchement terrestres y est observable. Sur les berges inclinées les diverses lignes de végétation sont rapprochées et facilement identifiables, puisque généralement très bien définies. (BAPE, réf. 5).
- b) En terrain plat la transition des plantes aquatiques aux plantes terrestres est plus étalée et la démarcation entre les divers groupements végétaux est moins nette. (BAPE, réf. 5).
- c) La ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) se situerait dans la zone de prairie humide. On note également qu'elle « est peut-être la zone la plus sensible aux changements de niveau du lac » (réf. 36).

### B 16.4 La ligne des hautes eaux (ordinaires sans débordement) (LHE)

- a) La ligne des hautes eaux naturelle sans débordement, telle qu'identifiée dans la référence 6 à la page 41, est synonyme de la ligne des hautes eaux ordinaires sans débordement (LHE dans le présent rapport) et s'avèrerait être la ligne des hautes eaux au sens défini par Beaulieu (réf. 9).
- b) En effet, ces lignes servent à la même fin, soit à délimiter le domaine qui est propriété de l'État de celui appartenant au particulier.
- c) Dans le cadre de ce rapport, on retient les acronymes LHE (ligne des hautes eaux) et LNHE (ligne naturelle des hautes eaux) pour respectivement différencier la ligne des hautes eaux servant à délimiter la propriété de celle définie dans le cadre de la Politique de protection des rives et du littoral.
- d) Que, selon les règles usuelles, la cote pour la ligne des hautes eaux doit être établie hors de la période de crue.
- e) En vertu des définitions du BAPE (réf. 5) la LHE serait la démarcation entre le lit mineur et le lit majeur d'un cours d'eau.
- f) La lignes des hautes eaux ordinaires sans débordement (LHE) est forcément à une élévation inférieure à la ligne naturelle des hautes eaux (LNHE) qui est définie dans le cadre de la Politique de protection des rives et du littoral en vertu de la référence 6 et des définitions du lit mineur et du lit majeur.

### B 16.5 La ligne des hautes eaux au sens de la Politique de protection des rives et du littoral (LNHE)

- a) La méthode considérée « officielle » pour établir la ligne des hautes eaux définies au sens de la Politique de protection des rives et du littoral (LNHE) est la méthode botanique experte selon le texte de la politique et selon Sarrazin (réf. 8).
- b) La cote de cette ligne est à une élévation supérieure à celle de la ligne des hautes eaux (LHE), réf. 6.
- c) La LNHE se situerait dans la zone de Prairie humide (CMI, réf. 36).
- d) Cette zone est sujette à une forte variabilité de sa flore selon que les mesures sont réalisées lors d'une période de forte ou faible hydraulité (CMI, réf. 36).
- e) Que l'utilisation de la cote de récurrence de 2 ans pour établir la LNHE ne devrait être utilisée que si l'on ne peut utiliser la méthode botanique (réf. 8).

## B 17 Liste des références

Plusieurs références sont citées dans les annexes. En voici la liste.

- [1] Éditeur officiel du Québec, 2012 « *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables* » Version du 1<sup>er</sup> novembre 2016 disponible sur la toile. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2035/>. 18 pages.
- [2] Éditeur officiel du Québec, 2012 « *Loi sur la qualité de l'environnement* » Version du 1<sup>er</sup> novembre 2016 disponible sur la toile. 150 pages. <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cs/Q-2.pdf>
- [3] MENV, 1990 « *Zones inondables – Fleuve Saint-Laurent. Calcul des niveaux de récurrences 2, 5, 10, 20, 50 et 100 ans. Tronçon : Varennes - Grondines.* » Ministère de l'environnement, Direction du domaine hydrique. Service hydrographie. Centre d'expertise hydrique du Québec. Rapport MH-90-05. Préparé par Denis Lapointe, géog. Septembre 1990. 44 p.
- [4] ROBVQ, 2014. « *Contexte légal de l'accès à l'eau au Québec – Aperçu* ». Regroupement des organismes de bassins versants du Québec. Pour le ministère des Richesses Naturelles. [http://www.agirpouurladiable.org/liens/Acces\\_eau\\_recherche\\_VF.pdf](http://www.agirpouurladiable.org/liens/Acces_eau_recherche_VF.pdf)
- [5] BAPE, 1994 « *Rapport d'enquête. Les hautes eaux de la côte de Beaupré : une réconciliation possible* » Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement. 128 p. Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 1994. ISBN 2-550-29358-4.
- [6] Environnement Québec, Goupil Jean-Yves « *Protection des rives, du littoral et des plaines inondables : guide des bonnes pratiques* » Rédaction, Jean-Yves Goupil ; réalisé par le Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral. Québec : Ministère de l'Environnement et de la Faune : distribué par les Publications du Québec. 1998. Nouvelle édition revue, corrigée et mise à jour en 2002. 174 p. ISBN 2-551-21460-2.
- [7] MDDELCC, 2015 « *Politique Protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Guide d'interprétation* ». Version révisée 2015 du document de la référence [6]. 165 pages. <http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/rives/guide-interpretationpprpi.pdf>
- [8] Sarrazin, Pascal, MDDEP, 2007 « *Les cours d'eau : Les définitions et les intervenants* » Présentation Powerpoint au Comité Multipartite sur la gestion des fumiers et de l'agriculture durable en Chaudière-Appalaches. Le 7 novembre 2007.

- [9] Beaulieu, Berthier, 2006 « *La genèse de la délimitation des domaines en milieu hydrique* » Mélanges offerts au professeur François Frenette. Études portant sur le droit patrimonial. Université Laval. Faculté de Droit. Presses de l'Université Laval. 2006. Pp 195 – 228.
- [10] Lord, Guy. « *Le droit québécois de l'eau* » Étude réalisée sous la direction de Me Guy Lord. Centre de recherche en droit public. Pour le ministère des Richesses Naturelles.
- [11] Bachand, P. 1992 « *Jugement no 455-001195-907* ». Le Procureur Général du Québec contre les Entreprises M.G. de Guy Ltée. 24 janvier 1992. 16 p (la page 4 est manquante).
- [12] USACE, 1987 « *Corps of Engineers. Wetland Delineation Manual* » U.S. Army Corps of Engineers, Wetland Research Program, Technical Report Y-87-1. Vicksburg, MS. 143 p.
- [13] The Swamp School, 2009 « *Wetland Plants of the Northeast (Region 1) CT, DE, KY, MA, MD, ME, NH, NJ, NY, OH, PA, RI, VA VT, WV* » Prepared by : The Swamp School, Raleigh, North Carolina. SwampScool.org.
- [14] Environnement et Faune Québec, 1996 « *Document de réflexion sur la ligne des hautes eaux* » Direction des politiques du secteur municipal. Service de l'aménagement et de la protection des rives et du littoral. Les limites botaniques du rivage et du littoral de la rivière. Par Jean-Yves Goupil, Février 1996. 49 pages.
- [15] Gilbert, Hélène, 1995 « *Corrélation entre la cote de récurrence des inondations de deux ans et la limite botanique.* » Document réalisé par le Groupe Dryade Ltée et Hélène Gilbert éco-service pour le ministère de l'environnement et de la Faune. 1995. 56 pages + 4 annexes.
- [16] Gilbert, Hélène, 1996 « *Les limites botaniques du rivage et du littoral de la rivière Richelieu à Saint-Jean-sur-Richelieu.* » Rapport soumis par Hélène Gilbert éco-service à la Direction des politiques du secteur municipal, ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et à Daniel Arbour et associés inc urbanistes-conseils. Mai 1996, #ES 003 17 pages.
- [17] Messier, Frédéric 2007 « *Détermination de la ligne des hautes eaux dans le cadre de l'application de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Le cas des petits cours d'eau non instrumentés* » Thèse de maîtrise. Avril 2007.  
<http://archimede.bibl.ulaval.ca/archimede/fichiers/24416/24416.html>
- [18] Girard, Jean-François 1999 « *La gestion de l'eau au Québec. Aspects juridiques et institutionnels* ». Mémoire du Centre québécois du droit de l'environnement. Document présenté devant le bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) dans le cadre des audiences sur la gestion de l'eau. Novembre 1999. 56 pages + 4 annexes.

- [19] Dubé et al. 2005      « *Révision des cotes de crues. Rivière des Mille Îles. Villes de Boisbriand, de Bois-des-Filion, de Deux-Montagnes, de Laval, de Lorraine, de Rosemère, de Saint-Eustache et de Terrebonne.* ». Rapport CEHQ 13-001. Centre d'expertise hydrique du Québec. Direction de l'expertise hydrique et de la gestion des barrages publics. Avril 2005. 113 pages.
- [20] Bouchard, Lucie, 2009      « *Modèles d'application des prescriptions de la Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables par les municipalités du Québec.* ». Mémoire de maîtrise. Université de Sherbrooke, Janvier 2009. 94 pages.
- [21] Dupuis, Pierre et Michel Leclerc, 2014      « *Révision des cotes de crues, Ville de Laval* ». Rapport 141-16788-00 de WSP Canada Inc. à Ville de Laval. 108 pp. + 1 volume d'annexes.
- [22] Favre, Catherine et al.      « *Analyse statistique et expertise hydrologique liées aux écoulements autour de l'Archipel de Montréal.* ». Rapport final transmis à la ville de Laval le 30 mai 2010. Ville de Laval. 109 pp. 4 annexes.
- [23] Fortin, Vincent, 2011.      « *Révision de la relation niveau-débit pour la rivière des Mille Îles et quelques précisions sur l'analyse fréquentielle bivariée* ». Note technique du 16 août 2011 transmise à la ville de Laval. 10 pages.
- [24] IUGL, 2012      « *International Upper Great Lakes Study. Lake Superior Regulation : Addressing Uncertainty in Upper Great Lakes Water Levels.* » Final report to the International Joint Commission. March 2012. 236 p. ISBN-pdf 978010100-20324-9  
<http://ijc.org/iuglsreport/>
- [25] IUGL, 2011      « *International Upper Great Lakes Study. Stochastic Hydrology of the Great Lakes – A Systemic Analysis* » The Hydroclimate Working Group. Revised report of December 2011. 280 pages.  
[http://www.iugls.org/files/tinymce/uploaded/PeerReview\\_pdfs/Stochastic%20Hydrology%20of%20the%20Great%20Lakes%20-%20Final.pdf](http://www.iugls.org/files/tinymce/uploaded/PeerReview_pdfs/Stochastic%20Hydrology%20of%20the%20Great%20Lakes%20-%20Final.pdf)
- [26] Champoux, Olivier et Jean Morin, 2002      « *Application of hydrodynamic, waves and transport-diffusion models in the St. Lawrence River.* » Environnement Canada. Meteorological Service of Canada. Québec, Canada. 4 pages.
- [27] Morin, Jean et André Bouchard      « *Les bases de la modélisation du Tronçon Montréal/Trois-Rivières.* » Environnement Canada. Rapport Scientifique RS-100. Mars 2001. 65 pages.

- [28] Morin, Jean et al, 2005 « *Modélisation intégrée de la réponse l'écosystème dans le fleuve Saint-Laurent : Rapport final des activités entreprises dans le cadre du Plan d'étude sur la régularisation du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent.* » Environnement Canada. Rapport Scientifique RS-100. Avril 2005. 157 pages.
- [29] Plan Saint-Laurent « *Suivi de l'état du Saint-Laurent. Évolution des niveaux et débits du fleuve Saint-Laurent.* » Fiche technique. 8 pages. Téléchargée fin 2016.  
  
[http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches\\_indicateurs/Fiche-debits\\_niveaux\\_eau\\_F\\_final.pdf](http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/Fiche-debits_niveaux_eau_F_final.pdf)
- [30] INRS-Eau, Leclerc Michel, 1992 *Modélisation hydrodynamique des écoulements en eau libre du tronçon Tracy - lac Saint-Pierre*  
  
INRS-Eau - No RS-317a. 189 pages.
- [31] Morin et al, 2003 « *Emergence of New Explanatory Variables for 2D Habit Modelling in Large Rivers : The St.Lawrence Experience.* » Canadian Water Resources Journal. Vol. 28, No 2. 24 pages. 2003.  
  
[http://www.academia.edu/27418129/Impacts\\_of\\_the\\_hydrological\\_regime\\_on\\_St.\\_Lawrence\\_River\\_fish\\_communities\\_and\\_their\\_habitats](http://www.academia.edu/27418129/Impacts_of_the_hydrological_regime_on_St._Lawrence_River_fish_communities_and_their_habitats)
- [32] Morse et al, 1999 « *River ice processes in tidal rivers :Research needs* »  
  
[http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/10th\\_Workshop/Morse\\_et\\_al\\_1999.pdf](http://cripe.civil.ualberta.ca/Downloads/10th_Workshop/Morse_et_al_1999.pdf)
- [33] Statistique Canada « *La tempête de verglas de 1998 dans la vallée du Saint-Laurent. Cartes et faits* » Statistique Canada. No catalogue 16F0021XIB.  
  
<http://www.statcan.gc.ca/pub/16f0021x/4194604-eng.pdf>
- [34] Environnement Canada, 2016 « *Le fleuve Saint-Laurent – un danger hivernal* »  
  
<https://ec.gc.ca/eau-water/default.asp?lang=Fr&n=C0122DA3-1#Section3>
- [35] CMI, 1981 « *Régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain.* Rapport de la Commission Mixte Internationale aux Gouvernements du Canada et des États-Unis. 37 pages.
- [36] CMI, 1977 « *Régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain.* Rapport présenté à la Commission Mixte Internationale par le bureau international Champlain-Richelieu. 83 pages.
- [37] CMI, 1978 « *Régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain.* Rapport supplémentaire présenté à la Commission Mixte Internationale par le bureau international Champlain-Richelieu. Août 1978. 73 pages.

- [38] CMI, 1975      « *Rapport provisoire sur régularisation de la rivières Richelieu et du lac Champlain* ». Commission Mixte Internationale. Mars 1975. 25 pages.
- [39] CMI, 1974      « *Étude Richelieu – Lac Champlain. Sommaire des résultats.* » Commission Mixte Internationale. Octobre 1974. 19 pages.
- [40] CMI, 1974      « *Régularisation du lac Champlain.* » Rapport présenté à la Commission Mixte Internationale par le bureau international Champlain-Richelieu. Septembre 1974. 70 pages.
- [41] IJC, 1937      « *Richelieu River Remedial Works.* » International Joint Commission. Ottawa-Washington. 1937. 88 pages.
- [42] IJC, 2013      « *Un plan de gestion adaptative face aux niveaux d'eau extrêmes* » Commission Mixte Internationale. Équipe de travail internationale sur la gestion adaptative des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent. Mai 2013, 95 p.  
  
[http://www.ijc.org/files/tiny\\_mce/uploaded/Publications/FR%20-%20GLSLR%20Adaptive%20Management%20Plan%20-%20Final%20Report%202013.pdf](http://www.ijc.org/files/tiny_mce/uploaded/Publications/FR%20-%20GLSLR%20Adaptive%20Management%20Plan%20-%20Final%20Report%202013.pdf)
- [43] MDDELCC, 2015      « *Summary Profile of the Rivière des Outaouais Watershed* » Ministère du développement durable de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. Direction générale des politiques de l'eau. 2015, 57 p.  
  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/outaouais/portrait-sommaire-en.pdf>
- [44] IJC, 2016      « *Regulation Plan 2014 for the Lake Ontario and the St. Lawrence River* » Compendium Document. International Joint Commission. December 2016. 37 p.
- [45] Gouvernement du Canada. 2017      « *Loi du traité des eaux limitrophes internationales. LRC (1985) ch I-17. À jour au 31 janvier 2017.* » Ministre de la Justice du Canada. 2017, 42 pages.
- [46] Werick, 2010      « *Planning the regulation of Lake Superior* » 27th Annual Captains Committee Meeting. Cleveland, OH. January 28, 2010. Powerpoint Presentation. 16 slides.
- [47] USACE, 1991      « *Lake Ontario Regulation* » USACE Detroit. Update Letter No. 75. October First 1991. 6 pages.
- [48] USACE, 1993      « *The Regulation of the Outflow from Lake Superior* » USACE Detroit. Update Letter No. 101. December First, 1993. 7 pages.



- [49] Dupuis, 2015 « *The Lake Champlain Haut-Richelieu water system; Adaptation to climate and anthropogenic changes* ». WSP Canada inc., 22nd Canadian Hydrotechnical Conference, Montreal, May 2015. Canadian Society of Civil Engineers. 10 pages.
- [50] Dupuis, 2016 « *Méthode pour la projection des cotes de crues en rive* » WSP Canada inc. Rapport technique 161-14563-00 produit pour la Communauté Métropolitaine de Montréal. 2015, 65 pages.  
<http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/eau/bassinversant/bassins/outaouais/portrait-sommaire-en.pdf>
- [51] State of Vermont, 1972 « *Rules determining mean water levels* » Vermont Water Resources Board. November 15, 1972. 1 page.
- [52] CEHQ, 2005 « *Révision des cotes de crues. Rivière des Mille Îles. Villes de Boisbriand, de Bois-des-Filion, de Deux-Montagnes, de Laval, de Lorraine, de Rosemère, de Saint-Eustache et de Terrebonne* » Centre d'expertise hydrique du Québec. Direction de l'expertise hydrique et de la gestion des barrages. Rapport 13-001. Avril 2005, 103 pages.
- [53] Environnement Illimité Inc., 2008 « *Hydrologie de la rivière des Mille Îles – Relevés en période de crue de printemps dans la région de l'archipel de Montréal.* » Rapport de mission #1814. (Juillet). 55 pp + annexes.
- [54] Cantin, 2000 « *Reassessment of stage-discharge relationship between Lac des Deux-Montagnes and Lac Saint-Louis* ». Environment Canada. Meteorological Service of Canada. Hydrology Section. Report RT-102b. ISBN 0-662-29445-9. Minister of Goods and Services Canada. 2000. 13 p.
- [55] Aquap Praxis, 2007 « *Hydrologie de la rivière des Mille Îles. Étude des crues* ». Pour Ville de Laval. Rapport 10107-00. 111 p.
- [56] Ouranos, 2015 « *Vers l'adaptation. Synthèse des connaissances sur les changements climatiques au Québec. Partie 1. Évolution climatique au Québec* » Édition 2015. Montréal, Québec : Ouranos. 114 p.
- [57] Voie Maritime, 2003 « *La section Montréal-Lac Ontario de la voie maritime* » Service de l'information. Corporation de Gestion de la Voie Maritime du Saint-Laurent. Cornwall (Ont). Mars 2003. 12 pages.  
<http://www.grandslacs-voiemaritime.com>
- [58] MDDELCC, 2015 « *Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables. Note explicative sur la ligne des hautes eaux : la méthode botanique experte* » Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. 9 pages + annexes. ISBN 978-2-550-53655-0 (PDF).



# ANNEXE

## C HYDROLOGIE DU BASSIN DES GRANDS LACS





# ANNEXE C

## Hydrologie du bassin des Grands Lacs

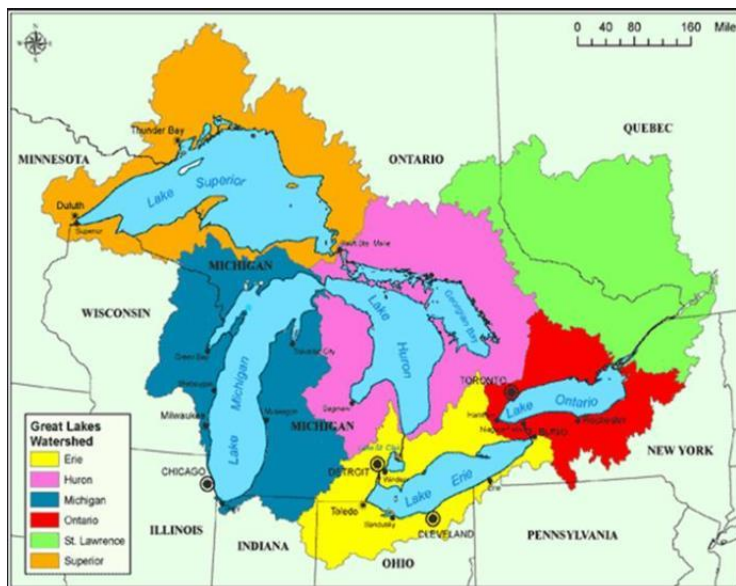
### TABLE DES MATIÈRES

<b>C 1</b>	<b>LE BASSIN DES GRANDS LACS ET DU FLEUVE SAINT-LAURENT EN AMONT DE TROIS-RIVIÈRES.....</b>	<b>3</b>
<b>C 2</b>	<b>LA COMMISSION MIXTE INTERNATIONALE (CMI) .....</b>	<b>4</b>
<b>C 3</b>	<b>PROFIL EN LONG DU SYSTÈME HYDRIQUE DES GRANDS LACS ET OUVRAGES DE CONTRÔLE .....</b>	<b>5</b>
<b>C 4</b>	<b>LA VOIE MARITIME DU SAINT-LAURENT .....</b>	<b>7</b>
<b>C 5</b>	<b>LES OUVRAGES RÉGULATEURS DANS LE BASSIN DES GRANDS LACS..</b>	<b>7</b>
C 5.1	EXUTOIRE DU LAC SUPÉRIEUR.....	8
C 5.2	EXUTOIRE DU LAC ÉRIÉ.....	12
C 5.3	EXUTOIRE DU LAC ONTARIO.....	13
C 5.4	NOUVEAU PLAN DE GESTION 2014.....	20
<b>C 6</b>	<b>EMMAGASINEMENT POUR CHACUN DES GRANDS LACS.....</b>	<b>24</b>
<b>C 7</b>	<b>VARIATION DES STOCKS EN EAU DU BASSIN DES GRANDS LACS.....</b>	<b>25</b>
<b>C 8</b>	<b>INFLUENCE DES SOUS-BASSINS DU FLEUVE SAINT-LAURENT.....</b>	<b>30</b>



## C 1 Le bassin des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent en amont de Trois-Rivières

C'est l'important débit provenant du bassin des Grands Lacs, additionné à celui de la rivière des Outaouais et de la rivière Richelieu, qui détermine en grande partie le niveau d'eau qu'atteint le lac Saint-Pierre. Des fluctuations s'ajoutent, provoquées par les apports additionnels des rivières l'Assomption sur la rive nord et des rivières Saint-François et Yamaska sur la rive sud. En aval du lac Saint-Pierre, la fluctuation des débits issus du Saint-Maurice influence la courbe de remous de l'écoulement vers amont et donc le niveau d'eau du lac Saint-Pierre. Une revue sommaire de l'hydrologie du bassin des Grands Lacs permet de mieux comprendre la dynamique influençant la variation du niveau d'eau du lac Saint-Pierre. Une revue historique des changements apportés au système et pour établir quelle est la période durant laquelle on peut considérer les mesures de niveaux d'eau et de débits comme étant homogènes et stationnaires. Cette revue s'avère d'autant plus requise que le système hydrique du fleuve Saint-Laurent a été modifié de façon significative au fil du temps. L'empreinte des bassins de chacun des Grands Lacs est présentée à la Figure 1-1. Des facteurs naturels tels que les précipitations, l'évaporation et le ruissellement influent sur la variation des niveaux d'eau des cinq Grands Lacs. À ces facteurs naturels s'ajoutent une gestion anthropique des débits en trois sites qui sont sous la supervision d'un organisme formé de représentants du Canada et des États-Unis, la Commission Mixte Internationale.

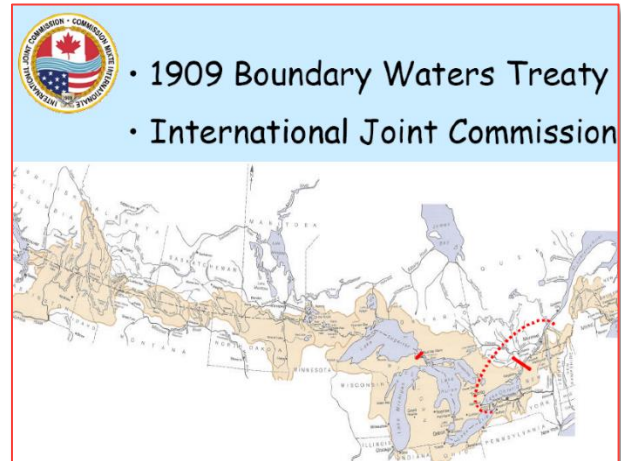


**Figure 1-1** Délimitation des sous-bassins des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent en amont de Montréal

## C 2 La Commission mixte internationale (CMI)

En 1903 voit naître l'« International Waterways Commission » qui avait pour mandat d'établir les principes directeurs de gestion et éventuellement résoudre les problèmes relatifs aux eaux frontalières entre les États-Unis et le Canada.

Ceci a mené au « Boundary Water Treaty » de 1909 entre les États-Unis et la Grande-Bretagne, qui a créé la Commission Mixte Internationale (CMI) ou International Joint Committee (IJC)<sup>1</sup>. C'est cette commission qui a la responsabilité de gérer la régularisation des eaux des Grands Lacs.



**Figure 2-1 Régions sous la juridiction de la Commission Mixte Internationale (CMI)**

Au Canada, la loi du traité des eaux limitrophes internationales (Réf. 45) confirme le traité relatif aux eaux limitrophes du 11 janvier 1909<sup>2</sup> et présente les aspects légaux propres au Canada. Le texte du traité de 1909 est présenté à l'annexe 1 de cette loi.

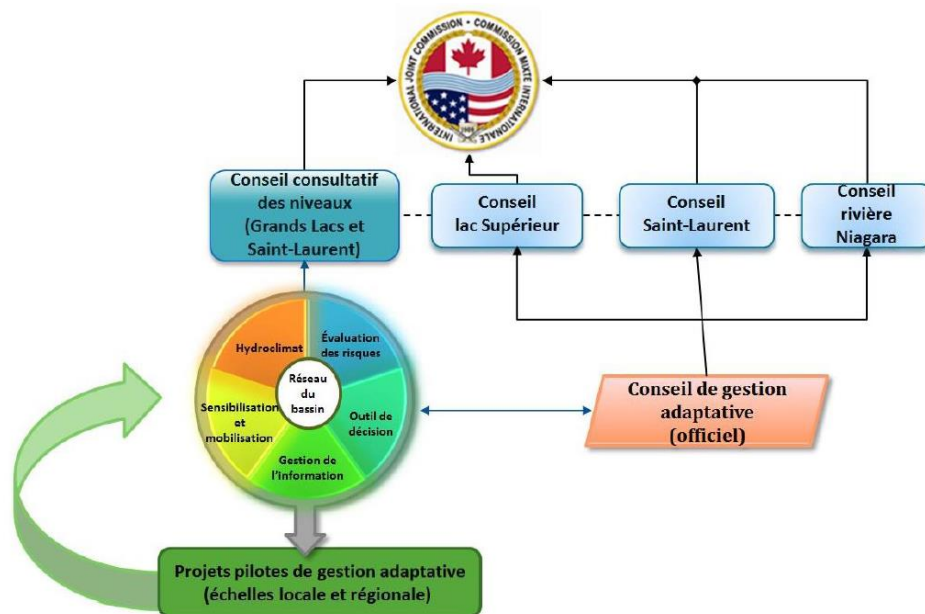
Le traité stipulait que la navigation doit se poursuivre perpétuellement et librement pour le bénéfice du commerce et que les lois relatives à la navigation de chaque pays s'appliquaient aux navires et citoyens. Dans le bassin des Grands Lacs, trois ouvrages régulateurs permettent d'exercer un certain contrôle sur les niveaux d'eau, créant des conditions propices à la navigation. Ce sont les ouvrages situés sur la rivière St-Marys à la sortie du lac Supérieur, ceux situés sur la rivière Niagara à la sortie du lac Érié et finalement ceux sur le fleuve Saint-Laurent à la sortie du lac Ontario à Cornwall (Barrages Iroquois et Moses-Saunders). La commission mixte a établi trois conseils (« boards »), chacun affecté à l'un de ces ouvrages, pour contrôler les niveaux des Grands Lacs et les débits qui en sortent. La structure opérationnelle est présentée à la Figure 2-2. Elle a également créé une équipe de travail sur les Grands Lacs et le Fleuve Saint-Laurent.<sup>3</sup> La CMI prône l'implantation d'un projet de gestion adaptative (PGA) dont le premier volet est la surveillance et l'évaluation permanente des plans de régularisation et le second d'améliorer les interventions face aux niveaux d'eau extrêmes (réf. 42).

1 <http://www.ijc.org/rel/agree/fwater.html>

2 <http://laws-lois.justice.gc.ca/PDF/I-17.pdf>

3 [http://www.ijc.org/fr/\\_/Great\\_Lakes\\_Water\\_Quantity](http://www.ijc.org/fr/_/Great_Lakes_Water_Quantity)

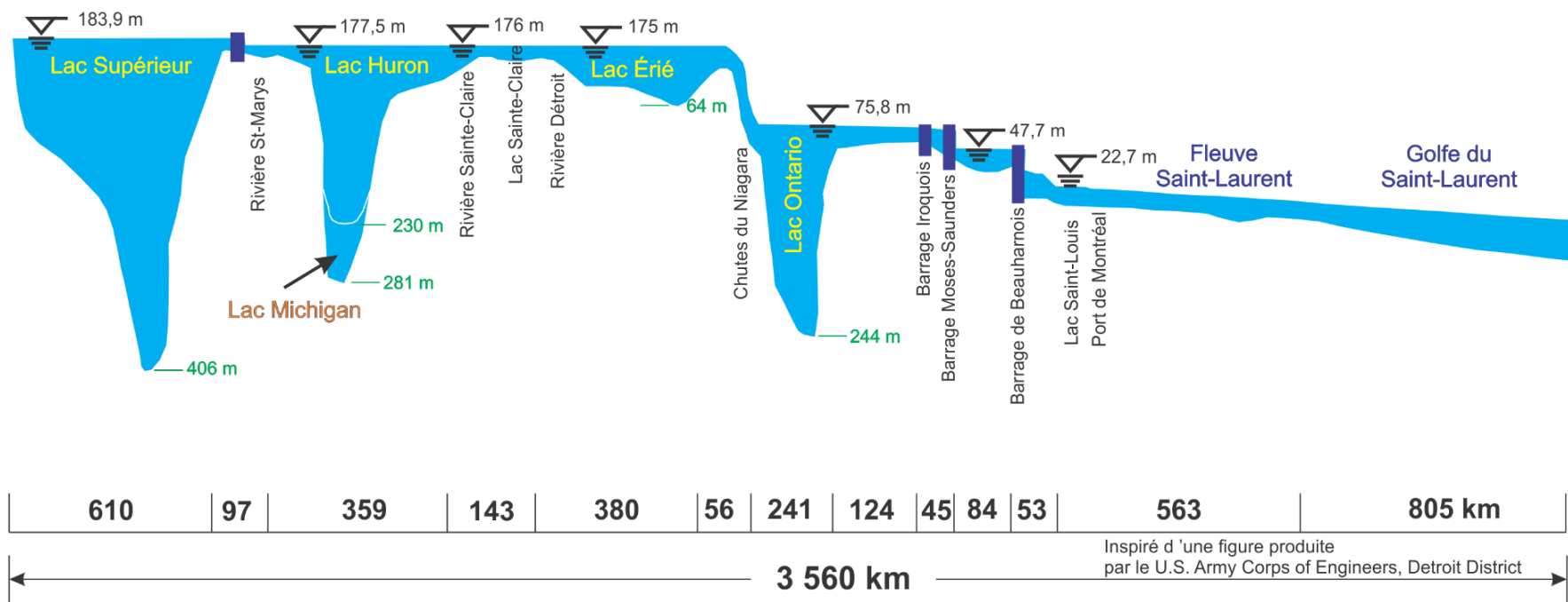




**Figure 2-2 Organigramme présentant les conseils de la Commission Mixte Internationale**

### C 3 Profil en long du système hydrique des Grands Lacs et ouvrages de contrôle

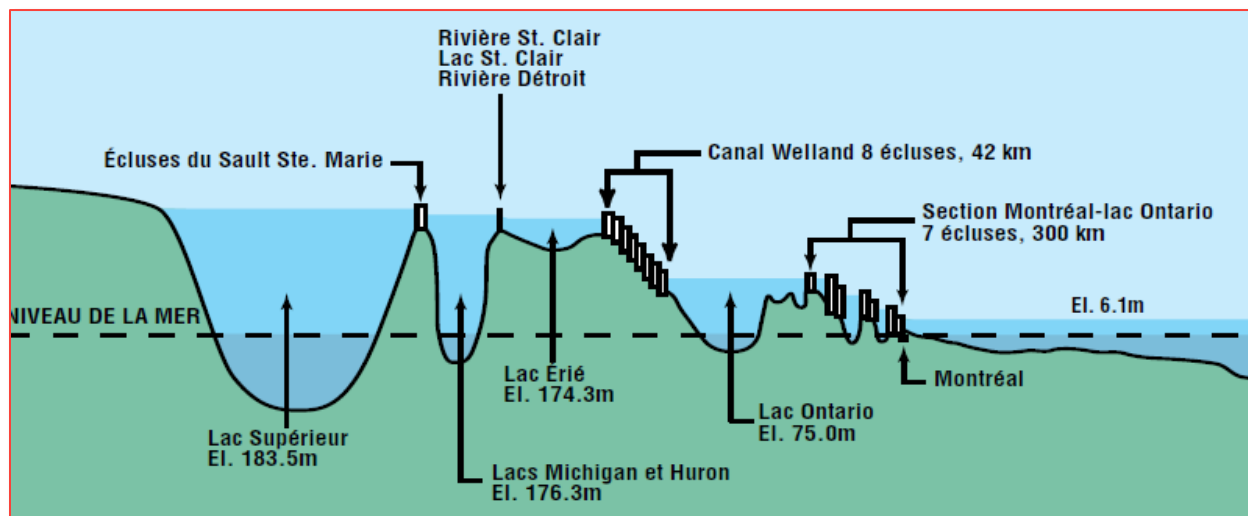
Le découpage du bassin des Grands Lacs est présenté à la , ce qui facilite la localisation des points de jonction entre les différents lacs. Le lecteur est prié de s’y référer pour localiser les ouvrages de contrôle qui sont identifiés à la Figure 4-1 et dont on parle plus abondamment à la section C 5 . Le profil en long de la ligne d’eau est présenté à la Figure 3-1. La cote du niveau d’eau maximum atteint de chaque Grand Lac y est identifiée, de même que leur profondeur maximum et la localisation des ouvrages des principaux biefs et ouvrages de contrôles L’ouvrage régulateur de St. Marys (Figure 4-1) permet de gérer le débit sortant du lac Supérieur. Celui se déverse dans les lacs Huron et Michigan, qui forment un même plan d’eau. La différence de niveau d’eau est faible entre les lacs Huron et Érié. Ce dernier est de faible profondeur et sujet au phénomène de seiche, phénomène qui influe appréciablement sur le niveau d’eau mesuré aux extrémités de ce lac. La différence de niveau d’eau entre le lac Érié et le lac Ontario est significative et atteint pratiquement les 100 m. Le débit est en partie régularisé par un ouvrage régulateur qui est localisé sur le fleuve Niagara en amont des renommées chutes du même nom (section C 5.3 ). Le niveau d’eau du lac Ontario est géré avec les ouvrages Iroquois et Moses-Saunders, séparant les lacs St. Lawrence en amont du lac Saint-François en aval. Le débit du fleuve Saint-Laurent emprunte le canal de Beauharnois et le chenal Les Cèdres pour atteindre le lac Saint-Louis, au sud de Montréal. Les rapides de Lachine séparent ce lac du port de Montréal. Le fleuve suit ensuite son cours de Montréal jusqu’à l’océan Atlantique.



**Figure 3-1 Profil en long du réseau hydrographique des Grands Lacs**

## C 4 La voie maritime du Saint-Laurent

Une brochure de 12 pages, produite en 2003 par le service de l'information de la Corporation de Gestion de la Voie Maritime du Saint-Laurent, présente une excellente revue historique des événements qui ont mené à l'ouverture de la voie maritime du Saint-Laurent en avril 1959 (réf. 57). Les écluses qui permettent aux navires de pénétrer au cœur du continent nord-américain sont indiquées sur la Figure 4-1. Un aspect important qui est lié aux opérations de la voie Maritime est l'obligation de gérer le système hydrique des Grands Lacs de façon à garantir, autant que faire se peut, un tirant d'eau minimum pour la navigation commerciale. Cette contrainte influence grandement la gestion des volumes en eau du système.



Source : Réf. 57

**Figure 4-1 Localisation des écluses le long de la voie maritime du Saint-Laurent**

## C 5 Les ouvrages régulateurs dans le bassin des Grands Lacs

Les modifications au système hydrique des Grands Lacs ne datent pas d'hier (réf. 57). Les ouvrages sur la rivière St-Marys situés à l'exutoire du lac Supérieur, ceux situés sur la rivière Niagara à la sortie du lac Érié et ceux situés sur le fleuve Saint-Laurent à la sortie du lac Ontario à Cornwall (Barrage Moses-Saunders) permettent une certaine gestion des débits et des niveaux des Grands Lacs. Il faut savoir que le début des modifications apportées au système naturel d'écoulement date de la fin du 18<sup>e</sup> siècle. Le système hydrographique des Grands Lacs est donc un système influencé et les conditions observées dans le tronçon Montréal/Trois-Rivières sont le résultat de cette gestion.

La construction d'ouvrages a provoqué soit des restrictions à l'écoulement soit une augmentation de la débitance dans les rivières ou chenaux reliant les Grands Lacs. Ceci signifie que le système hydrique est actuellement partiellement régularisé et qu'alors il est plus difficile d'analyser statistiquement les variations de niveau d'eau d'un Grand Lac en particulier. En effet la variation du niveau d'eau d'un

Grand Lac est une combinaison de la variabilité des apports en eau et des effets produits par l'application de règles de gestion. Il est donc important de connaître l'historique de ces modifications, afin de bien identifier les impacts sur les débits quittant le bassin des Grands Lacs.

Une revue des principales modifications apportées au réseau hydrique des Grands Lacs est présentée aux sous-sections qui suivent. De l'information a été tirée de certaines « Update Letters, Great Lakes Levels » émises par le U.S. Army Corps of Engineers, North Central Division.

## C 5.1 Exutoire du lac Supérieur<sup>4</sup>

Les ouvrages sont situés sur la rivière St. Marys, qui relie le lac Supérieur au lac Huron (Figure 5-1). La configuration actuelle est présentée à la Figure 5-2. Le régime naturel a commencé à être perturbé aussitôt qu'en 1797 alors que la compagnie du Nord-Ouest a construit une écluse de 38 pieds de long dans l'un des chenaux des rapides situés en territoire canadien. La construction en 1887 du International Railroad Bridge a été le premier ouvrage à modifier l'écoulement entre le lac Supérieur et le Lac Huron de façon significative. Les piliers ont été construits en rivière dans une constriction, diminuant alors la capacité d'évacuation de la rivière. Pour corriger la situation, une structure de compensation a été mise en service en 1921. Cette structure est constituée de 16 vannes verticales, 8 contrôlées par les USA et 8 par le Canada. Elles permettent de contrôler le débit sortant du lac Supérieur qui coule vers le lac Huron. En 1985, pour répondre à des exigences environnementales, des travaux (« Fishery remedial works ») ont été entrepris en aval de la vanne 1 (côté canadien) pour améliorer l'écoulement dans la zone des rapides.

Les règles d'opération ont été changées à plusieurs reprises pour tenir compte des modifications physiques imposées au système et pour refléter les changements de philosophie concernant la régularisation. Ainsi sept ensembles de règles ou plans ont été retenus pour la régularisation. Jusqu'en 1973, les règles d'opération ne considéraient que le lac Supérieur et la rivière St. Marys. En 1973, des niveaux très hauts ont contraint l'implantation du plan SO-901 qui incorpore le concept d'un balancement des quantités d'eau entre le lac Supérieur et les Grands Lacs Michigan et Huron (ces derniers sont en fait considérés comme un seul plan d'eau car étant à la même élévation). Cette philosophie de considérer le système dans son ensemble a produit le plan 1977 qui a été mis en œuvre en 1979. Ce plan a été révisé en 1990 et est dénommé plan 1977-A.

---

4 Référence 48



**Figure 5-1 Localisation des ouvrages de régularisation à l'exutoire du Lac Supérieur. Rivière Ste. Marys**



**Figure 5-2 Configuration actuelle des ouvrages à la sortie du lac Supérieur**

On doit noter que la CMI peut, en période de niveaux extrêmes, déroger aux règles pour minimiser les inconvénients envisagés. Les règles actuelles peuvent être traduites comme suit (traduction libre):

« ... maintenir le niveau moyen mensuel du lac Supérieur à l'intérieur des limites définies par la limite supérieure de 603.22 pied (IGLD 85) avec une probabilité de dépassement qui ne soit pas supérieure à celle qui serait vécue avec le plan de régulation de 1955; et ... maintenir les niveaux des lacs Supérieurs et Michigan-Huron à leur même position relative par rapport à leur position telle qu'enregistrées par rapport à leur moyenne mensuelle, ... de façon à ne pas nuire à la navigation. » Pratiquement, on doit respecter les règles suivantes :

- Le niveau du lac Supérieur doit être maintenu entre 603.2 pi et 599.6 pi (IGLD85), soit 183,86 m et 182,76 m, lorsque des simulations sont réalisées avec la série d'apports 1900-1976;
- Maintenir les niveaux d'eau à l'aval des écluses au niveau 583.8 pi IGLD85 (177,94 m) ou moins lorsque les conditions d'écoulement sont supérieures à celles qui auraient prévalu sous ces conditions de débit durant la période précédant l'année 1887;
- Lorsque le lac Supérieur est à un niveau inférieur à 601.7 pi IGLD85 (183,4 m), maintenir l'écoulement à une valeur qui n'excède pas celle qui aurait prévalu sous les conditions existant durant la période précédant 1887.

Le plan 1977-A considère les limites physiques d'évacuation du système et la capacité des lacs Michigan et Huron d'agir comme tampon. Ainsi,

- Le débit maximum pouvant être évacué par les 16 vannes de l'ouvrage de compensation, augmenté d'un débit de 82 000 cfs (2321 m<sup>3</sup>/s) pouvant être évacué par les autres ouvrages;
- En hiver, soit de décembre à Avril, le débit maximum autorisé est de 85 000 cfs (2407 m<sup>3</sup>/s) ;
- Le débit minimum d'évacuation est fixé à 55 000 cfs (1557 m<sup>3</sup>/s) en tout temps;
- La variation du débit, de mois en mois, ne peut dépasser 30 000 cfs (850 m<sup>3</sup>/s).

L'objectif principal visé par le plan 1977-A est d'obtenir une relation d'équilibre entre les volumes stockés dans le lac Supérieur et les lacs Michigan-Huron. À titre d'exemple, si, au début du mois, le niveau d'eau dans le lac Supérieur est proportionnellement plus grand que celui des lacs Michigan-Huron, alors on augmente le débit à l'exutoire du lac Supérieur. Ce plan utilise des outils de prévision (sur cinq mois) pour lisser la transition de mois en mois. L'historique des règles est affiché au Tableau 5-1. Le partage des volumes entre les Grands Lacs a donc été modifié à la fin des années 1970<sup>5</sup>. Selon Werick<sup>5</sup> (Réf. 46), la régularisation du lac Supérieur a un effet limité sur les niveaux d'eau.

Le plan de gestion actuel vise à obtenir un équilibre entre les conditions observées au lac Supérieur et celles du plan d'eau formé par les lacs Huron et Michigan. Il ressort que la régularisation:

---

5 <http://www.lcaships.com/wp-content/uploads/2013/03/2010-0128-WERICK.pdf>

- Affecte grandement les débits passant dans la rivière St-Marys ;
- Peut modifier significativement le niveau d'eau du lac Supérieur ;
- Ne modifie que légèrement les niveaux du plan d'eau Michigan-Huron ;
- N'a pas d'effet significatif sur les niveaux du lac Érié ;
- N'a pas d'effet discernable sur les niveaux du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent ;

Les critères suivis pour la gestion sont :

- Que le niveau du lac Supérieur varie entre 182,76 m (IGLD 85) et 183,86 m ;
- Que le niveau d'eau à la station de mesure US Slip ne doit pas excéder la cote 177,94 m si le débit dépasse celui qui serait survenu en conditions préexistantes ;

Que le débit maximum accepté s'avère celui qui serait survenu en conditions préexistantes si le niveau du lac Saint Supérieur est inférieur à la cote 183,4 m.

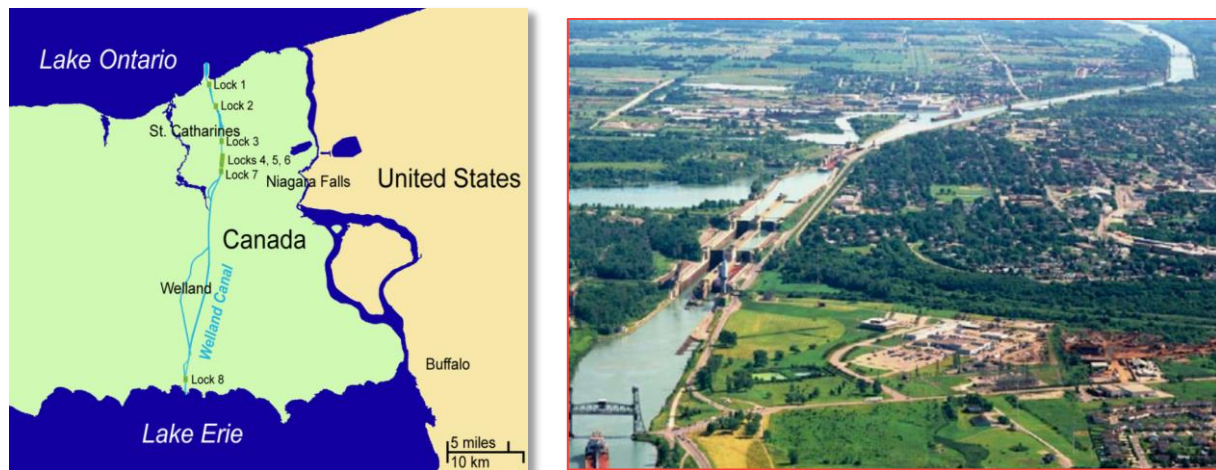
**Tableau 5-1 Historique des règles de gestion des débits sortant du lac Supérieur**

Name	Period of Operation	Description
Sabin Rule	1916-1941	Used a rule curve and monthly mean level of Lake Superior to determine the outflow. Minimum flow of 51,000 cfs, maximum of 126,000 cfs. Ensured about 48,000 cfs primary water for power. Not closely adhered to. Allowed a minimum of zero gates open.
Rule P-5	1941-1951	New rule curve, to increase flow allotted for power. Minimum flow of 54,000 cfs in winter, 57,000 cfs for the rest of the year. Maximum outflow 125,000 cfs. Followed closely.
Rule of 1949	1951-1955	Followed principles established in Rule P-5. Recognized increased supplies from Long Lac/ Ogoki diversions. Summer minimum flow 58,000 cfs, maximum 130,000 cfs. Winter minimum 55,000 cfs, maximum 85,000 cfs.
1955 Modified Rule of 1949	1955-1979	Same as Rule of 1949 with addition of minimum setting of 1/2 gate open.
Plan SO-901	1973-1979	First plan to incorporate the concept of systemic regulation. Used as a guide to deal with high water levels on the Great Lakes. Balance storage of Lakes Superior and Michigan-Huron – linear relationship between beginning of month levels of the two lakes. Maximum outflow limited to 65,000 cfs side channel plus 16-gates open in the Compensating Works. Minimum outflow 55,000 cfs all months. No flows between 65,000 and 55,000 cfs. No flow changes in winter. Change in outflow from month to month limited to 30,000 cfs.
Plan 1977	1979-1990	Followed principles established in Plan SO-901. Added outflow forecast to smooth monthly flow changes.
Plan 1977-A	1990-present	Updated plan parameters and maximum outflow capacity. Modified outflow forecast. Allowed flow changes in winter with flows up to 85,000 cfs, and allowed flows between 65,000 and 55,000 cfs.

## C 5.2 Exutoire du lac Érié

L'écoulement entre le lac Érié et le lac Ontario suit trois voies, la rivière Niagara, le canal Welland et le New-York State Barge Canal (Figure 5-3). La rivière Niagara parcourt 58 km vers le nord avant de se fondre dans le lac Ontario. Il y a une dénivellée totale de 326 pieds (99,4 m) dont 180 pieds (54,9 m) aux chutes Niagara. Durant la période de 1900 à 1990, le débit moyen passant par la rivière Niagara était de 205 000 cfs (5 800 m<sup>3</sup>/s) alors qu'il est de 9000 cfs (255 m<sup>3</sup>/s) dans le canal Welland. Ce canal à forte profondeur permet à la navigation commerciale de relier les lacs Ontario et Érié. L'effet de ce canal a été d'abaisser le niveau du lac Érié de 5 pouces (13 cm). Le New-York State Barge Canal est en opération durant la période de navigation (1 100 cfs, 31 m<sup>3</sup>/s) pour une moyenne annuelle de 700 cfs, 20 m<sup>3</sup>/s.

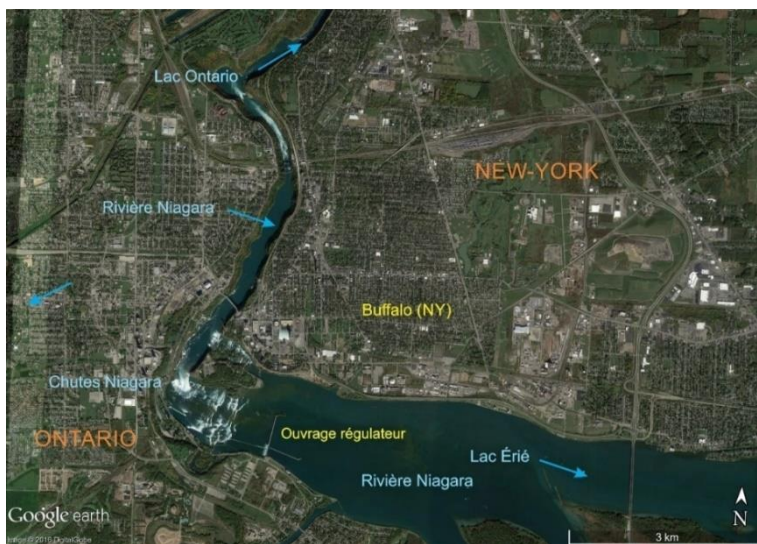
Un traité entre les États-Unis et le Canada, qui remonte à 1950, régleme l'écoulement par la rivière Niagara. Il y est stipulé qu'un minimum de 100 000 cfs (2832 m<sup>3</sup>/s) doit s'écouler le jour durant la saison touristique (du 1<sup>er</sup> avril au 31 octobre). En tout temps, le débit ne peut être inférieur à 50 000 cfs (1416 m<sup>3</sup>/s). Ce contrôle est réalisé grâce à une jetée de 2100 pieds (640 m) comprenant 18 vannes et qui est située 1,6 km en amont des chutes du fer à Cheval. On doit noter que cet ouvrage n'obstrue que partiellement la section d'écoulement (Figure 5-3).



**Figure 5-3 Schéma des liens entre le lac Érié et le lac Ontario**



Cette structure aide à modifier rapidement l'écoulement passant par les chutes, à maintenir les niveaux d'eau en amont et à diriger les volumes d'eau requis aux différentes prises d'eau des centrales hydroélectriques. Le traité crédite les premiers 5 000 cfs (141,6 m<sup>3</sup>/s) au Canada pour compenser l'apport provenant de la dérivation Ogoki et qui provient du Canada.



**Figure 5-4 Localisation de l'ouvrage régulateur sur la rivière Niagara**

Toute quantité en excès est partagée à part égale entre les États-Unis et le Canada aux fins de production hydro-électrique. La gestion à la sortie du lac Érié affecte également le tandem des lacs Huron et Michigan du fait de la faible dénivellée entre ces deux plans d'eau. Dans la référence 38, on mentionne qu'« en janvier 2013, le lac Michigan-Huron a chuté à un nouveau record » (au bas de la page 11 de cette référence). Par ailleurs, plus haut sur cette même page, on indique qu'« un plus fort débit sortant du lac Michigan-Huron qui a abaissé de façon permanente les niveaux d'eau de ce lac » nous permet de croire que la gestion serait en partie responsable de cette situation. Le qualificatif « permanente » nous laisse songeur, l'impression étant qu'une gestion inadéquate des débits pourrait avoir contribué à créer une situation qui devrait perdurer. L'analyse des stocks en eau du bassin, abordée par la suite, permettra toutefois de conclure que cette prédiction était pessimiste.

### C 5.3 Exutoire du lac Ontario

 <b>Great Lakes Basin Diversion and Water Consumption</b>		
<b>Diversions</b>		m <sup>3</sup> /s
Chicago (out)		90
Ogoki & Long Lac (in)		160
<b>Water Use</b>	<b>Withdrawals</b>	<b>Consumption</b>
	2420	115
<b>St. Lawrence Flow at Cornwall</b>		<u>7000</u>

Protection of the Waters of the Great Lakes  
LJC, 2006, and St. Lawrence River Control Board

Nonobstant les pertes par évaporation, la configuration du système hydrique des Grands Lacs fait en sorte que le Lac Ontario et le fleuve Saint-Laurent reçoivent les eaux de tous les Grands Lacs situés en amont en plus des eaux provenant de leurs sous-bassins respectifs. À ces débits on doit ajouter un débit d'apport additionnel de 1 800 cfs (51 m<sup>3</sup>/s) qui provient de la dérivation Ogoki, 5 000 cfs ou 141,6 m<sup>3</sup>/s qui se jette dans le Lac Supérieur de laquelle on doit soustraire la dérivation Chicago qui est de 3 200 cfs ou 90,6 m<sup>3</sup>/s qui quitte le lac Michigan.

**Figure 5-5 Apports et dérivations à l'intérieur du système des Grands Lacs**

Les apports proviennent principalement du Lac Érié via les Chutes Niagara (débit moyen de 202 000 cfs ou 5 720 m<sup>3</sup>/s) et du canal Welland (9 400 cfs ou 266 m<sup>3</sup>/s). La régularisation du lac Ontario doit prendre en considération la réponse du bassin de la rivière des Outaouais qui est un affluent du Saint-Laurent à hauteur de l'Archipel de Montréal (plan 1958-DD). Comme le bassin de la rivière des Outaouais couvre une superficie de 146 000 km<sup>2</sup>, son importance et sa régularisation partielle font en sorte qu'on doit parfois ajuster la gestion du lac Ontario en fonction des conditions observées sur la rivière des Outaouais durant la période de la crue de printemps (avril à juin). Ceci pour minimiser les risques d'inondation dans la région montréalaise.

### **Historique de la régularisation du lac Ontario<sup>6</sup>**

Des besoins accrus pour la navigation et une demande grandissante en hydroélectricité ont créé les conditions propices à la promotion du projet de voie maritime du Saint-Laurent. Le rapport Wooten-Bowden (1921), produit par le US Army Corps of Engineers et le Department of Railways and Canals of Canada, sous les auspices de la CMI, est étudié en 1924 par le Joint Board of Engineers (entité binationale). Suite à des décades de discussions et de rencontres, le St-Lawrence River Project, Final Report 1942 s'avère la base pour la planification finale de la construction de la voie maritime du Saint-Laurent qui débutera dans les années 50.<sup>7</sup>

En 1952, la CMI a émis des directives et elle a approuvé la construction de centrales hydro-électriques sur le bief reliant le lac Ontario à Cornwall en Ontario et Massena dans l'état de New-York. En 1956, la CMI a amendé ses directives pour inclure des critères de régularisation visant à réduire la variabilité des niveaux d'eau du lac Ontario et protéger les riverains situés en aval du lac.

---

6 Référence 47

7 [http://ijc.org/en/islrbc/Regulating\\_Lake\\_Ontario-St.\\_Lawrence\\_River](http://ijc.org/en/islrbc/Regulating_Lake_Ontario-St._Lawrence_River)



**Figure 5-6 Ouvrages à la sortie du lac St Lawrence**

Lorsque le projet est complété, la voie maritime du Saint-Laurent existe, dotée de canaux plus profonds et d'écluses. L'ouvrage régulateur est la centrale Moses-Saunders reliant Massena à Cornwall. Un deuxième ouvrage, localisé à Long Sault agit comme évacuateur de crue et un troisième ouvrage, à Iroquois agit principalement pour aider à la formation du couvert de glace en début d'hiver.

Le « St-Lawrence River Board » devient opérationnel et voit à régir les débits sortant du lac Ontario selon les directives émises par la CMI. Formé de 8 membres, une de ses principales responsabilités est de maintenir le niveau du lac entre les valeurs de 242,8 et 246,8 pi (74,01 m et 75,22 m).



### IJC Orders of Approval

- 1952 approval of project
- 1956 International Board of Control  
- Criteria and Plan
- 1961 Plan 1958-D, Board discretionary authority
- 2001-2006 IJC Review of Orders

Réalisant que les niveaux d'eau pourraient excéder ces limites dans le futur, la CMI a inclus une clause d'urgence, identifiée comme étant le critère (K), qui spécifie qu'en cas de conditions qui excèdent les

apports antérieurs, alors les ouvrages doivent être opérés pour soulager au mieux les riverains tant en amont qu'en aval. Également, en cas d'étiage sévère, les ouvrages doivent être opérés pour supporter au mieux la navigation et la production d'hydro-électricité. Ce critère a été invoqué fréquemment en conditions de forte hydraulité.

### Régularisation

Morin et Bouchard (réf. 27) et Morin (Réf. 28 au chapitre 2) présentent d'excellentes revues de l'hydrologie du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent. La région du lac Saint-François, entre le barrage Moses-Saunders et Beauharnois, voit son niveau d'eau varier d'au plus 0,15 m annuellement. En somme, les débits sortant de Moses-Saunders transitent vers Beauharnois sans emmagasinement notable.

Trois plans de gestion différents ont été utilisés pour régulariser le débit sortant du lac Ontario. Tous ces plans ont été élaborés en respectant les directives émises en 1952 et qui ont été modifiées en 1956. Le plan qui a prévalu jusqu'à la fin 2016, identifié Plan 1958-D, contient une série de courbes d'opération qui sont associées à différentes tendances dans l'approvisionnement du lac, selon les périodes de forte ou faible hydraulité. Ces courbes visent à maintenir les niveaux d'eau du lac Ontario entre les limites de 74,01 et 75,22 m. Le plan 1958-D inclut également des contraintes comme des débits minimums mensuels à respecter pour assurer un approvisionnement adéquat pour la production hydroélectrique. D'autres contraintes existent aux fins d'assurer une profondeur d'eau suffisante pour la navigation. L'histoire relative au plan de gestion 1958-D, qui a été mis en opération en octobre 1963, est présentée dans la référence 28. Ce plan répond mieux au critère « d » qui stipule que « Durant la période annuelle de crue de la rivière des Outaouais, l'écoulement régularisé du lac Ontario ne devra pas être plus considérable qu'il ne l'aurait été dans les conditions rajustées d'alimentation du passé »<sup>8</sup>. Par la suite, la CMI a accordé certains pouvoirs au Conseil International de contrôle du fleuve Saint-Laurent leur permettant de déroger aux règles usuelles en cas de situations d'urgences.

Le plan 1958-DD permet une certaine latitude pour déroger aux règles usuelles en cas de force majeure. Ce plan a été suivi jusqu'en janvier 2017, mois durant lequel un nouveau plan de gestion a été mis en opération. Les séries de mesures analysées sont donc celles qui représentent les résultats de la gestion selon le plan 1958-DD.

En début d'hiver, on diminue les débits pour permettre la formation d'un couvert de glace stable en amont de Massena-Cornwall et en amont des centrales Beauharnois-Les Cèdres. Lorsque les couverts de glace sont formés, le débit est graduellement augmenté pour compenser les pertes de production encourues. Également, les débits peuvent être temporairement diminués en période de crue de la rivière des Outaouais pour soulager la région montréalaise. Ces réductions sont toutefois compensées par des débits supérieurs avant et après la crue.

Les contraintes de régularisation pour le lac Ontario sont décrites sur une page de la toile du Conseil International du lac Ontario et du fleuve Saint-Laurent.<sup>9</sup> Une ordonnance de la Commission exigeait de

---

<sup>8</sup> Tiré de Morin, 2005, réf. 28

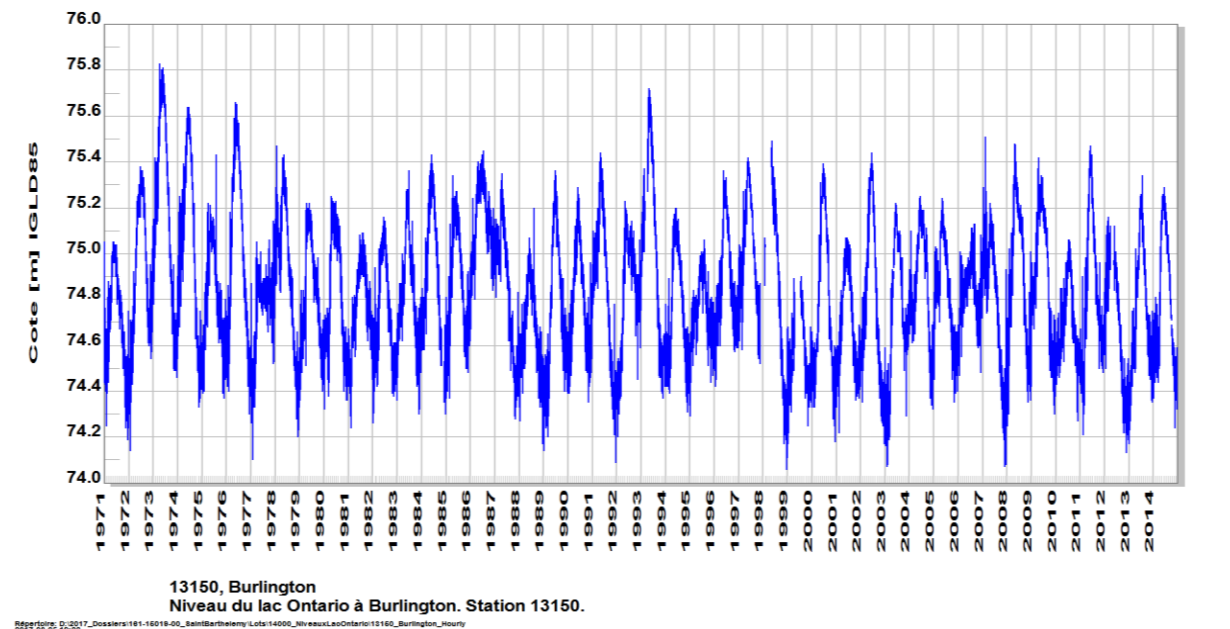
<sup>9</sup> [http://ijc.org/fr/\\_islrbc/Regulating\\_Lake\\_Ontario-St.\\_Lawrence\\_River](http://ijc.org/fr/_islrbc/Regulating_Lake_Ontario-St._Lawrence_River)

régulariser la hauteur des eaux du lac Ontario entre les cotes 74,2 et 75,4 m au-dessus du niveau de la mer (IGLD 85). Le nouveau plan de gestion, mis en vigueur en janvier 2017 semble plus permissif (voir section suivante).

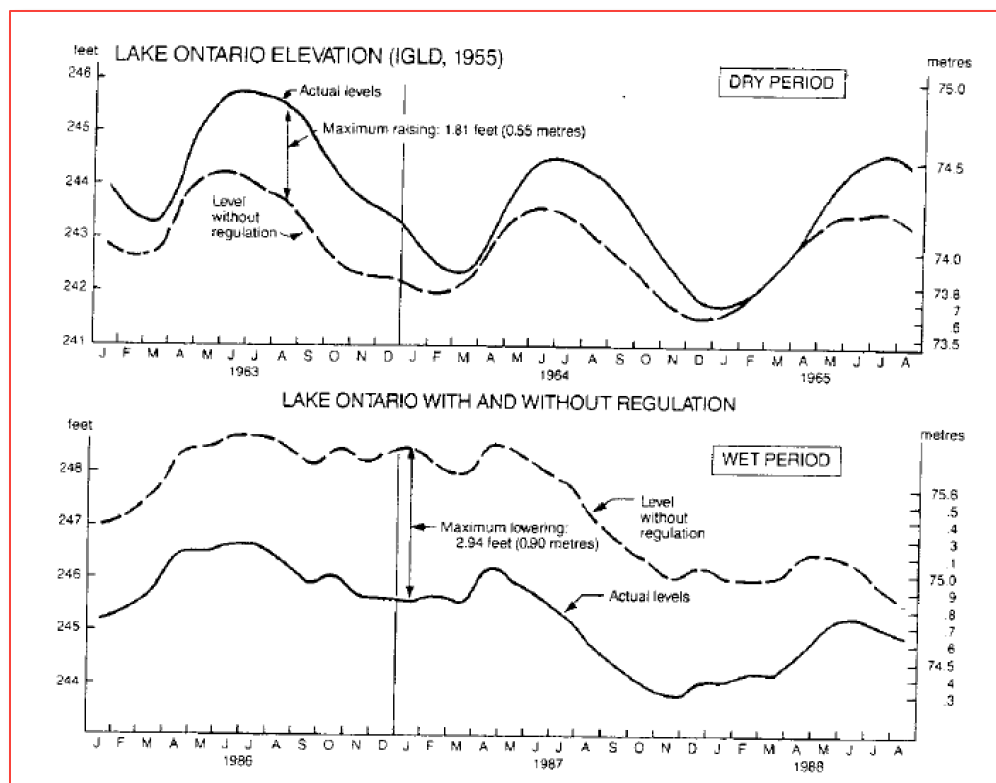
### Effets de la régularisation

L'une des règles de gestion requière que le niveau d'eau du lac Ontario varie entre les cotes 74,2 m et 75,4 m. Ce faible marnage s'avère une contrainte importante dans la gestion des niveaux d'eau. Les débits évacués à Iroquois et Moses-Saunders sont établis pour respecter cette règle autant que faire se peut. La Figure 5-7 présente la variation des niveaux du lac Ontario mesurés à Burlington depuis 1971.

Les ouvrages ne permettent pas de régulariser entièrement les débits du lac Ontario car les facteurs affectant les débits issus des Grands Lacs à l'amont (précipitations, évaporations et ruissellement) ne peuvent être contrôlés ni prédit avec suffisamment de précision. Néanmoins, la régularisation a eu des effets bénéfiques en diminuant l'amplitude des écarts entre les niveaux hauts et bas (Figure 5-8). Durant la période sèche du milieu des années 60, les niveaux du lac Ontario ont été maintenus artificiellement hauts alors qu'au début et au milieu des années 70 les niveaux ont été maintenus une trentaine de centimètres sous les niveaux qui auraient été vécus sans régularisation. En dépit de toutes ces actions, les niveaux d'eau ont atteint la cote 247.9 pi (75,56 m), soit bien au-delà de la cote maximale prescrite de 246,8 pi (75,22 m). Durant l'hiver 1986-1987, les apports importants provenant des lacs en amont ont forcé la CMI à augmenter les débits au-delà des limites prescrites pour éviter que le lac Ontario n'atteigne des niveaux hauts extrêmes. Les niveaux d'eau étaient alors suivis avec attention dans la région de Montréal pour ne pas aggraver la situation en aval du barrage Moses-Saunders.



**Figure 5-7** Variation du niveau d'eau du lac Ontario depuis 1971



**Figure 5-8 Illustration des effets bénéfiques de la régularisation du lac Ontario**

Au printemps 1989, on a dû limiter les débits car on craignait des niveaux d'eau significativement bas pour l'horizon futur. Cette réduction a eu lieu durant la crue de printemps de la rivière des Outaouais pour profiter du débit additionnel provenant de la rivière des Outaouais qui venait s'ajouter au débit plus faible issu de Moses-Saunders. En 1990, d'autres considérations, incluant la navigation de plaisance et des demandes environnementales, ont incité la CMI à demander une révision du plan 1958-D.

### Dérogation aux règles usuelles de gestion

Une disposition existe, la règle K, qui permet de déroger aux consignes d'exploitation. Cette disposition est invoquée lorsque les conditions hydrologiques excèdent celles usuellement rencontrées. Elle permet de gérer pour corriger au mieux la situation au profit des propriétaires riverains autant en amont qu'en aval de ces ouvrages. Sur ce site on confirme que la gestion tient compte de la crue de la rivière des Outaouais et nous citons « l'expérience a montré qu'au moment de la crue printanière de la rivière des Outaouais, qui est un grand affluent, les inondations dans la région de Montréal ont été réduites grâce à la diminution temporaire des débits sortants du lac Ontario ».

D'ailleurs, le texte qui suit, publié sur le site web de la CMI, le confirme.<sup>10</sup>

« Historiquement, la ville de Montréal était sujette aux inondations, car elle est située au confluent de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent. La régularisation des débits du lac Ontario a réduit l'occurrence des inondations printanières dans la région de Montréal. Les crues printanières dans le bassin de la rivière des Outaouais peuvent être très élevées ; elles peuvent décupler en quelques heures. La régularisation en temps opportun du débit du lac Ontario a très souvent contribué à éviter de graves inondations dans les régions de Montréal et du lac Saint-Louis durant les crues de la rivière des Outaouais. D'ordinaire, la réduction de ce débit est compensée par des débits plus élevés avant ou peu après la crue de la rivière des Outaouais. De plus, tel qu'indiqué plus haut, la réduction des embâcles dans le fleuve, rendue possible par l'aménagement, a grandement réduit l'occurrence d'inondations causées par des embâcles. »

#### **Gestion de la crue du fleuve Saint-Laurent de 1998**

Un exemple de cette gestion est présenté pour la crue du fleuve Saint-Laurent de 1998 durant laquelle les débits à la sortie de Cornwall ont été drastiquement abaissés durant une période d'une dizaine de jours pour, d'une part minimiser le débit total au niveau de l'archipel de Montréal, et d'autre part augmenter la dénivelée entre les lacs des Deux Montagnes et le lac Saint-Louis pour minimiser les débits dans les rivières des Mille Îles et des Prairies. Comme on peut le constater, à l'analyse de la Figure 5-10, le débit total a plafonné à 14 000 m<sup>3</sup>/s et la dénivelée entre les deux lacs a dépassé les 2 mètres. Cette gestion est à comparer avec celle survenue en 1976 (Figure 5-11). L'absence de diminution du débit à Moses-Saunders au moment de la montée de crue de la rivière des Outaouais a résulté en un niveau d'eau extrême culminant à 24,36 m soit près du niveau d'eau de récurrence de 100 ans. Le niveau du lac Ontario à Toronto était à la cote 75,23 m (cote 74,1 m à Iroquois) le 31 mars et a culminé à 75,36 m (74,44 m à Iroquois) le 9 avril. Il y avait donc peu de marge de manœuvre pour laminier la crue du fait que le niveau maximum du lac était presque atteint. Ce n'est que plusieurs jours plus tard que les débits ont été légèrement diminués. C'était, selon notre appréciation, trop peu, trop tard. Il eut fallu augmenter les débits provenant du lac Ontario plus tôt, sachant que les conditions étaient propices à un ruissellement important dans le bassin du lac Ontario et dans partie australe du bassin de la rivière des Outaouais. Il faut toutefois réaliser qu'à cette époque, les modèles hydrologiques de prédiction en étaient à leur balbutiements et que les réseaux d'information hydrologiques n'étaient pas aussi sophistiqués qu'à présent.

On constate que durant le mois de mars 1998, les débits à Massena (NY) étaient plus élevés d'environ 2000 m<sup>3</sup>/s par rapport à ceux de mars 1976. Au début mars, les cotes du lac Ontario à Toronto étaient de 74,91 et de 75,11 respectivement pour 1976 et 1998. Le débit en mars 1998 a été imposé à environ 10 000 m<sup>3</sup>/s, ce qui a permis d'obtenir un niveau d'eau à la cote 75,24 m au début avril comparativement à la cote 75,28 m en 1976. La diminution des débits a résulté en un rehaussement du lac Ontario à la cote 75,45 m le 9 avril, soit 5 mm au-dessus de la limite supérieure fixée par règlement.

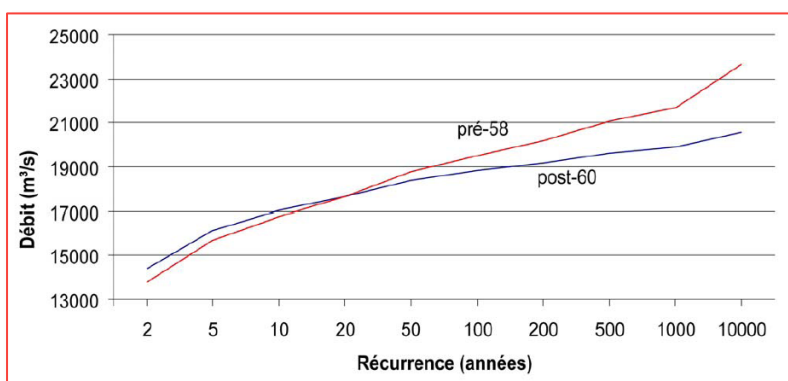
---

<sup>10</sup> [http://ijc.org/fr/\\_islrbc/FAQ\\_2](http://ijc.org/fr/_islrbc/FAQ_2)

L'enseignement qu'on peut tirer de cette analyse, est qu'une réserve de crue dont la tranche serait de l'ordre de 20 cm peut permettre d'abaisser les débits à la sortie du lac Ontario de 5 000 m<sup>3</sup>/s durant une dizaine de jours, le temps qu'une crue rapide et intense de la rivière des Outaouais soit évacuée.

### Effets sur les débits associés à de longue période de retour

Selon l'analyse de Morin en 2001, la gestion des débits à la sortie du lac Ontario a fait en sorte que les débits associés aux grandes périodes de retour ont diminué (Figure 5-9).



Source : Morin et Bouchard, 2001

**Figure 5-9 Débit du fleuve Saint-Laurent pour différentes périodes de retour (en 2001)**

Quoique la courbe post-60 qui y est tracée est fort probablement différente de celle qui serait établie aujourd'hui, 15 ans plus tard, il n'en demeure pas moins que l'effet de la régularisation se traduit par une baisse des débits de récurrences élevées (supérieures ici à la récurrence de 20 ans selon la figure), ce qui devrait se transposer par des niveaux d'eau qui sont moins élevés au lac Saint-Pierre en conditions de crue de récurrence de 100 ans.

## C 5.4 Nouveau plan de gestion 2014

Un nouveau plan de gestion a été mis en opération le 7 janvier 2017<sup>11</sup> pour le Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent. Ce nouveau plan tient compte de préoccupations propres au temps présent et non à celles qui existaient à la fin des années 1950' au moment de la mise en opération de l'ouvrage Moses-Saunders. Ce plan peut être téléchargé<sup>12</sup> du site de la Commission (réf. 44). On y retrouve les règles de gestion préconisées. La Commission doit également s'assurer que le débit au barrage Moses-Saunders est conforme à l'ordonnance supplémentaire émise le 8 décembre 2016. Tout comme pour le plan de gestion antérieur, la commission peut déroger des règles usuelles lors de conditions exceptionnelles. Le lecteur est prié de consulter la référence 44 pour en savoir plus. Ce qu'il faut en retenir c'est que le plan de gestion

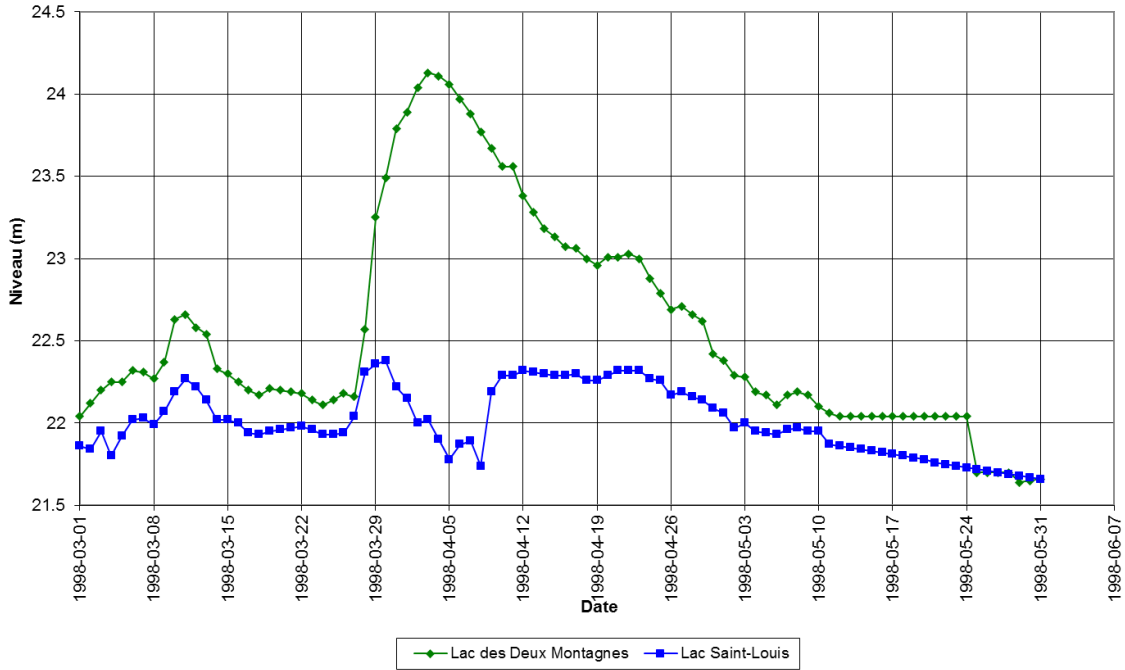
11 [http://ijc.org/fr/\\_islrbc/Home](http://ijc.org/fr/_islrbc/Home)

12 [http://ijc.org/en/\\_Plan2014/Compendium\\_Report](http://ijc.org/en/_Plan2014/Compendium_Report)

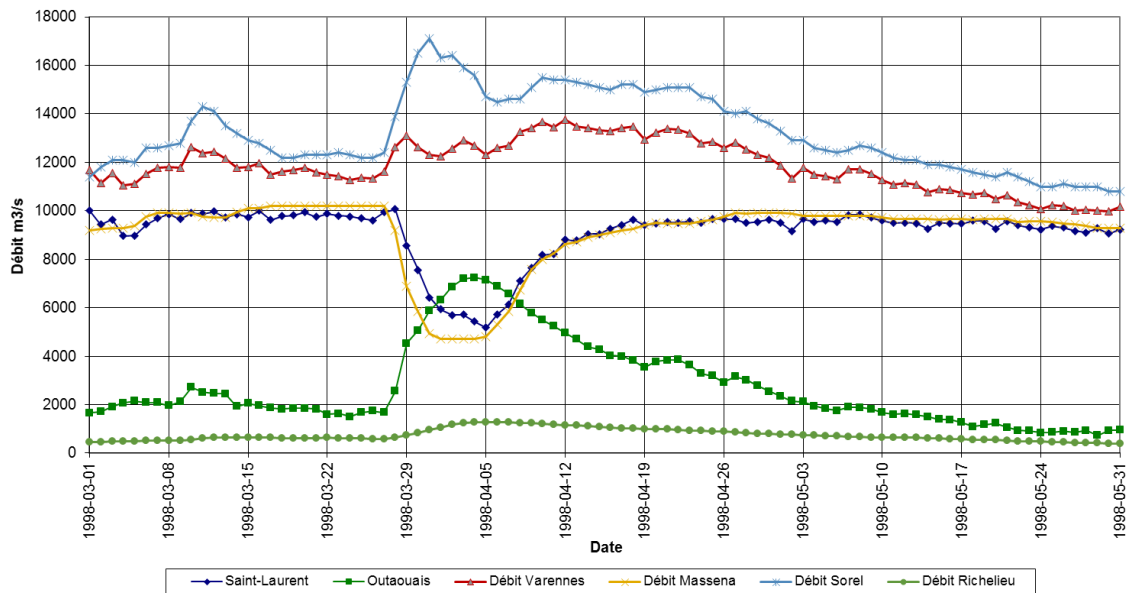


est modifié depuis le début janvier 2017. On ne peut évaluer, au moment d'écrire ces lignes, quelles seront les répercussions potentielles sur les hauts niveaux du lac Saint-Pierre.

### Évolution des niveaux d'eau des lacs des Deux Montagnes et Saint-Louis Printemps 1998

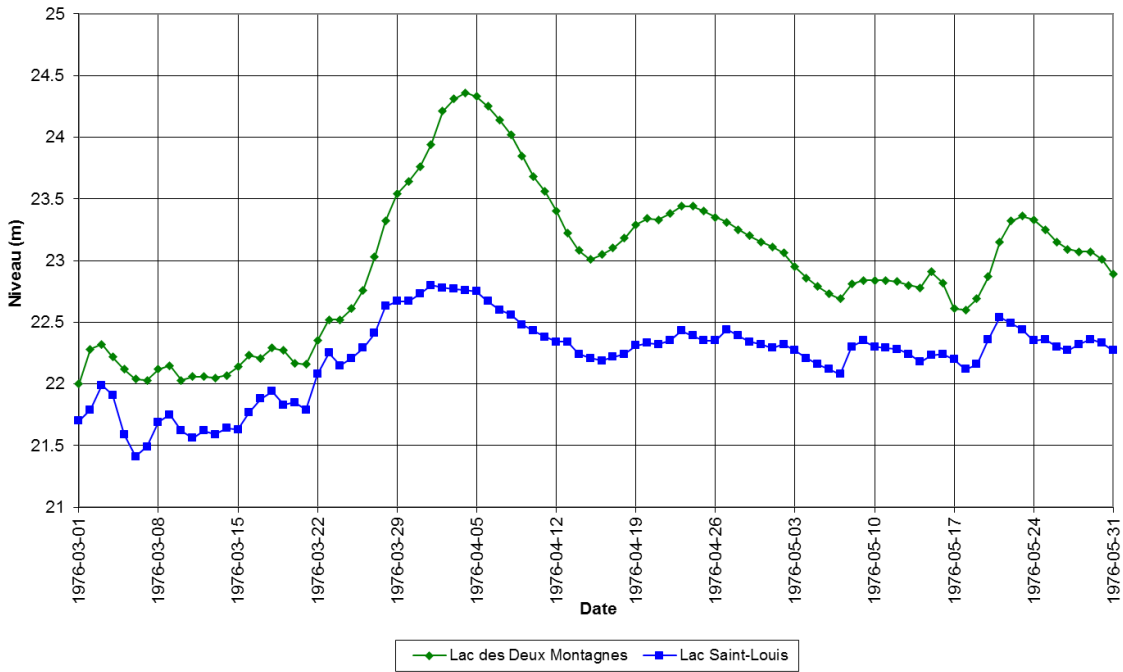


### Évolution du débit du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais Printemps 1998

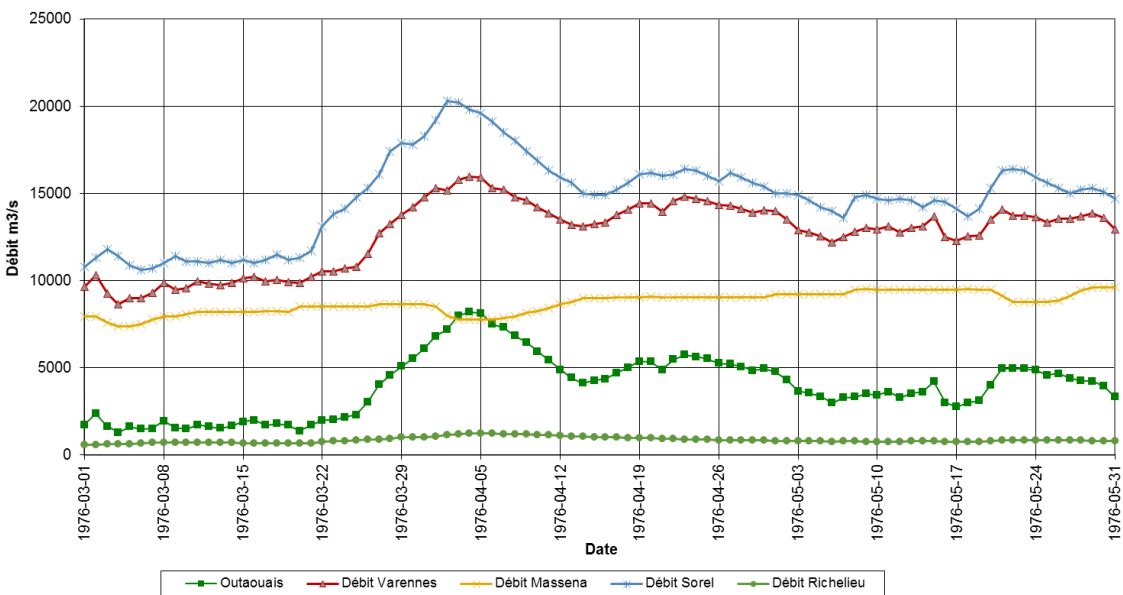


**Figure 5-10** Évolution des niveaux d'eau et des débits dans l'Archipel de Montréal en 1998

### Évolution des niveaux d'eau des lacs des Deux Montagnes et Saint-Louis Printemps 1976



### Évolution du débit du fleuve Saint-Laurent et de la rivière des Outaouais Printemps 1976



**Figure 5-11 Évolution des niveaux d'eau et des débits dans l'Archipel de Montréal en 1976**

## C 6 Emmagasinement pour chacun des Grands lacs

La capacité d’emmagasinement pour chacun des lacs a été obtenue d’Environnement Canada<sup>13</sup>. Compte tenu des superficies considérables des Grands Lacs et du faible marnage toléré sur ces plans d’eau, les courbes d’emmagasinement sont représentées par des constantes qui sont en fait la superficie de chacun des Grands Lacs en km<sup>2</sup>. Le Tableau 6-1 donne les superficies utilisées pour réaliser les calculs. Le flux mensuel requis qui permettrait d’abaisser le niveau de chacun des lacs d’une valeur de 10 cm, en nonobstant tout apport est affiché au Tableau 6-2. Le volume disponible dans les Grands Lacs est donné en km<sup>3</sup>. Une valeur intéressante à retenir est la relation entre 1 km<sup>3</sup> d’eau stockée et le débit requis durant 31 jours pour l’évacuer; il correspond à 373,35 m<sup>3</sup>/s. Finalement, l’information affichée sur la Figure 6-1 permet d’obtenir le rapport entre la superficie totale couverte par les Grands Lacs et la superficie totale du bassin versant. Ce rapport est de 32 %.



Figure 6-1 Superficies du bassin versant des Grands Lacs ainsi que des Grands Lacs

Tableau 6-1 Caractéristiques des plans d’eau du bassin des Grands Lacs

Plan d’eau	Superficie	Niveau	Niveau maximum	Niveau minimum	Marnage	Volume disponible
------------	------------	--------	----------------	----------------	---------	-------------------

13 David Fay, P.Eng. Manager Great Lakes – St-Lawrence Regulation Office, MSC Operation – Ontario, Cornwall, communication personnelle, 2007

	km <sup>2</sup>	m (pi)	m	m	m	km <sup>3</sup>
Lac Supérieur	82 521	183,22 (601.1)	183,91	182,72	1,19	98,2
Lacs Michigan-Huron	117 471	176,02 (577.5)	177,50	175,58	1,92	225,5
Lac St. Clair	1 123	174,44 (572.3)	175,96	175,04	0,92	1,03
Lac Érié	25 693	173,49 (569.2)	175,04	173,18	1,86	47,8
Lac Ontario	19 540	74,16 (243.3)	75,76	73,74	2,02	39,5

Sources : Superficies : D.Fay, Env. Canada, Windsor; Niveaux : USACE-Detroit Période 1918-2015

**Tableau 6-2 Constantes d'emmagasinement pour les Grands Lacs**

Grand Lac	Superficie du Grand Lac	Débit requis durant un mois pour obtenir un abaissement du niveau d'eau dans le lac de 10 cm (négligeant tout apport)
	km <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s-mois
Lac Supérieur	82 521	3 138
Lacs Michigan-Huron	117 471	4 467
Lac St-Clair	1 123	42,7
Lac Érié	25 693	977
Lac Ontario	19 540	743
Total	246 348	

Source : Superficies : David Fay, Environnement Canada, 2007

## C 7 Variation des stocks en eau du bassin des Grands Lacs

On peut avancer que les modifications anthropiques apportées au système hydrique en ont modifié sa réponse, du moins au niveau régional. Il peut donc être hasardeux d'établir une relation entre les variations du niveau d'un lac et des effets qui pourraient être imputés aux changements climatiques.

Dans un contexte de changements climatiques anticipés, il est préférable d'évaluer la variation des stocks en eau du bassin des Grands Lacs dans son entier. Les données de niveaux d'eau de chacun des grands lacs sont disponibles au pas de temps mensuel ainsi que les données de débit sortant à Massena et le volume de stockage est calculé en multipliant la superficie de chaque Grand Lac par la hauteur d'eau de sa tranche utile.

Ce volume total d'emmagasinement de l'eau s'avère être un excellent indicateur pour évaluer si les changements climatiques ont présentement un effet sur l'hydraulicité du système. La façon d'établir la variabilité du stock en eau des Grands Lacs consiste à calculer le volume de la masse liquide en établissant d'abord le niveau minimum atteint antérieurement par chacun des Grand Lacs sur une longue période. On calcule ensuite le volume disponible en utilisant la courbe d'emmagasinement, qui est la relation entre la cote observée et le volume emmagasiné dans le lac pour chacun des lacs. On pose que le minimum disponible est celui qui correspond à un épisode hypothétique durant lequel le niveau de chacun des Grands Lacs serait à son minimum historique. On attribue un volume disponible de 0 m<sup>3</sup> à cet état. Tout niveau d'eau supérieur se traduit donc par un volume d'emmagasinement positif. La somme des volumes pour chacun des lacs donne un indicateur du volume d'eau disponible pouvant être soutiré des Grands Lacs. Il tient compte des apports provenant du ruissellement et de la pluie, des pertes dues à

l'évaporation, et des transferts entre les Lacs ou au fleuve. L'évolution de ce volume permet d'identifier l'occurrence de périodes humides et de périodes sèches. L'indicateur inclut également les effets provenant des modifications apportées au système provoqués par du dragage ou du remplissage et s'avère donc tout indiqué pour discerner les cycles et tendances.

Le niveau minimum atteint par chacun des Grands Lacs depuis le début des relevés permet de fixer le niveau d'eau de base servant au calcul du volume de la tranche utile. Les valeurs sont tirées du Tableau 7-1, qui a été publié par le bureau de Détroit du USACE. Le calcul du volume total utile a été réalisé par l'auteur à partir des données qui couvrent cette même période 1918-2015.

Les courbes tracées sur la Figure 7-1 permettent de constater que les conditions hydrologiques et la gestion récente ont permis de ramener le volume disponible au-delà de sa valeur moyenne qui est d'environ 200 km<sup>3</sup>.

On constate que le volume disponible fluctue selon des cycles qui oscillent entre des périodes constituées d'une série de saisons sèches et des périodes constituées d'une séquence de saisons humides. Les périodes humides culminent à la fin des années 1920', au début des années 1950', durant les années 1970' et à la fin des années 1990'. On identifie donc un phénomène cyclique d'une durée approximative de 20 ans. Il n'existe aucune indication à l'effet que les changements climatiques soient en voie de changer ce patron. Morin (2005) arrive au même constat.

Les Figure 7-2 et Figure 7-3 permettent de constater que le stock d'eau dans les Grands Lacs varie fréquemment de 70 et 80 km<sup>3</sup> à chaque année. Cette fluctuation du stockage se situe entre les limites inférieures de 100 et supérieure de 350 km<sup>3</sup>. L'historique de l'évolution du volume d'eau disponible indique qu'on peut passer d'un système quasi-vide (100 km<sup>3</sup>) à un système avec un volume moyen (200 km<sup>3</sup>) en 2 ans.

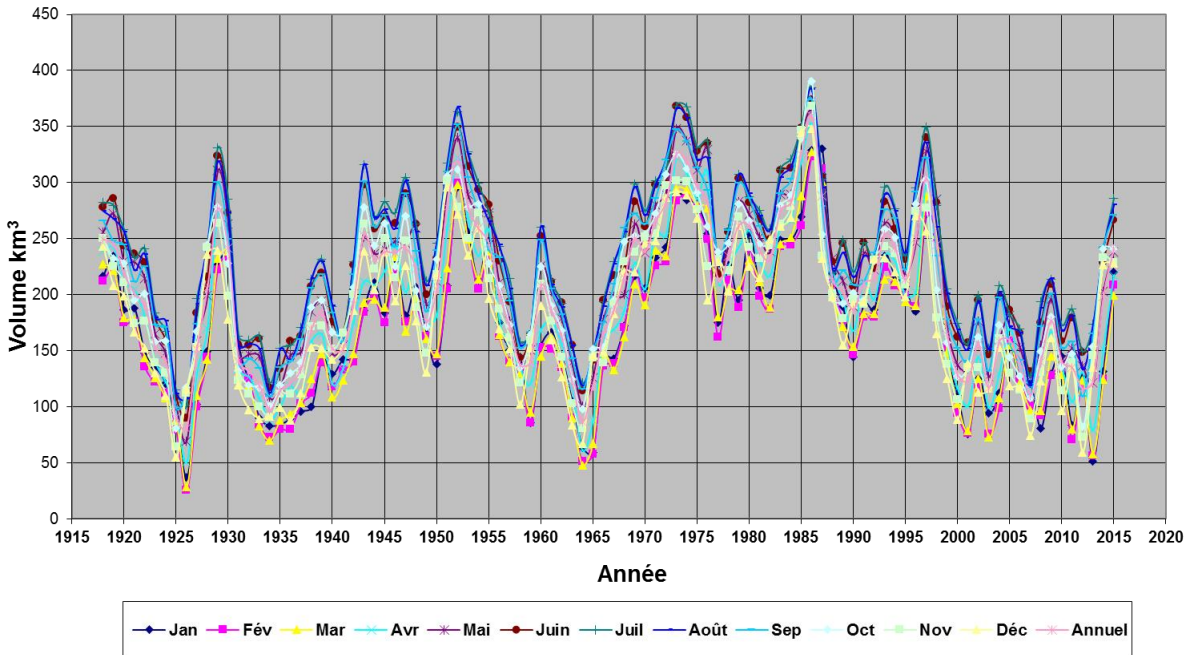
Sur la Figure 7-1 on observe que le volume annuel transitant par le fleuve Saint-Laurent en Ontario oscille entre 170 et 270 km<sup>3</sup>, la valeur inférieure étant associée aux périodes sèches et la valeur supérieure étant associée aux périodes humides. En conditions moyennes, le volume oscille autour de 200 km<sup>3</sup>. Cette valeur de 200 km<sup>3</sup> se traduit par un débit moyen annuel de 6 340 m<sup>3</sup>/s. La valeur inférieure de 170 km<sup>3</sup> se traduit par un débit moyen annuel de 5 390 m<sup>3</sup>/s.

**Tableau 7-1 Niveaux d'eau extrêmes mesurés sur les Grands Lacs**

<b>Lac Supérieur</b>												
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Moy</b>	183.34	183.28	183.25	183.28	183.38	183.46	183.52	183.55	183.56	183.53	183.49	183.42
<b>Max</b>	183.70 1986	183.63 1986	183.61 1986	183.68 1986	183.74 1986	183.76 1986	183.82 1950	183.86 1952	183.86 1985	183.91 1985	183.89 1985	183.81 1985
<b>Min</b>	182.83 1926	182.76 1926	182.74 1926	182.72 1926	182.76 1926	182.85 1926	182.96 1926	183.02 1926	183.12 1926	183.10 1925	183.01 1925	182.92 1925
<b>Lacs Michigan-Huron</b>												
<b>Moy</b>	176.33	176.31	176.33	176.42	176.51	176.58	176.61	176.59	176.54	176.47	176.41	176.37
<b>Max</b>	177.18 1987	177.11 1986	177.12 1986	177.23 1986	177.28 1986	177.33 1986	177.39 1986	177.39 1986	177.38 1986	177.50 1986	177.38 1986	177.26 1986
<b>Min</b>	175.60 1965	175.59 1964	175.58 1964	175.61 1964	175.74 1964	175.76 1964	175.78 1964	175.77 1964	175.76 1964	175.70 1964	175.65 1964	175.62 1964
<b>Lac St. Clair</b>												
<b>Moy</b>	174.84	174.78	174.90	175.04	175.13	175.17	175.19	175.16	175.09	175.00	174.92	174.92
<b>Max</b>	175.80 1986	175.80 1986	175.80 1986	175.82 1986	175.83 1986	175.92 1986	175.93 1986	175.90 1986	175.84 1986	175.96 1986	175.82 1986	175.80 1986
<b>Min</b>	173.88 1936	173.89 1926	174.05 1934	174.32 1926	174.42 1934	174.45 1934	174.50 1934	174.41 1934	174.34 1934	174.27 1934	174.18 1934	174.24 1964
<b>Lac Érié</b>												
<b>Moy</b>	173.99	173.98	174.06	174.21	174.30	174.33	174.32	174.25	174.16	174.06	173.99	173.99
<b>Max</b>	174.86 1987	174.78 1987	174.88 1986	174.98 1985	174.97 1986	175.04 1986	175.03 1986	174.94 1986	174.83 1986	174.94 1986	174.85 1986	174.90 1986
<b>Min</b>	173.21 1935	173.18 1936	173.20 1934	173.38 1934	173.44 1934	173.45 1934	173.45 1934	173.43 1934	173.38 1934	173.30 1934	173.20 1934	173.19 1934
<b>Lac Ontario</b>												
<b>Moy</b>	74.55	74.58	74.67	74.87	75.01	75.05	74.99	74.88	74.74	74.61	74.54	74.52
<b>Max</b>	75.16 1946	75.27 1952	75.37 1952	75.65 1973	75.73 1973	75.76 1952	75.66 1947	75.58 1947	75.41 1947	75.22 1945	75.18 1945	75.20 1945
<b>Min</b>	73.81 1935	73.78 1936	73.94 1935	74.03 1935	74.11 1935	74.19 1935	74.14 1934	74.00 1934	73.91 1934	73.82 1934	73.75 1934	73.74 1934

Source : USACE-Détroit (IGLD 85) – Période 1918-2015

### Évolution du volume total emmagasiné dans les Grands Lacs



### Volume total des Grands Lacs et volumes annuels évacués à Cornwall (Moses-Saunders)

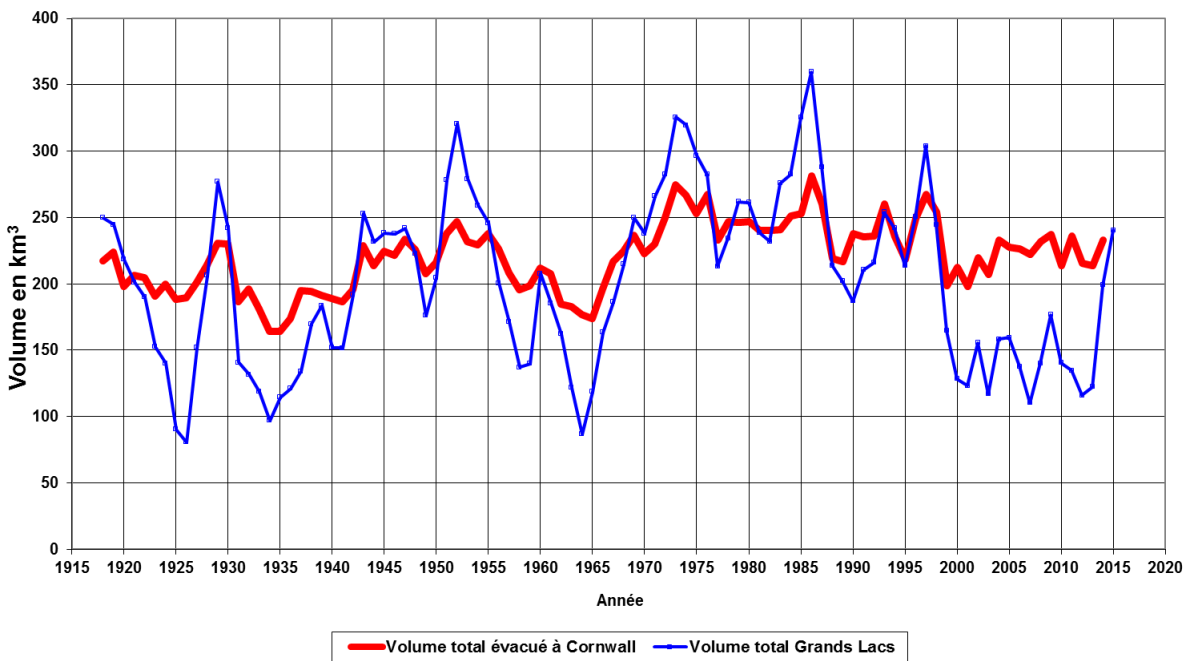
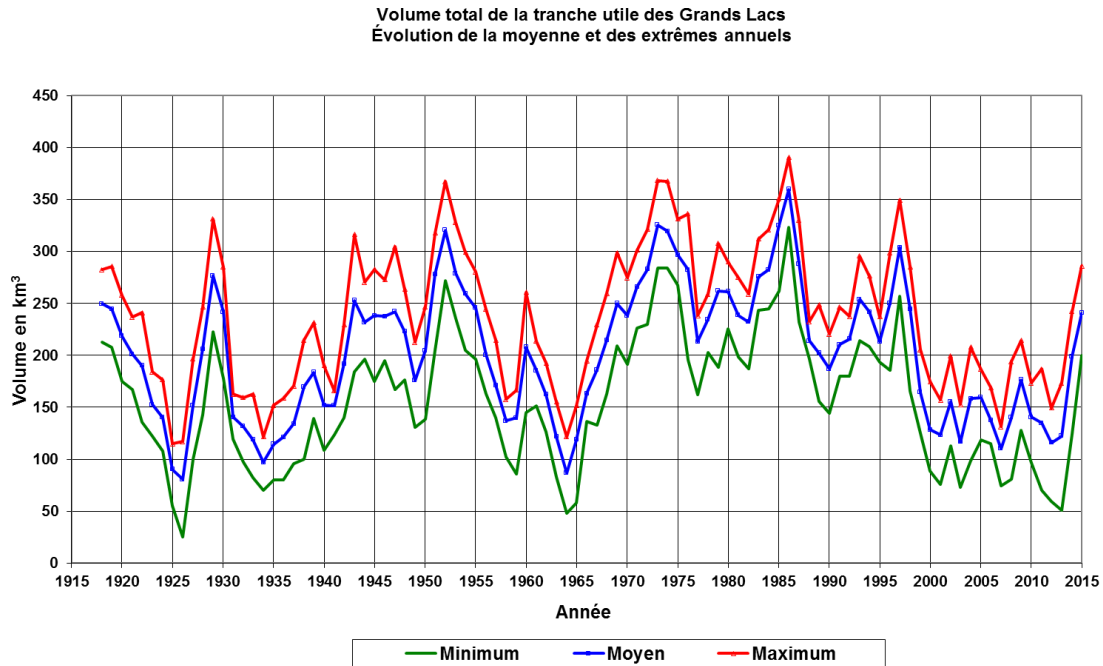
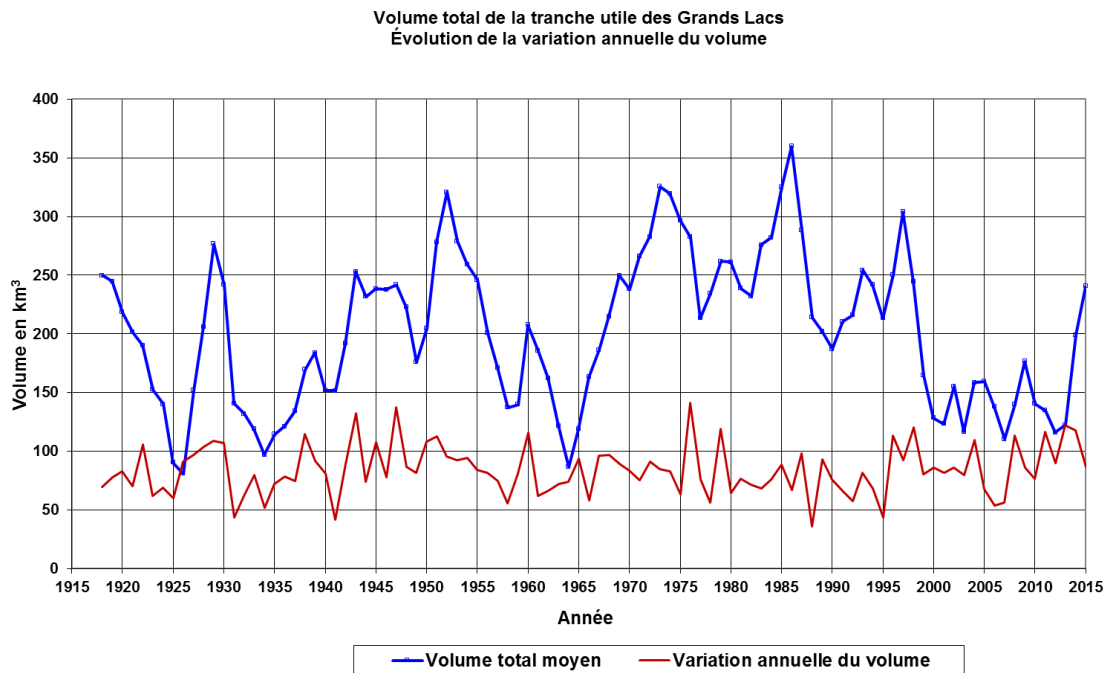


Figure 7-1 Évolution du volume total de stockage des Grands Lacs de 1918 à 2015





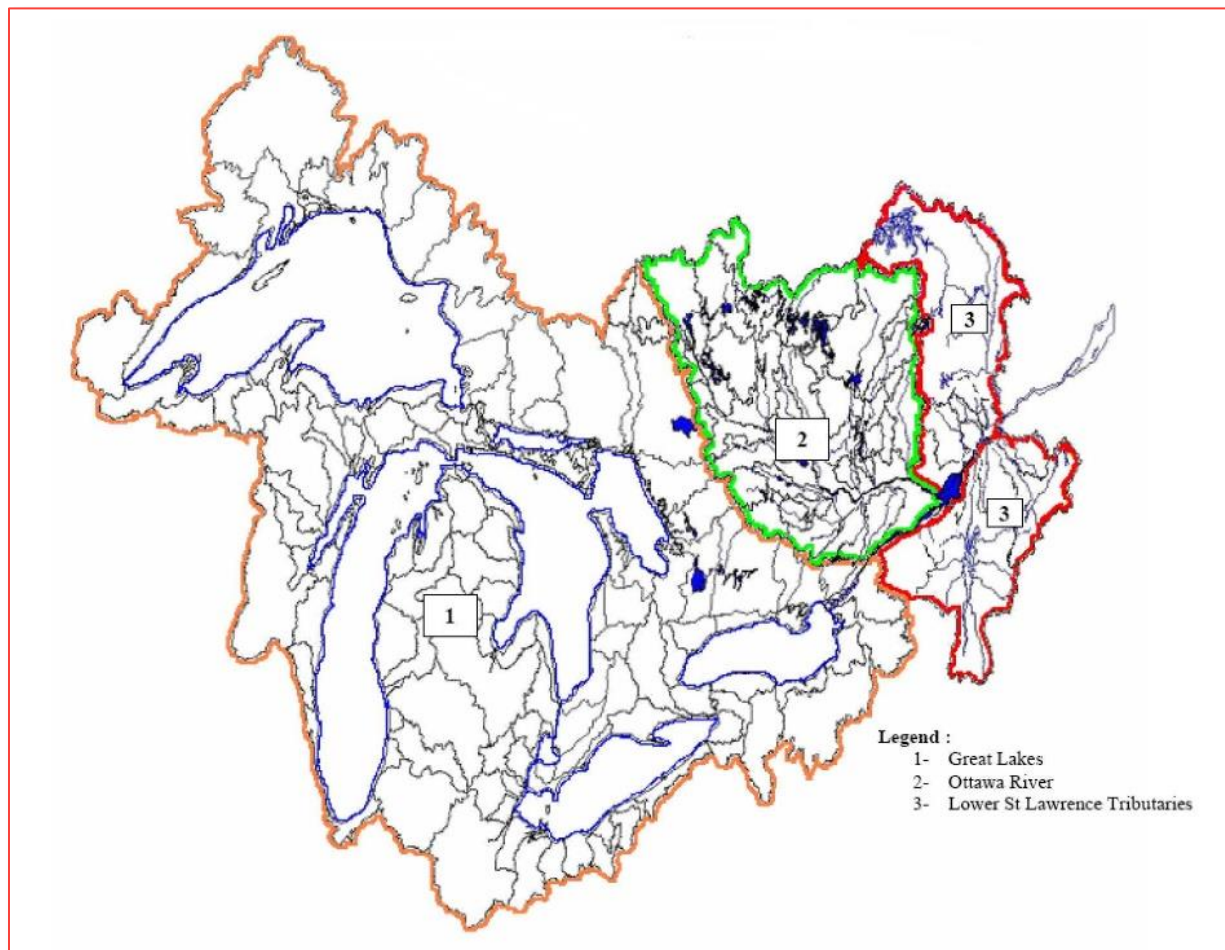
**Figure 7-2**      **Évolution des volumes utiles minimum, moyen et maximum pour les Grands Lacs**



**Figure 7-3**      **Évolution de la variation annuelle des volumes pour les Grands Lacs (différence entre la valeur maximum et la valeur minimum atteinte chaque année)**

## C 8 Influence des sous-bassins du fleuve Saint-Laurent

Les bassins de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent jusqu'à Trois-Rivières doivent être ajoutés pour obtenir toute la superficie qui contribue à augmenter le débit qui atteint Sorel et qui, de ce fait, influence les niveaux au lac Saint-Pierre. Ces bassins sont tracés sur Figure 8-1. Les eaux de la rivière des Outaouais se jettent dans le fleuve Saint-Laurent à la hauteur de l'Archipel de Montréal. Les eaux du bassin de la rivière Richelieu se joignent à celles du fleuve Saint-Laurent à Sorel (bassin identifié par l'indice #3 au sud du fleuve) et les eaux de la rivière Saint-Maurice viennent gonfler les eaux du fleuve Saint-Laurent à Trois-Rivières (bassin identifié par l'indice #3 au nord du fleuve). L'importante superficie couverte par ces trois bassins fait en sorte qu'un débit important s'ajoute à celui issu du bassin des Grands Lacs, ce qui a une influence sur le niveau d'eau observé dans le tronçon Montréal/Trois-Rivières. Les pics de crues de ses sous-bassins ne sont toutefois pas concomitants avec celui du fleuve, ce qui limite quand même les pics de crues observés au lac Saint-Pierre.



**Figure 8-1 Réseau hydrographique et découpage des bassins versants des Grands Lacs, de l'Outaouais et du Saint-Laurent jusqu'à Trois-Rivières**

# ANNEXE

## **D** HYDROLOGIE DU BASSIN DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS





# ANNEXE D

## Hydrologie du bassin de la rivière des Outaouais

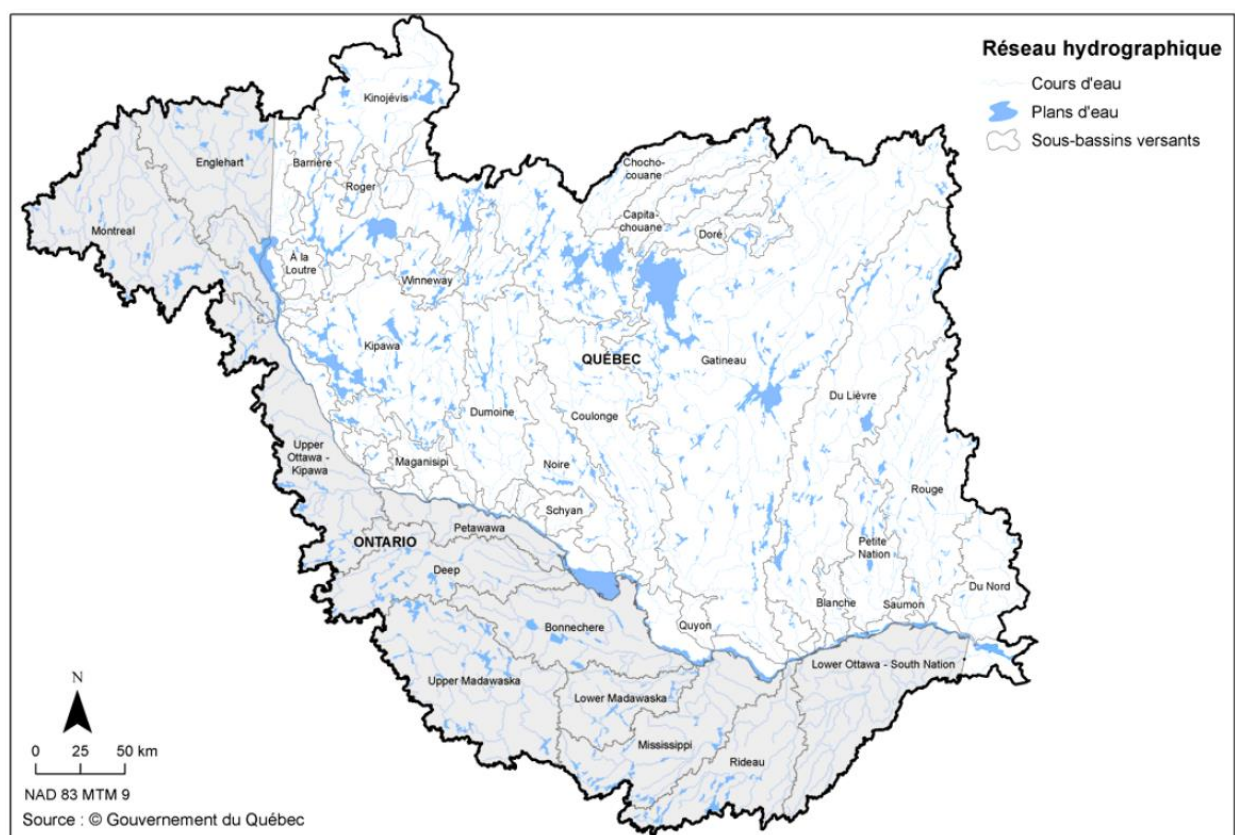
### TABLE DES MATIÈRES

<b>D 1</b>	<b>LE BASSIN DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS .....</b>	<b>3</b>
<b>D 2</b>	<b>LE OTTAWA RIVER REGULATION BOARD .....</b>	<b>4</b>
<b>D 3</b>	<b>DÉBITS DE LA RIVIÈRE DES OUTAOUAIS À CARILLON .....</b>	<b>5</b>
<b>D 4</b>	<b>LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE 2017.....</b>	<b>6</b>



## D 1 Le bassin de la rivière des Outaouais

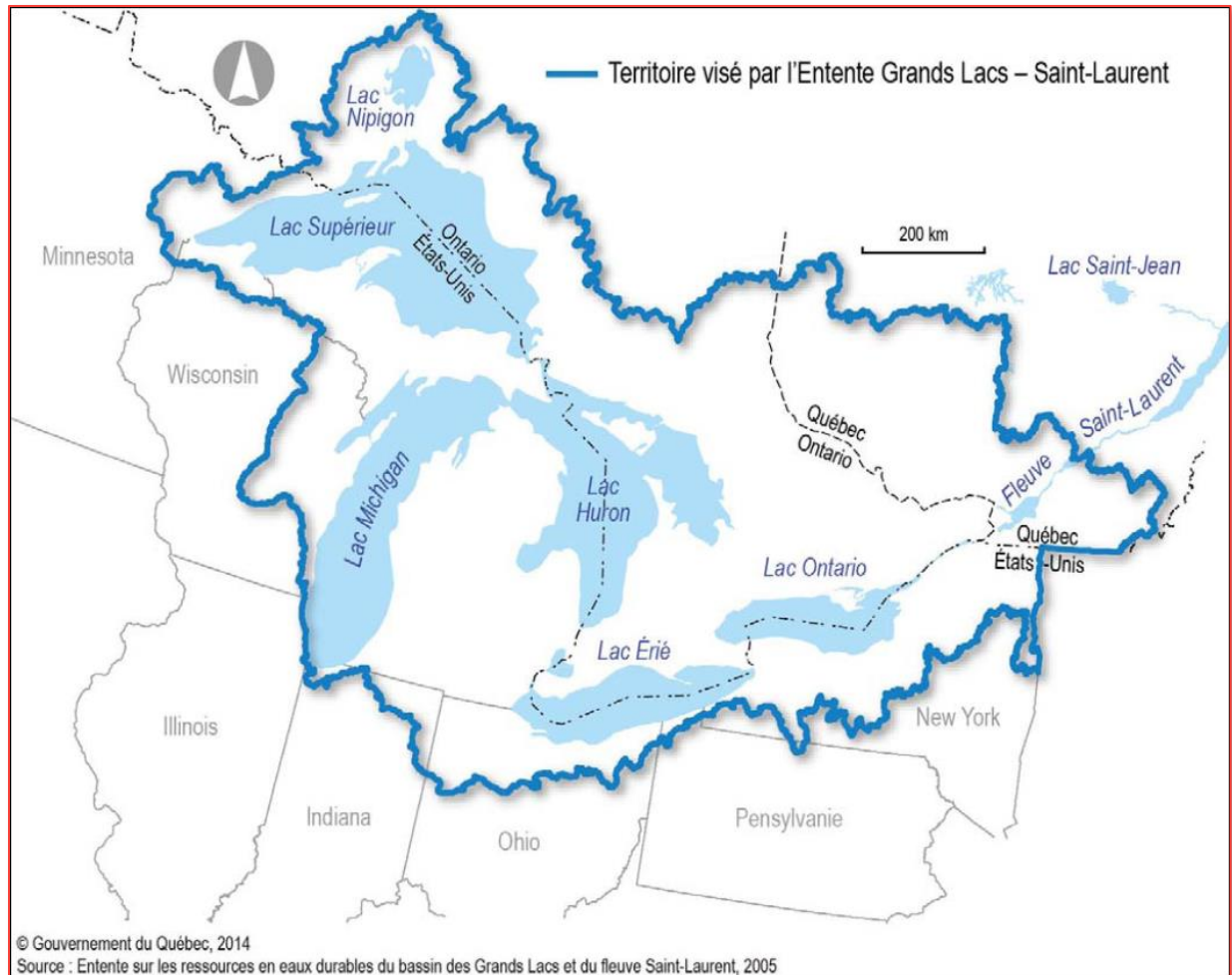
Le bassin de la rivière des Outaouais est le deuxième contributeur en importance en termes d'apports des débits en amont du lac Saint-Pierre. Selon cette référence, il y a 1 093 ouvrages de retenue dans ce bassin, dont 125 servent à la production hydro-électrique et 577 servent à des fins récréatives. Plusieurs des ouvrages importants de retenue sont localisés dans la partie septentrionale du bassin comme on peut le constater en consultant la Figure 1-1. Ce bassin versant fait partie du territoire visé par l'Entente Grands Lacs – Saint-Laurent sur les ressources en eau durable de 2005 (Figure 1-2)



Source : Réf. 39.

**Figure 1-1 Réseau hydrographique de la rivière des Outaouais**

La région australe du bassin n'est pas régularisée, ce qui fait que la rivière des Outaouais présente souvent deux pics de crues. Le premier provient de la fonte du manteau nival dans la partie sud du bassin. Le second pic provient de la fonte plus tardive qui survient dans le bassin supérieur quelques semaines plus tard et dont une partie du débit est laminée au niveau des réservoirs nordiques.



Tiré de la référence 39

**Figure 1-2** Territoire visé par l'entente sur les ressources en eaux durables des Grands Lacs et du fleuve Saint-Laurent

## D 2 Le Ottawa River Regulation Board

C'est en 1983 que les gouvernements du Canada, du Québec et de l'Ontario ont créé le « Ottawa River Regulation Board » dont la mission est d'assurer une gestion intégrée des débits provenant des différents réservoirs du bassin. L'objectif visé était alors d'assurer une certaine protection de la population de l'Archipel de Montréal tout en considérant les intérêts des divers utilisateurs, notamment en ce concerne la production hydro-électrique (Réf. 39). Cette date est importante car elle fixe le moment à partir duquel est proposée une gestion plus responsable des débits de la rivière des Outaouais.



## D 3 Débits de la rivière des Outaouais à Carillon

Le débit à Carillon peut être obtenu en temps réel du site web :

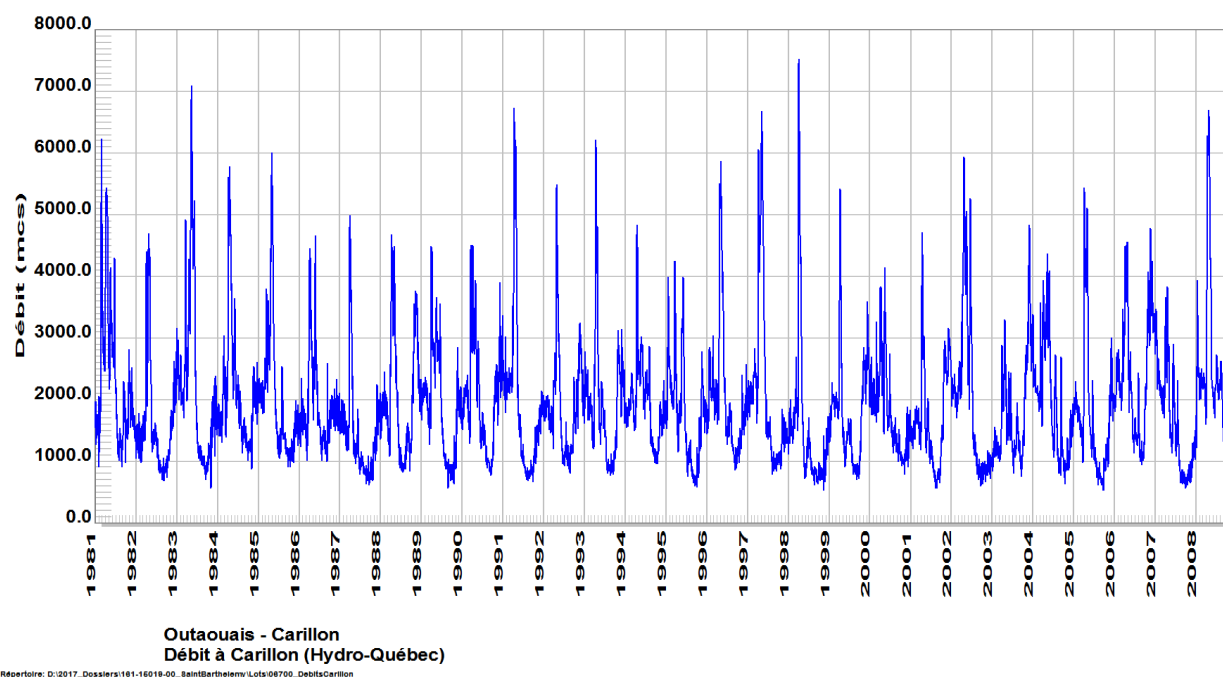
<http://rivieresoutaouais.ca/niveaux-debits-riviere.php>

Les données hydrométriques d'archive peuvent être téléchargées du site web d'Environnement et Changement climatique Canada en indiquant le numéro de station 02LB024 (base de données HYDAT):

<http://www.ec.gc.ca/rhc-wsc/default.asp?lang=Fr&n=4EED50F1-1>

La série des débits archivée dans la base de données HYDAT ne couvre toutefois pas la période récente. Nous disposons des débits moyens journaliers à la centrale de Carillon pour la période 1980-2008. Cette série a été reconstituée par Hydro-Québec suite aux mesures réalisées durant la crue de 2008 lors d'une importante campagne de mesures qui avait pour objectif d'établir avec précision la répartition des débits parmi les exutoires du lac des Deux Montagnes (réf. 53). Suite à cette campagne, certaines relations niveau-débit ont été corrigées.

Cette série de débits moyens journaliers permet d'établir qu'il peut atteindre près de 8 000 m<sup>3</sup>/s en période de crue. Cette valeur est donc à ajouter au débit du fleuve Saint-Laurent provenant du lac Saint-François. La décennie 1990 voit plusieurs épisodes de crues durant lesquels le débit a été supérieur à 6 000 m<sup>3</sup>/s. Un débit de 7 000 m<sup>3</sup>/s n'aurait été dépassé que deux fois depuis 1981. La crue extrême s'est produite en 1998. La durée du pic de crue est toutefois faible, ce qui permet une certaine régularisation du débit total entrant l'Archipel de Montréal par une diminution du débit sortant du lac Ontario lorsque survient la crue de la rivière des Outaouais.



**Figure 3-1 Débit de la rivière des Outaouais à Carillon**

## D 4 La crue exceptionnelle de 2017

Lors de la crue de 2017 le lac des Deux-Montagnes a dépassé les cotes historiques, culminant aux valeurs de 24,68 m à la station de Sainte-Anne-de-Bellevue et de 24,79 m à la station de Pointe-Calumet le 8 mai 2017. Les débits ont été jaugés par Environnement Canada le 8 mai à la mi-journée. Le débit jaugé en amont de la centrale Carillon était de l'ordre de  $9300 \text{ m}^3/\text{s} \pm 200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le débit jaugé aux exutoires était de l'ordre de  $9900 \text{ m}^3/\text{s}$  pour une différence de  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ . Une partie de la différence s'explique par les apports provenant de la rivière du Nord et ceux provenant du bassin intermédiaire et l'autre partie par la variabilité des valeurs de débits obtenus à chaque site de jaugeage. Ces valeurs sont largement supérieures à celles affichées sur la Figure 1-3 et témoignent de la sévérité de la crue subie en 2017. Une analyse fine des conditions vécues en 2017 est présentée à l'annexe E qui traite de l'hydrologie du lac des Deux Montagnes.

# ANNEXE

## **E** HYDROLOGIE DU TRONÇON MONTRÉAL \ LAC SAINT-PIERRE





# ANNEXE E

## Hydrologie du tronçon Montréal\Lac Saint-Pierre

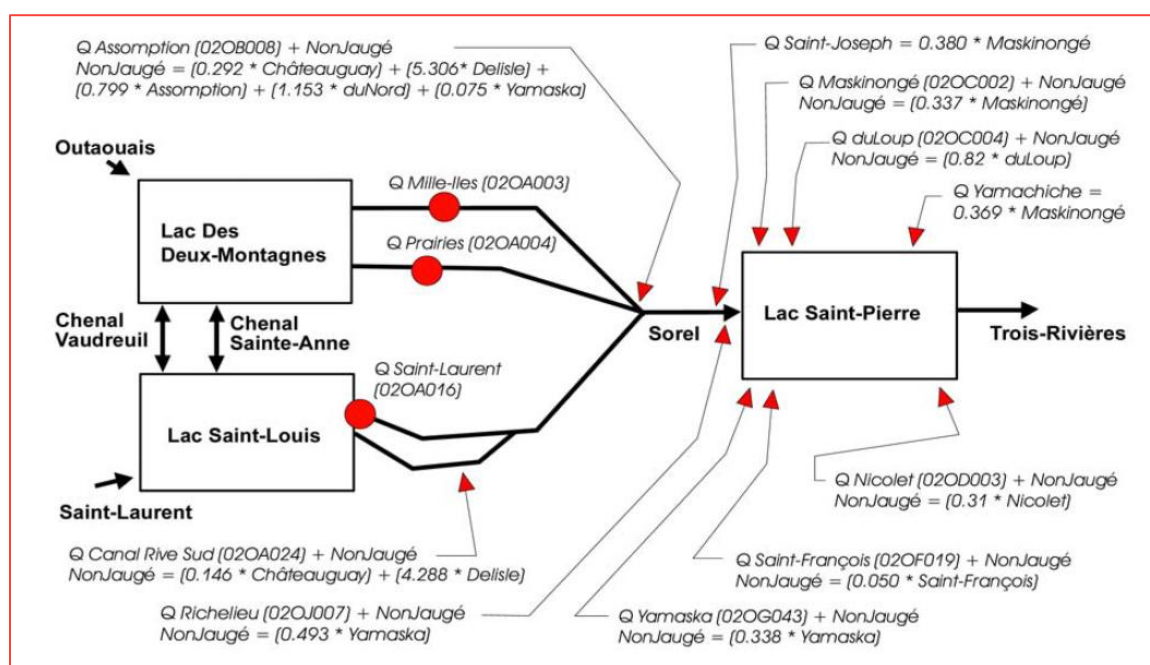
### TABLE DES MATIÈRES

<b>E 1</b>	<b>LES APPORTS EN EAU DANS LE TRONÇON MONTRÉAL/TROIS-RIVIÈRES .....</b>	<b>2</b>
E 1.1	LE DÉBIT DE LA RIVIÈRE L'ASSOMPTION .....	3
E 1.2	DÉBIT DE LA RIVIÈRE RICHELIEU À LA STATION DES RAPIDES FRYERS .....	4
E 1.3	LE DÉBIT DU FLEUVE SAINT-LAURENT CALCULÉ À SOREL .....	5
E 1.3.1	TRAITEMENT DE LA SÉRIE RÉCENTE DES DÉBITS CALCULÉS À SOREL .....	5
E 1.3.2	ANALYSE DU DÉBIT EXCEPTIONNEL RELEVÉ EN 2013 .....	6
E 1.4	LES APPORTS DES RIVIÈRES SAINT-FRANÇOIS, YAMASKA ET NICOLET .....	8
E 1.4.3	RIVIÈRE YAMASKA .....	10
E 1.4.4	RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS .....	11
E 1.4.5	RIVIÈRE NICOLET .....	12
<b>E 2</b>	<b>MODIFICATIONS ANTHROPIQUES.....</b>	<b>13</b>
E 2.1	DRAGAGES .....	13
E 2.2	EFFETS DES REVERSOIRS .....	13
E 2.3	ÉVÉNEMENTS AYANT INFLUENCÉ LE RÉGIME HYDRIQUE DU FLEUVE .....	14
<b>E 3</b>	<b>RELATION ENTRE LE NIVEAU MESURÉ AU LAC SAINT-PIERRE ET LE DÉBIT CALCULÉ À SOREL.....</b>	<b>16</b>
<b>E 4</b>	<b>CYCLES, TENDANCES ET EFFETS DES CHANGEMENTS CLIMATIQUES.....</b>	<b>17</b>
E 4.1	DISCUSSION SUR LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES .....	17
<b>E 5</b>	<b>CONSTATS.....</b>	<b>18</b>



## E 1 Les apports en eau dans le tronçon Montréal/Trois-Rivières

Morin et Bouchard (réf. 27) présentent un schéma illustrant la méthode de calculs des apports en eau pour obtenir le débit du fleuve Saint-Laurent dans le tronçon Montréal/Trois-Rivières et qui a été proposé par Morse en 1990 (Figure 1-1). On comprend que le débit du fleuve va augmentant, au fur et à mesure que s'ajoutent les débits provenant de tributaires. En tout, douze tributaires contribuent à augmenter le débit du fleuve entre Montréal et Trois-Rivières.



Source : Morin et Bouchard, 2001

Figure 1-1 Schéma décrivant les apports en eau du fleuve Saint-Laurent en amont de Trois-Rivières

Les apports de ces tributaires varient dans le temps, ce qui produit une infinité de combinaisons de conditions d'apport possibles. À cette complexité s'ajoute la régularisation partielle sur certains sous-bassins, rendant encore plus complexe la détermination de conditions associées à une récurrence donnée. Dans le cadre du développement d'un modèle hydrodynamique opérationnel du fleuve Saint-Laurent on doit pouvoir connaître quels sont les apports provenant de ces tributaires au pas de temps journalier. C'est ce qui justifie le développement du modèle présenté à la Figure 1-1. Certaines équations de cette figure doivent toutefois être réévaluées, certaines séries de débits moyens journaliers contenant des périodes pour lesquelles les données sont inexactes, tel que démontré par Dupuis (2007, réf. 50 et 2014, réf 21).

On reconnaît toutefois que le niveau d'eau moyen journalier du lac Saint-Pierre est tributaire de la combinaison de tous ces apports moyens journaliers ainsi que du niveau d'eau moyen journalier établi à la limite aval du bief, soit à Trois-Rivières. En d'autres termes, à une combinaison d'apports donnés

correspond un niveau donné du lac Saint-Pierre. C'est donc le niveau d'eau moyen journalier du lac Saint-Pierre qui doit être considéré comme étant un excellent intégrateur de la somme de toutes ces conditions qui agissent sur le système hydrique.

### E 1.1 Le débit de la rivière L'Assomption

Le débit de la rivière l'Assomption doit être ajouté aux débits provenant du lac Saint-Louis et des rivières des Prairies et des Mille Îles. Il ne représente toutefois qu'un faible pourcentage du débit total du fleuve en aval de Repentigny. Le débit de crue ne dépasse pas les 300 m<sup>3</sup>/s à Joliette. Ce débit représente les apports provenant de la portion montagneuse du bassin versant. En aval, le bassin versant est formé de plaines et la réponse est plus faible. Même en doublant le débit maximum mesuré à Joliette, on peut considérer que les apports de la rivière l'Assomption influencent peu les niveaux d'eau extrêmes du fleuve.

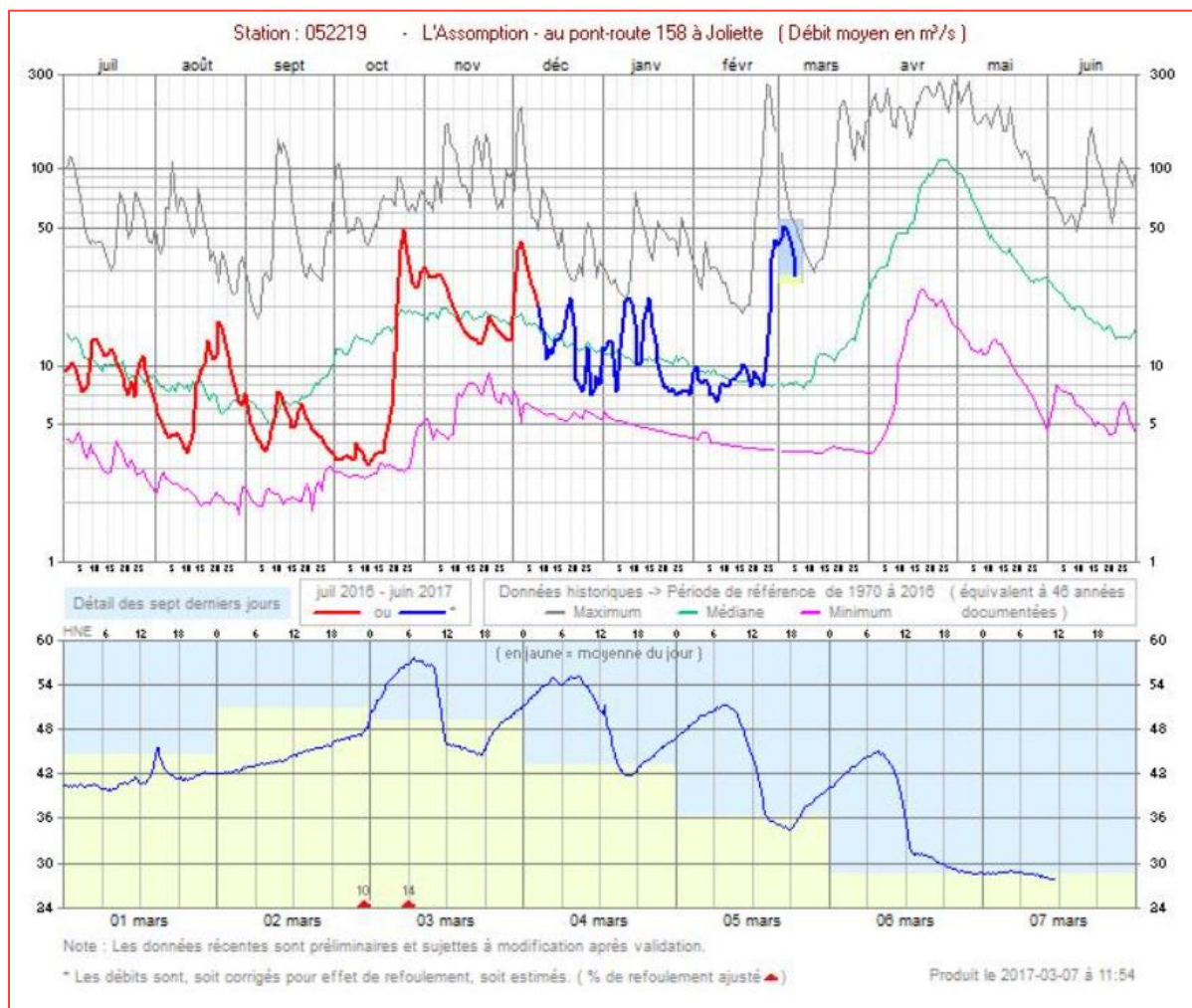
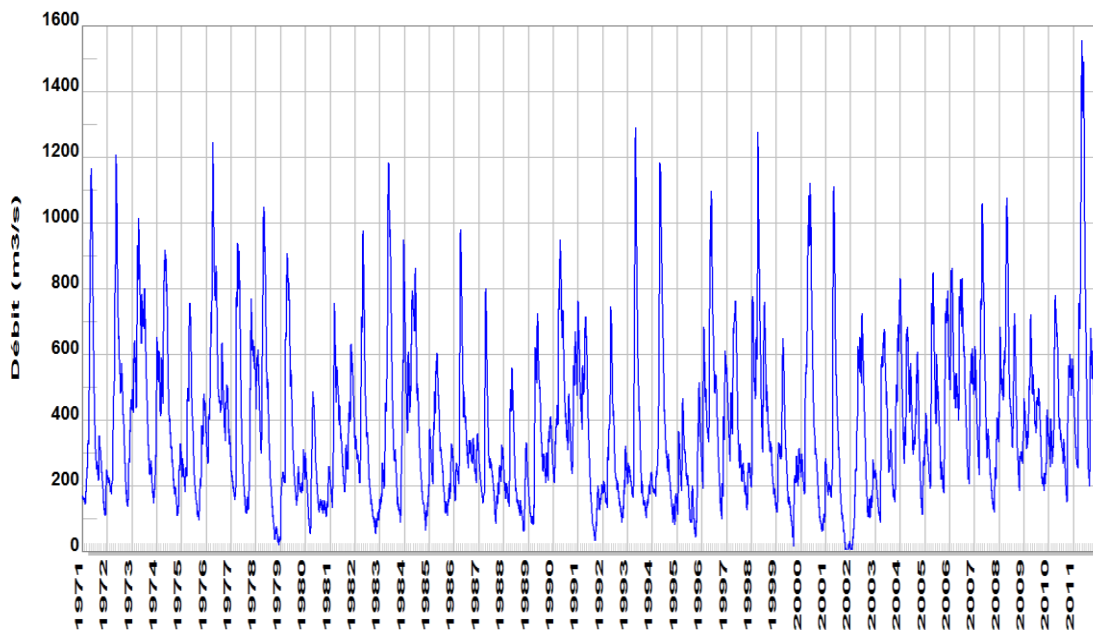


Figure 1-2 Statistiques sur les débits pour la rivière Yamaska à la station 030345



## E 1.2 Débit de la rivière Richelieu à la station des rapides Fryers

Quoique de moindre importance que le débit provenant de la rivière des Outaouais, le débit de la rivière Richelieu, qui se jette dans le fleuve Saint-Laurent à Sorel, contribue au rehaussement du niveau du lac Saint-Pierre. L'hydrogramme des débits aux rapides Fryers est présenté à la Figure 1-3. Le débit dépasse rarement 1 200 m<sup>3</sup>/s. Une crue exceptionnelle a été vécue au printemps 2011, qui a vu le débit dépasser les 1 500 m<sup>3</sup>/s.



Rapides Fryers  
Débit moyen journalier de la rivière Richelieu reconstitué aux Rapides Fryers

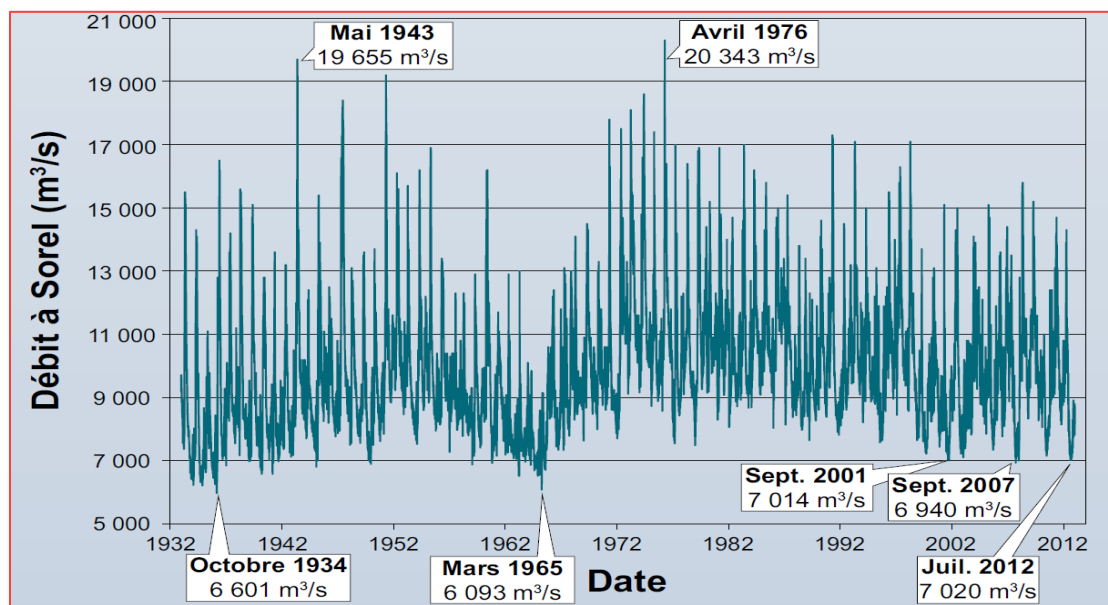
Reportage: 0:\2017\_Dossiers\161-1619-00\_saintBarthelemy\Lots\06820\_DebitsFryers  
2017.02.06 16:38

Figure 1-3 Hydrogramme des débits moyens journaliers pour la rivière Richelieu aux rapides Fryers.

Le pic de crue de cette rivière se produit plus tardivement que celui du fleuve Saint-Laurent, du fait que le lac Champlain lamine significativement la crue. Il faut savoir que les débits de cette rivière sont fortement influencés par la constriction de la rivière Richelieu aux rapides de Saint-Jean à Saint-Jean-sur-Richelieu. Ceci se traduit par une période de crue allongée qui se termine vers la mi-juillet. On ne peut donc simplement additionner les débits des pics de crues.

## E 1.3 Le débit du fleuve Saint-Laurent calculé à Sorel

La fiche décrivant le suivi de l'état du fleuve Saint-Laurent présente un résumé de l'évolution des niveaux et débits du fleuve Saint-Laurent (réf. 29).<sup>1</sup> On y présente un portrait du régime d'écoulement, indiquant qu'il reflète les impacts de la régularisation des apports hydrologiques et des autres interventions humaines. Une analyse des débits du fleuve Saint-Laurent calculés à Sorel pour la période 1932-2012 y est présentée. Le débit maximum serait survenu en avril 1976, culminant à 20 343 m<sup>3</sup>/s. On constate que depuis le début des années 1980, la gestion a contribué à limiter le débit total maximum à 17 000 m<sup>3</sup>/s à Sorel.



Source : Réf. 29

Figure 1-4 Débits calculés à Sorel pour la période 1932-2012

### E 1.3.1 Traitement de la série récente des débits calculés à Sorel

La série temporelle du débit du fleuve à Sorel a été obtenue d'Environnement Canada (communication personnelle). Ce débit est calculé avec un modèle hydrologique d'apport, modèle qui sert à établir les conditions aux limites qui sont imposées au modèle de simulation des écoulements du fleuve Saint-Laurent qui est opérationnel et qui produit les conditions hydrauliques simulées du fleuve Saint-Laurent à chaque jour.

Il faut mentionner que le débit extrême d'avril 1976 s'expliquerait en partie par une gestion inadéquate des débits provenant du bassin de la rivière des Outaouais. Ajoutons que le bilan au niveau de l'Archipel de Montréal a été corrigé suite à la campagne de mesures majeure qui s'est tenue en 2008 et que la courbe affichée à la Figure 1-4 devrait être révisée. Elle présente néanmoins adéquatement une tendance dans la

<sup>1</sup> [http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches\\_indicateurs/Fiche-debits\\_niveaux\\_eau\\_F\\_final.pdf](http://planstlaurent.qc.ca/fileadmin/publications/fiches_indicateurs/Fiche-debits_niveaux_eau_F_final.pdf)

gestion des débits qui vise à limiter le débit à Sorel à un maximum de 15 000 m<sup>3</sup>/s comme l'illustre également la série récente (Figure 1-5). Notons, que depuis le début des années 2000' le débit n'a pas dépassé les 15 000 m<sup>3</sup>/s. La valeur extrême de 2013 s'avère être inexacte, comme discuté à la section suivante.

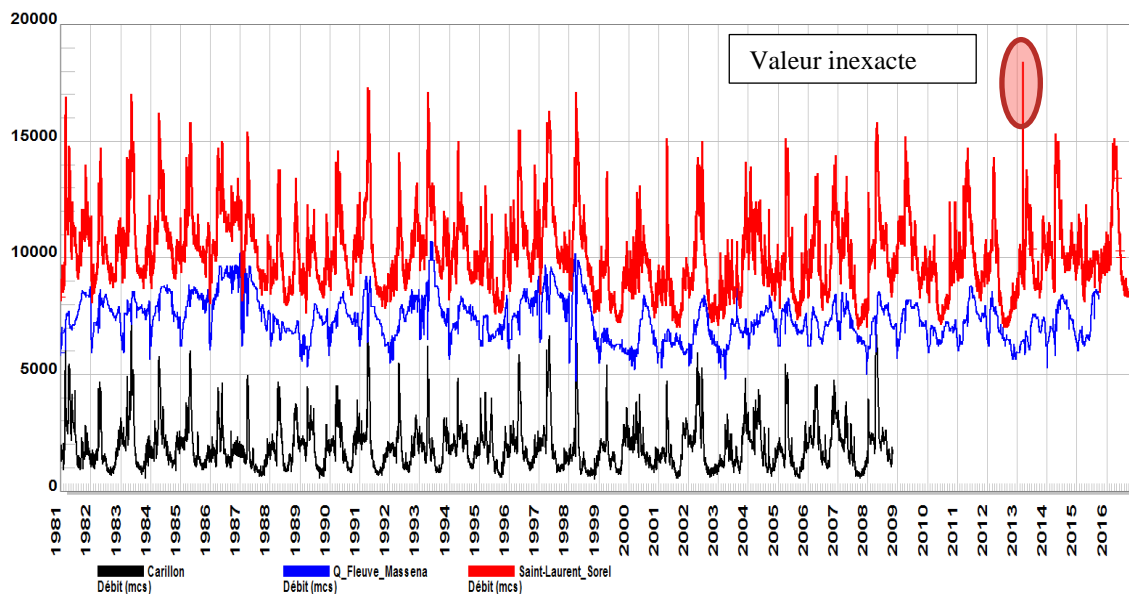


Figure 1-5 Comparaison des débits à Carillon, Massena et Sorel depuis 1980

On constate que la crue exceptionnelle de la rivière Richelieu en 2011 ne s'est pas traduite par des conditions exceptionnelles de débit à Sorel, le pic de crue n'ayant pas franchi la barre des 15 000 m<sup>3</sup>/s durant cette année. Ceci illustre qu'une crue exceptionnelle du Richelieu peut ne pas avoir d'effet catastrophique sur les niveaux d'eau du lac Saint-Pierre. Elle peut toutefois prolonger la durée de la crue du fleuve. Le cas échéant, une demande pourrait être formulée à la CMI pour qu'on diminue les débits sortant à Cornwall de façon à soulager le système en aval, notamment au lac Saint-Pierre.

### E 1.3.2 Analyse du débit exceptionnel relevé en 2013

On remarque également un débit exceptionnellement élevé en 2013. Le tracé de l'hydrogramme et du limnigramme à Sorel pour cette année indique que les débits pour le mois de Mars sont inexacts durant une courte période (« spike » sur la Figure 1-6). Ceci illustre l'importance de toujours inspecter visuellement les séries de données afin de les valider. Deux valeurs journalières ont été corrigées.



Figure 1-6 Débit moyen journalier calculé à Sorel pour 2013 (Environnement Canada)

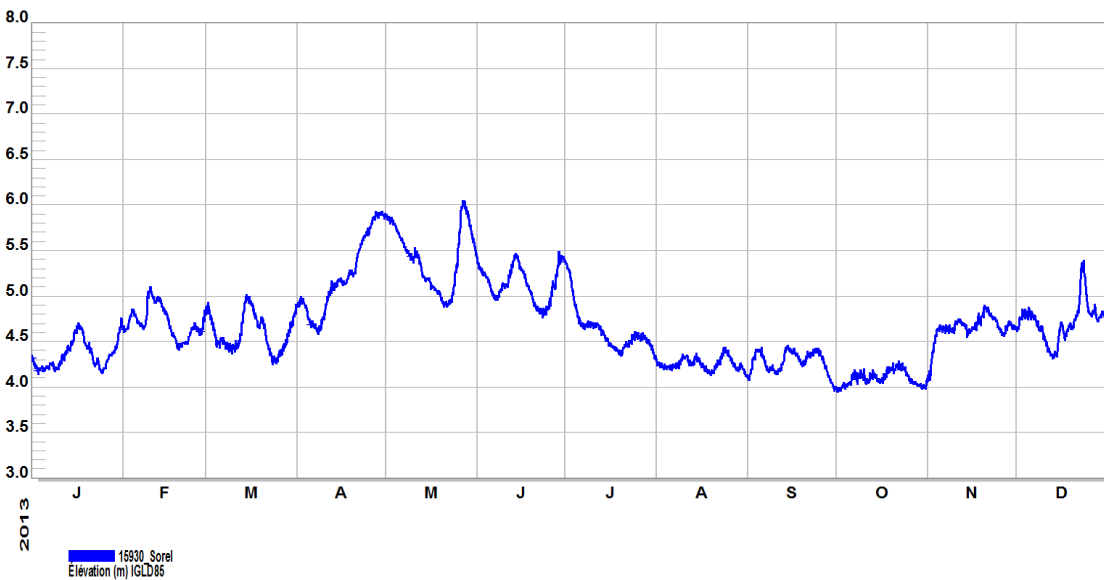
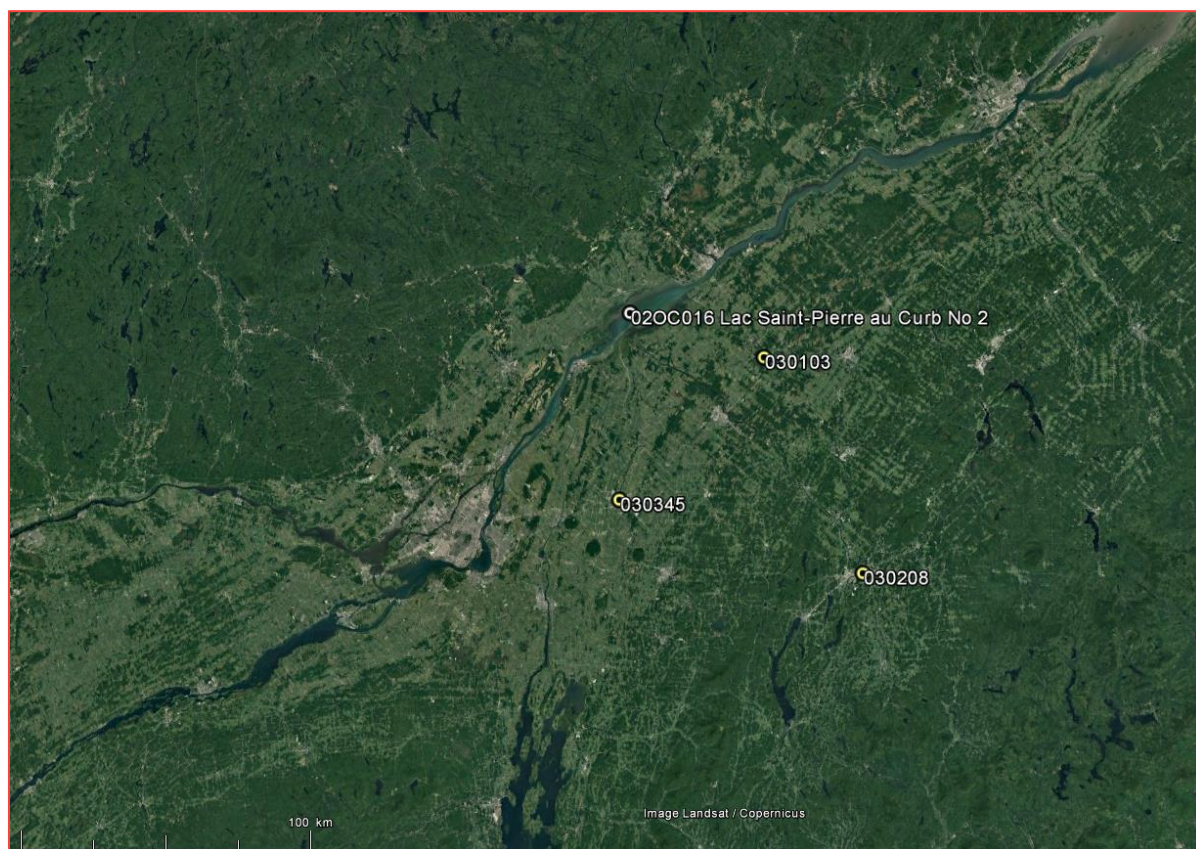


Figure 1-7 Niveau d'eau moyen horaire mesuré à Sorel en 2013.

## E 1.4 Les apports des rivières Saint-François, Yamaska et Nicolet

La superficie totale des bassins versants des trois rivières qui se déversent dans le lac Saint-Pierre en rive droite du fleuve est importante, comparativement à celle des cours d'eau se déversant en rive gauche. La faible élévation des terres en bordure du lac fait en sorte que les stations hydrométriques sont localisées plus au sud pour éviter les effets de courbes de remous. Les débits moyens journaliers ont été extraits des stations 030345 (rivière Yamaska à Saint-Hyacinthe), 030208 (rivière Saint-François à l'embouchure de la rivière Magog) et 030103 (rivière Nicolet en aval de la confluence avec la rivière Bulstrode). Ces stations sont opérées par le MDDELCC (Figure 1-8).



Sources : Google Earth, CEHQ

Figure 1-8 Localisation des stations limnimétriques pour les bassins au sud-est du lac Saint-Pierre

Comme ces stations ne sont pas localisées à l'exutoire, les débits qui sont indiqués aux sections qui suivent sont inférieurs au débit total de la rivière à son entrée dans le lac Saint-Pierre. Une correction doit être apportée pour ajouter les apports du bassin intermédiaire selon le principe affiché à la Figure 1-1. Ces corrections n'ont toutefois pas été calculées, car nous sommes principalement intéressés par la fluctuation des niveaux d'eau du lac Saint-Pierre. Nous désirons cependant évaluer l'importance de ces débits d'apport qui s'ajoutent à ceux calculés pour Sorel. Les hydrogrammes de crue ainsi que les extrêmes enregistrés sont affichés aux sous-sections qui suivent. La comparaison des trois hydrogrammes indique une quasi simultanéité des pics de crues pour les trois rivières (Figure 1-9). Les hydrogrammes des trois rivières sont tracés pour l'année 2011, caractérisée par une forte crue de la rivière Richelieu en avril et mai et par le passage de la dépression tropicale Irène à la fin août. La somme des débits des trois

rivières peut dépasser les 1 500 m<sup>3</sup>/s et même atteindre les 2 000 m<sup>3</sup>/s, sans compter les apports intermédiaires provenant des sous-bassins intermédiaires en aval des stations de mesures. Il s'agit donc d'apports significatifs qui peuvent s'ajouter à la valeur plafond de 15 000 m<sup>3</sup>/s observée récemment à Sorel. Les débits à l'exutoire du lac Saint-Pierre peuvent donc atteindre théoriquement les 17 000 m<sup>3</sup>/s.

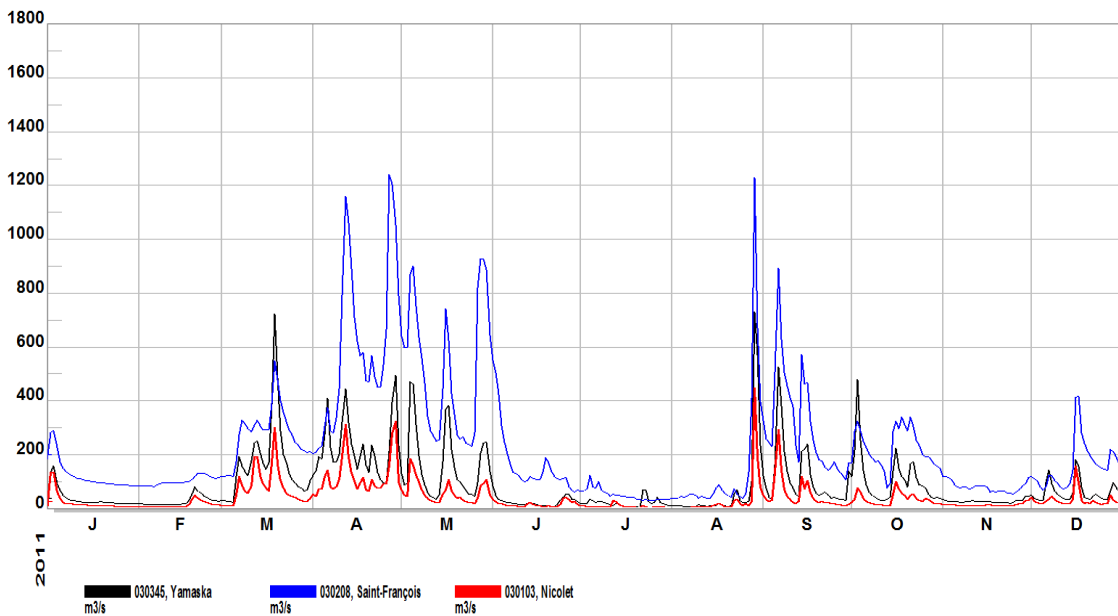
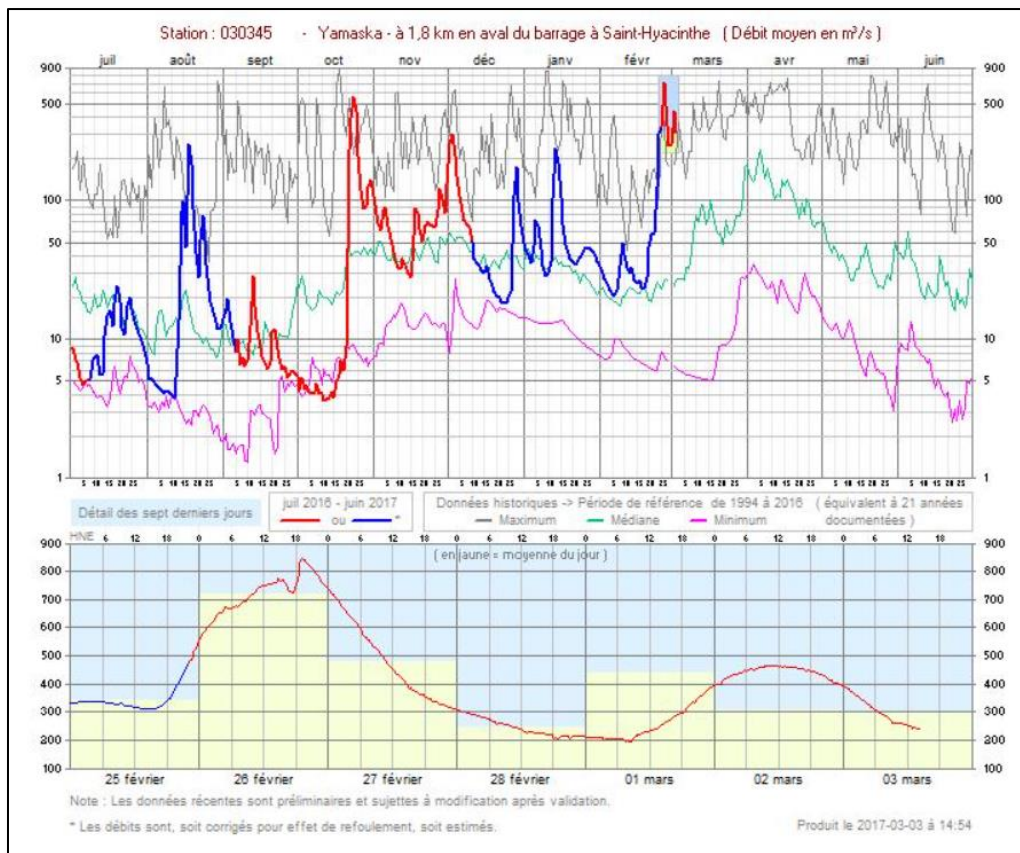
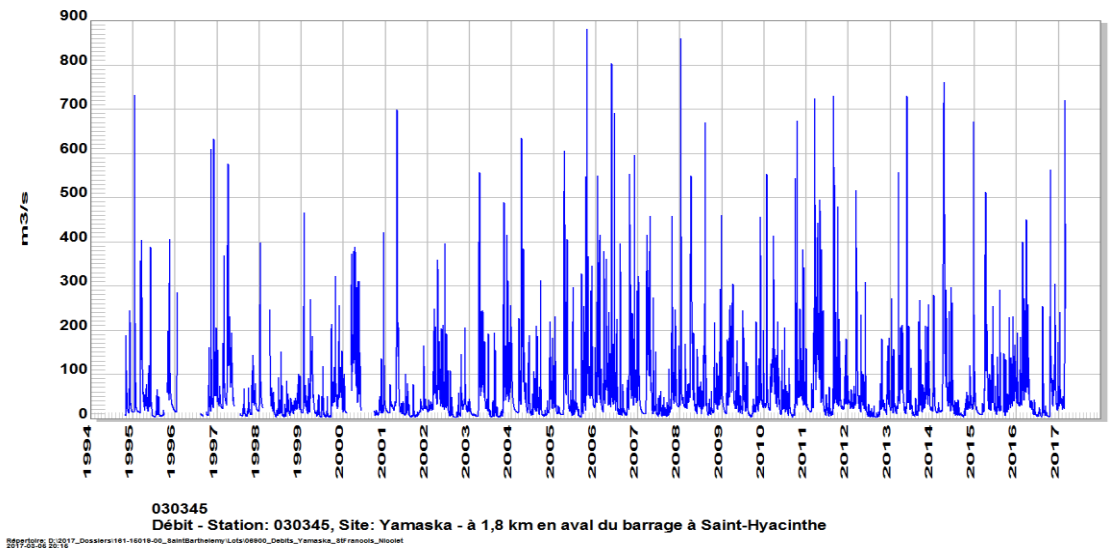


Figure 1-9 Hydrogrammes des rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet pour l'année 2011

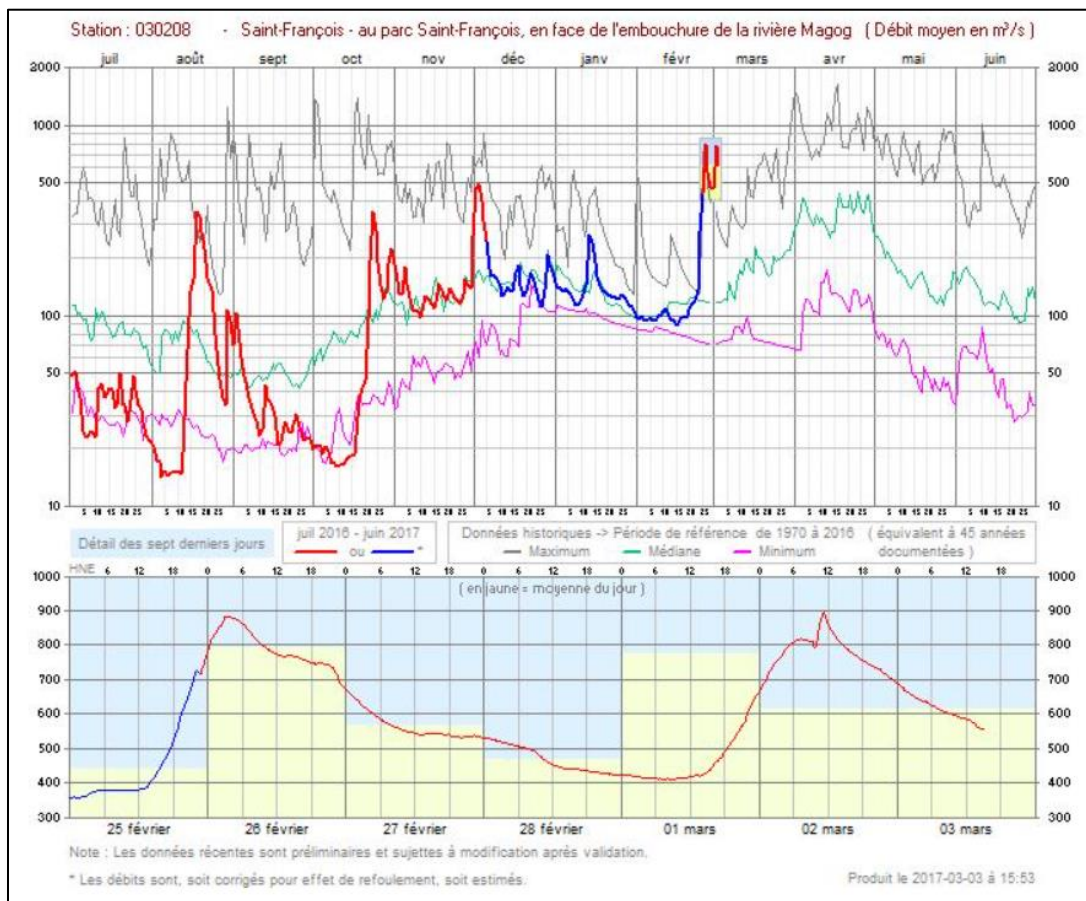
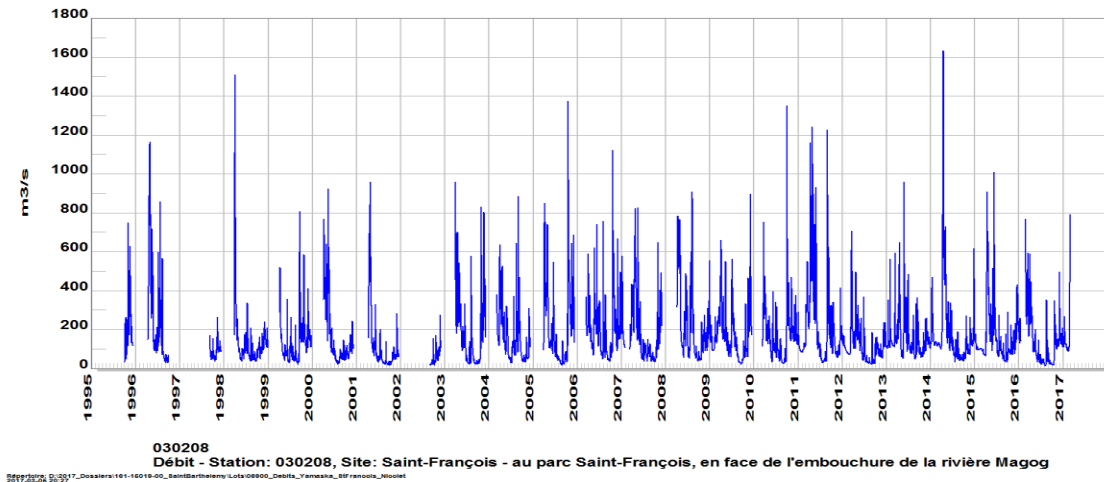
### E 1.4.3 Rivière Yamaska



Source : MDDELCC – Mars 2017

Figure 1-10 Statistiques sur les débits pour la rivière Yamaska à la station 030345

### E 1.4.4 Rivière Saint-François

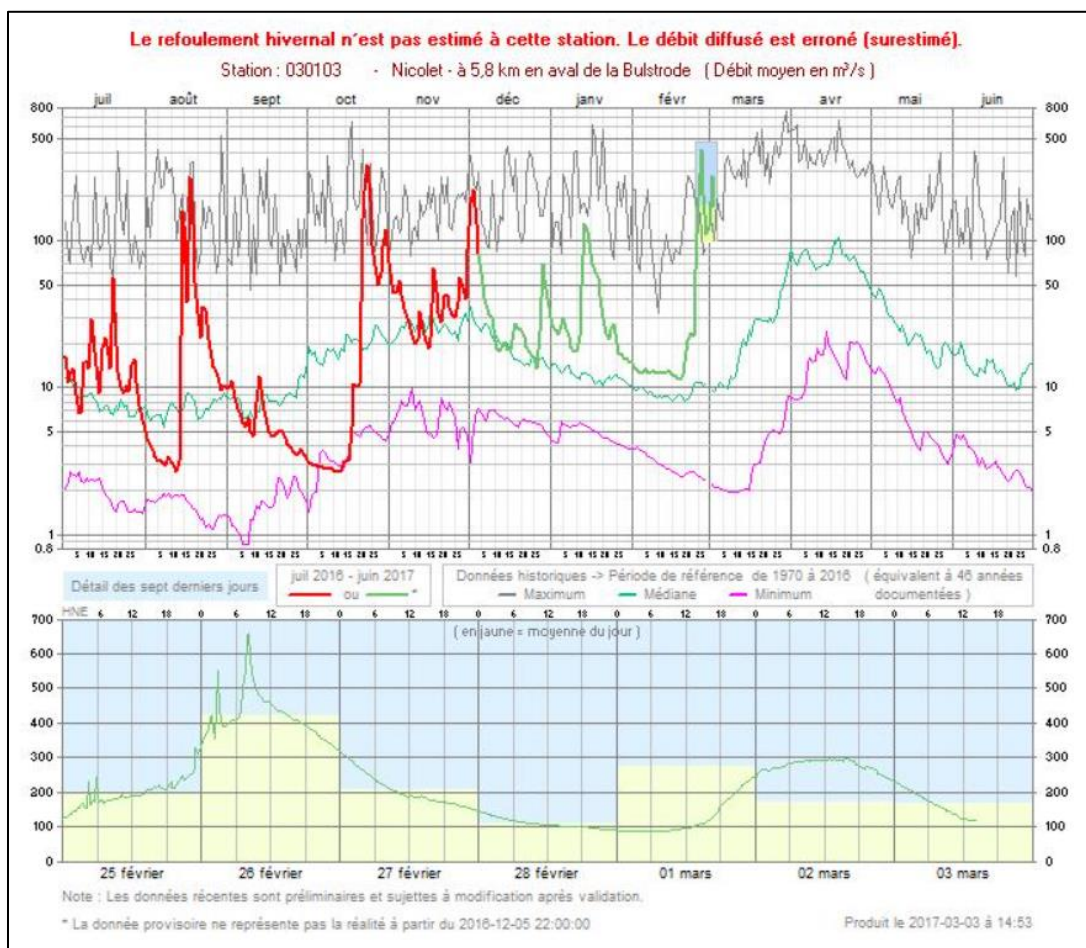
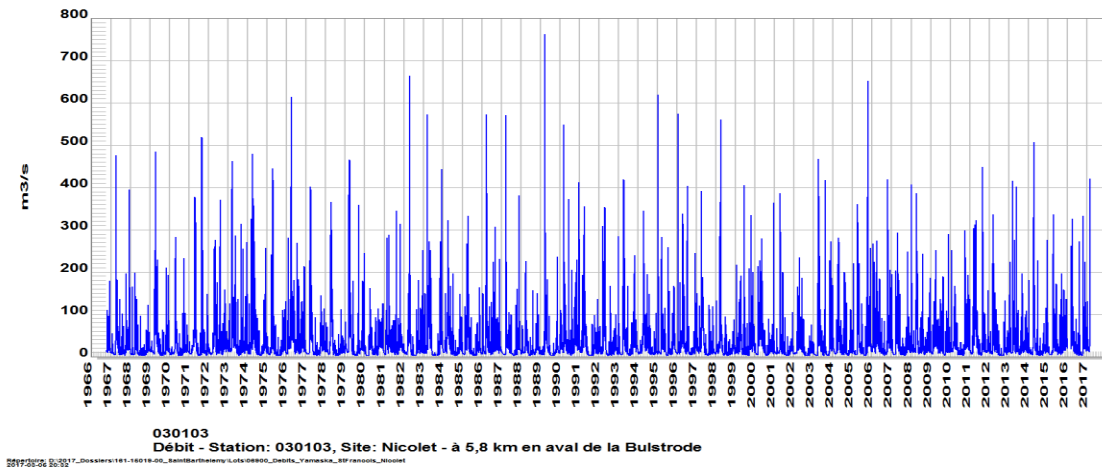


Source : MDDELCC – Mars 2017

Figure 1-11 Statistiques sur les débits pour la rivière Saint-François à la station 030208



### E 1.4.5 Rivière Nicolet



Source : MDDELCC – Mars 2017

Figure 1-12 Statistiques sur les débits pour la rivière Nicolet à la station 030103

## E 2 Modifications anthropiques

### E 2.1 Dragages

Morin et Bouchard (réf. 27) répertorient les épisodes de dragage, indiquant que les interventions les plus massives ont été réalisées dans les années 1950<sup>7</sup>. On en conclut que les conditions d'écoulement dans le fleuve qui sont antérieures au début des années 1960<sup>7</sup> sont différentes de celles qui y sont postérieures.

Tableau 2-1 Périodes de dragage du fleuve Saint-Laurent

Période	Profondeur	Largeur	Endroit
Pré-1844	Max 3.2 m	~	
1844-1847	4.2 m	45 m	Banc de sable et d'argile, secteur restreint du lac Saint-Pierre, tentative avortée de construire un chenal rectiligne
1850-1851	4.2 m	45 m	Dragage principalement dans le chenal naturel du lac Saint-Pierre
1854-1856	4.8 m	45 m	Lac Saint-Pierre, et autres endroits
1856-1865	6.1 m	75 m	Lac Saint-Pierre, et autres endroits
1888	7.6 m		
	8.4 m	135 m	
1888-1907	9.0 m	135 m	
1912-1930	10.7 m	168 m	Montréal à Batiscan
1952-1954		245 m droit 457 m courbe	Montréal à Québec
1954-1971			Aménagements localisés
1973-1974			Aire de mouillage de Montréal-Nord

Source : Morin et Bouchard, 2001

### E 2.2 Effets des revoirs

Cinq revoirs ont été construits entre septembre 1928 et novembre 1931 (Morin et Bouchard, 2001) dans les chenaux des îles de Sorel pour aider à supporter les activités de navigation commerciale. Ces ouvrages servent à rehausser le niveau d'eau jusqu'au port de Montréal en période de faible débit du fleuve Saint-Laurent. Ils sont discernables sur des figures de l'annexe D. L'effet sur les niveaux d'eau à Sorel varierait entre 4 et 18 cm selon une étude réalisée en 1996. Une étude antérieure établissait le rehaussement entre 12 et 29 cm. Ils ont été l'objet de réfections à de multiples reprises jusqu'en 1941. Ils ont été restaurés aux cotes de dimensionnement de 1931 à la fin de l'été 1965.

## E 2.3 Événements ayant influencé le régime hydrique du fleuve

Ce survol succinct des caractéristiques des bassins situés en amont du lac Saint-Pierre permet d'identifier certaines dates significatives quant à la gestion des débits entrant dans le système hydrique du fleuve Saint-Laurent. Ces dates sont consignées au Tableau 2-2

Tableau 2-2 Événements ayant influencés le régime d'écoulement du système Grands Lacs – Fleuve Saint-Laurent

Année	Région	Description
1797	Lac Supérieur	Construction d'une écluse de 38 pieds de longueur à Sault Ste-Marie. Cette écluse a été détruite durant la guerre de 1812. <sup>2</sup>
1855	Lac Supérieur	Mise en opération de deux écluses par l'état du Michigan à Sault Ste-Marie.
1881	Lac Supérieur	Écluses sous la juridiction du US Army Corps of Engineers
1952-54	Fleuve Saint-Laurent	Dragage entre Montréal et Québec
1958	Lac Ontario	Mise en opération du barrage Moses-Saunders reliant Cornwall et Massena <sup>3</sup> . Ce barrage a créé le lac St-Lawrence.
1960	Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent	Mise en opération du plan 1958-A par la CMI pour la régularisation des niveaux d'eau du lac Ontario <sup>4</sup>
1962	Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent	Mise en opération du plan 1958-C par la CMI
1963	Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent	Mise en opération du plan 1958-D par la CMI. Ce plan a été suivi jusqu'en janvier 2017
1970	Fleuve Saint-Laurent à Montréal	Modifications au régime hydrique hivernal par utilisation de brise-glaces dans la région de Montréal
1976	Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent	Mauvaise gestion de la crue de printemps pour la rivière des Outaouais et le lac Ontario

<sup>2</sup> <http://www.saultstemarie.com/attractions/soo-locks/>

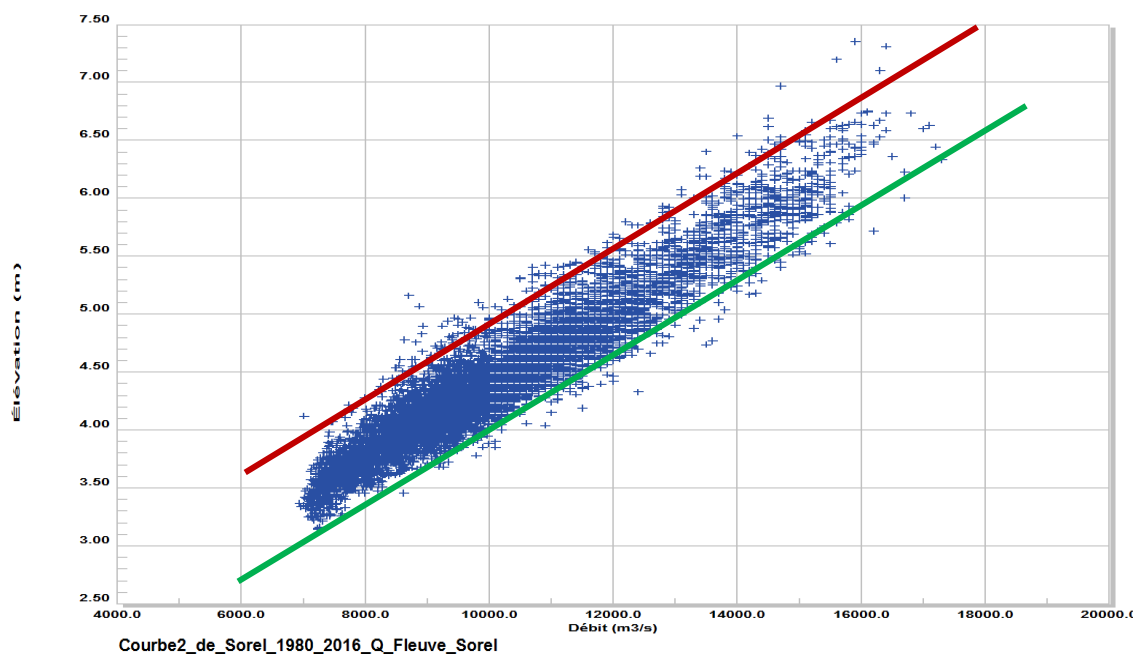
<sup>3</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Moses-Saunders\\_Power\\_Dam](https://en.wikipedia.org/wiki/Moses-Saunders_Power_Dam)

<sup>4</sup> <http://www.ijc.org/loslr/en/background/>

<b>1980</b>	Lac Supérieur	Modification au plan de gestion pour l'ensemble Lac Supérieur/Lac Huron-Michigan pour mieux équilibrer les apports entre les deux plans d'eau
<b>1983</b>	Rivière des Outaouais	Création du Ottawa River Regulation Board pour la gestion intégrée des débits de la rivière des Outaouais
<b>1986</b>	Rivière des Outaouais	Mise en opération du barrage Grand-Moulin sur la rivière des Mille Îles. Mise en œuvre d'une gestion des apports par l'instauration d'une réserve de crue dans le bassin de la rivière des Outaouais. Gestion améliorée des apports de crue.
<b>1998</b>	Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent	Très bonne gestion d'une crue importante de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent
<b>2010</b>	Favre et Al	Analyse statistique des débits d'apports à Varennes qui indique que les données
<b>2013</b>	Lac Michigan/Huron	Remise en question des débits sortants de ce plan d'eau
<b>2017</b>	Lac Ontario/Fleuve Saint-Laurent	Changement au plan de gestion des niveaux d'eau du lac Ontario

### E 3 Relation entre le niveau mesuré au lac Saint-Pierre et le débit calculé à Sorel

La Figure 3-1 présente la relation entre le niveau maximum journalier mesuré à la courbe #2 du lac Saint-Pierre et le débit calculé à Sorel par Environnement Canada pour la période 1980-2016, d'avril à décembre inclus, soit la période considérée libre de glace.



Source: D:\2017\_Dossiers\161-16018-00\_SaintBarthelemy\Lots\19000\_RelationNiveauDebit\_Sorel\_LacStPierre  
2017-05-08 09:44

Figure 3-1 Relation entre le débit du fleuve calculé à Sorel et le niveau d'eau mesuré à la courbe #2 du lac Saint-Pierre pour le mois d'avril à décembre de 1980 à 2016

Ceci s'explique par un milieu à faible pente d'écoulement pour lequel le phénomène d'hystérèse existe, soit un niveau différent du plan d'eau selon qu'on se situe en épisode de montée ou de descente de crue. En montée de crue le niveau est plus bas alors qu'en descente de crue, le niveau est plus élevé. À ce phénomène s'ajoute les apports supplémentaires provenant des rivières Yamaska, Saint-François et Nicolet en période de crue, qui gonflent le lac Saint-Pierre. Finalement, l'importance du débit de la rivière Saint-Maurice et l'influence de la marée à Trois-Rivières viennent ajouter un bruit supplémentaire au signal. Acceptons également une imprécision dans l'évaluation des apports provenant de modèle de calcul des apports en eau pour les tributaires. On peut évaluer les conditions extrêmes pouvant être vécues en traçant deux droites qui enveloppent le nuage de points de part et d'autre. On constate que pour une même valeur de débit, disons 12 000 m<sup>3</sup>/s, le niveau du lac peut varier d'environ 1 mètre.

Cette analyse permet de conclure qu'on ne peut établir de cotes de crues par une analyse des débits du fleuve Saint-Laurent. On doit donc privilégier l'analyse des niveaux d'eau du lac Saint-Pierre qui intègre toutes les influences mentionnées ci-haut.

## E 4 Cycles, tendances et effets des changements climatiques

Nous avons vu aux sections précédentes que l'archipel de Montréal et le bief du fleuve reliant Montréal à Trois-Rivières sont soumis à l'influence des débits provenant du bassin des Grands Lacs et du bassin de la rivière des Outaouais. Sauf en période de crue, c'est principalement le débit provenant des Grands Lacs qui dicte les niveaux d'eau dans les lacs Saint-Louis et Saint-Pierre.

Nous avons également établi que l'implantation d'ouvrages de régularisation dans le bassin des Grands Lacs masque partiellement la réponse naturelle de chacun des Grands Lacs aux apports naturels (précipitation, évaporation et ruissellement). L'indicateur qui nous permet d'établir s'il y a des modifications décelables présentement dans les apports aux Grands Lacs est le volume total d'eau disponible dans ce bassin. L'analyse de la variation temporelle de ce volume a fait l'objet de la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

### E 4.1 Discussion sur les changements climatiques

Selon Ouranos (2015, réf. 56), les faits saillants concernant le régime hydrique des rivières du Québec sont :

- « On s'attend à une augmentation des débits hivernaux moyens des rivières pour l'ensemble du Québec pour l'horizon 2041-2070. Le consensus est élevé (supérieur à 90%) parmi l'ensemble des projections hydroclimatiques utilisées. »
- « Les rivières du Nord du Québec pourraient connaître des augmentations des débits moyens au printemps et en automne pour le même horizon (consensus modéré). »
- « La plupart des rivières du Sud du Québec peuvent s'attendre à une baisse des débits moyens en été, au printemps et en automne (consensus modéré). »

Rien n'indique donc qu'il y aurait augmentation du débit de pointe de crue. Par ailleurs, l'analyse de l'évolution des stocks d'eau dans les Grands Lacs (Se référer à l'annexe traitant de l'hydrologie des Grands Lacs) n'indique aucune tendance quant à l'évolution du volume d'eau global contenu dans les Grands Lacs depuis les cent dernières années. Des fluctuations de part et d'autre d'une valeur moyenne sont présentes, associées à une suite de cycles d'épisodes de climat sec ou humide mais aucune tendance, que ce soit à la hausse ou à la baisse n'est décelable.

En conclusion, l'évolution récente des stocks d'eau dans le bassin des Grands se situe toujours à l'intérieur des limites historiques. Ceci ne permet pas d'établir que les événements climatiques des dernières années ont créé des conditions exceptionnelles. On ne peut donc envisager, au moment d'écrire ces lignes, que la situation future différera des conditions actuelles.

## E 5 Constats

Les traitements des séries de données, la consultation de références et l'analyse réalisée dans le cadre de ce mandat permettent de formuler ces constats :

1. Le niveau d'eau du lac Saint-Pierre dépend fortement de la somme des débits provenant du lac Ontario (Cornwall) et de la rivière des Outaouais.
2. Le bief reliant Montréal à Trois-Rivières est sous régime fluvial. Les niveaux d'eau mesurés tout le long de ce bief sont influencés par le niveau d'eau mesuré à Trois-Rivières.
3. Que pour un même débit total d'apport à Sorel (se référer aux événements du 11 et du 18 novembre 2016) le niveau du lac Saint-Pierre peut varier d'un demi-mètre.
4. Par conséquent, on ne peut utiliser une relations niveau-débit classique pour établir un niveau d'eau du lac Saint-Pierre à partir d'un débit.
5. Par conséquent on ne peut produire d'analyse statistique sur les débits pour établir les conditions qui correspondent à des niveaux d'inondation de 2, 20 et 100 ans.
6. Qu'il existe une série infinie de combinaisons de débits d'apports et du niveau d'eau à Trois-Rivières, qui est la limite aval retenue pour fins d'analyse) contribuant à produire les niveaux d'eau observés au lac Saint-Pierre.
7. Que la seule variable qui permet d'intégrer toutes les contributions au système hydrique s'avère être le niveau d'eau mesuré au lac Saint-Pierre depuis le début des années 1980.
8. Que les travaux réalisés pour construire la voie maritime et les changements aux plans de gestion retenus limitent la période pour laquelle les données sont considérées homogènes à la période postérieure au début des années 1970.
9. Qu'une gestion inadéquate des crues de la rivière des Outaouais durant les années 1970' a produit des conditions non naturelles et inhabituelles.
10. Que les connaissances en matière d'utilisation de modèles hydrologiques prévisionnels étaient sommaires au début des années 1980' mais qu'elles ont désormais atteint une certaine maturité.
11. Tous ces constats incitent à retenir la période 1980-2016 comme étant celle pour laquelle les données des séries temporelles sont considérées homogènes.
12. Les calculs des cotes de crues doivent donc être établies par analyse statistique de la série des niveaux d'eau mesurés au lac Saint-Pierre en période libre de glace.

En conséquence, on préconise, dans le cadre de cette étude, de retenir la série temporelle des niveaux d'eau moyens journaliers mesurés au lac Saint-Pierre durant la période 1980-2016 pour réaliser les analyses statistiques menant à la détermination des cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans au lac Saint-Pierre et à Sainte-Anne-de-Sorel.

Pour le bief Varennes\Trois-Rivières, on retient cette même période pour l'analyse des séries temporelle des niveaux d'eau moyens journaliers mesurés.





# ANNEXE

**F**

ANALYSE DES NIVEAUX D'EAU  
DU TRONÇON MONTRÉAL\LAC  
SAINT-PIERRE



# ANNEXE F

## Analyse des niveaux d'eau du tronçon Montréal\Lac Saint-Pierre

### TABLE DES MATIÈRES

F 1	STATIONS ANALYSÉES .....	2
F 2	STATION DE TROIS-RIVIÈRES .....	4
F 3	STATION DE PORT SAINT-FRANÇOIS .....	5
F 4	STATION DU LAC SAINT-PIERRE À LA COURBE #2 (CURB #2) .....	6
F 5	STATION DU LAC SAINT-PIERRE À LOUISEVILLE .....	8
F 6	STATION DE SOREL .....	8
F 7	STATION DE TRACY .....	12
F 8	STATION DE LANORAIE .....	13
F 9	STATION DE LAVALTRIE .....	15
F 10	STATION DE CONTRECOEUR .....	16
F 11	STATION DE CONTRECOEUR-IOC.....	17
F 12	STATION DE VERCHÈRES .....	17
F 13	STATION DE REPENTIGNY .....	18
F 14	STATION DE VARENNES .....	19
F 15	DISCUSSION .....	20



## F 1 Stations analysées

Treize stations limnimétriques sont localisées entre Varennes et Trois-Rivières. Toutes les données disponibles ont été obtenues, traitées et analysées. Elles permettent d'établir les variations du niveau d'eau le long de ce tronçon du fleuve Saint-Laurent. Les stations peuvent être localisées sur la Figure 1-1. Les coordonnées des stations ainsi que les périodes de mesures sont indiquées au Tableau 1-1.

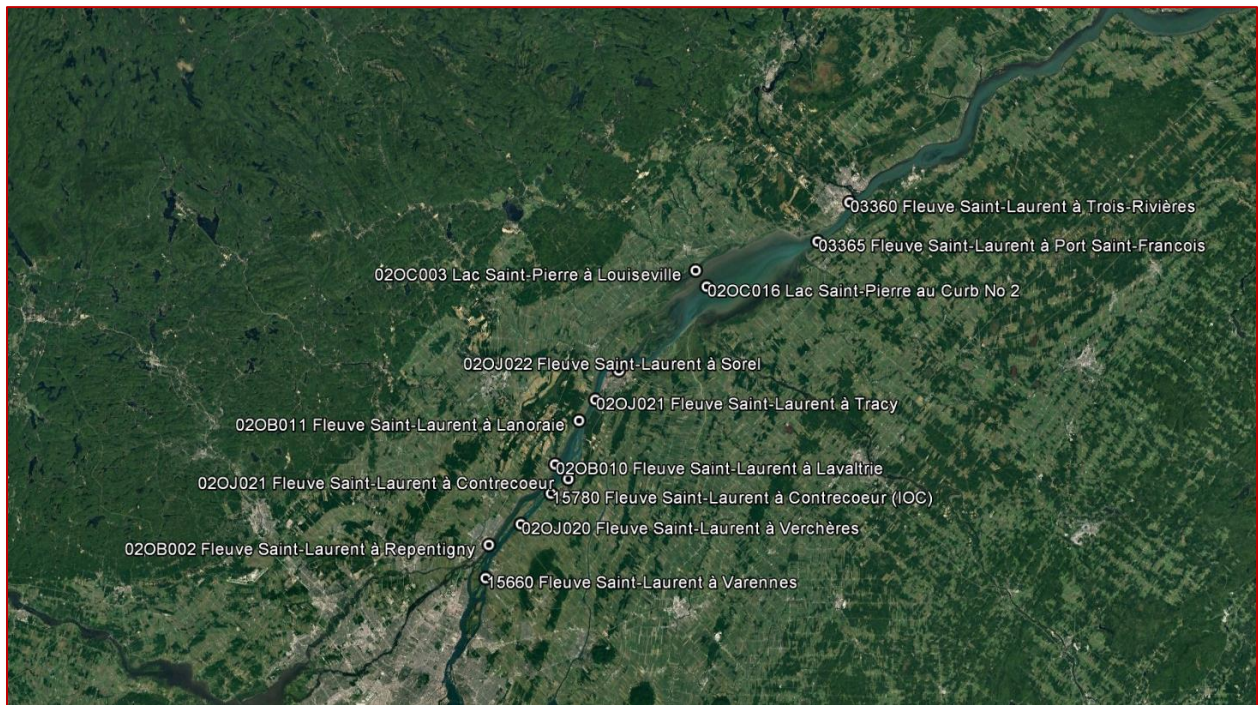


Figure 1-1 Localisation des stations limnimétriques le long du fleuve Saint-Laurent entre Varennes et Trois-Rivières.

Les données obtenues sont au pas de temps horaire. Tous les limnigrammes sont tracés aux sections qui suivent. Ces limnigrammes sont tracés par rapport au référentiel IGLD85 (« International Great Lakes Datum of 1985 ») pour faciliter l'analyse des signaux entre eux. Certains sont également tracés par rapport au zéro des cartes (ZC ou CD pour « chart datum »). Ce dernier niveau, qui est arbitraire et qui varie de station en station, est utilisée pour fixer le niveau bas rarement atteint, ce qui est utile pour la navigation.

Tableau 1-1 Stations limnimétriques analysées

Station	Latitude	Longitude	Id	IGLD85 (m)	Période
Trois-Rivières	46°20'25.80"N	72°32'21.00"O	03360	2,942	1913-1939 1958-2016
Port Saint-François	46°16'21.01"N	72°37'9.60"O	03365	2,987	1966-2016
Lac Saint-Pierre (courbe #2)	46°11'36.90"N	72°53'50.37"O	02OC016	3,390	1914-1957 1979-2016
Lac Saint-Pierre (Louiseville)	46°13'17.00"N	72°55'31.00"O	02OC003	3,305	1985
Sorel	46° 2'49.00"N	73° 6'58.00"O	02OJ022	3,775	1966-2016
Tracy	45°59'46.00"N	73°10'28.00"O	02OJ021	-----	1986-1988
Lanoraie	45°57'34.00"N	73°12'53.00"O	02OB011	3,917	1966-1976
Lavaltrie	45°52'60.00"N	73°16'25.00"O	02OB010	4,258	1966-1973
Contrecoeur	45°51'29.00"N	73°14'25.00"O	02OJ021	4,288	1966-1993
Contrecoeur IOC	45°49'57.60"N	73°16'59.40"O	15780	4,411	1992-2016
Verchères	45°46'44.00"N	73°21'27.00"O	02OJ020	4,439	1961-1979
Repentigny	45°44'32.00"N	73°26'12.00"O	02OB002	4,715	1961-1976
Varennes	45°41'3.60"N	73°26'37.20"O	15560	4,836	1961-2016

## F 2 Station de Trois-Rivières

Les mesures à la station de Trois-Rivières débutent en 1913, mais les mesures utiles débutent en 1960, suite à l'ouverture de la voie maritime du Saint-Laurent.

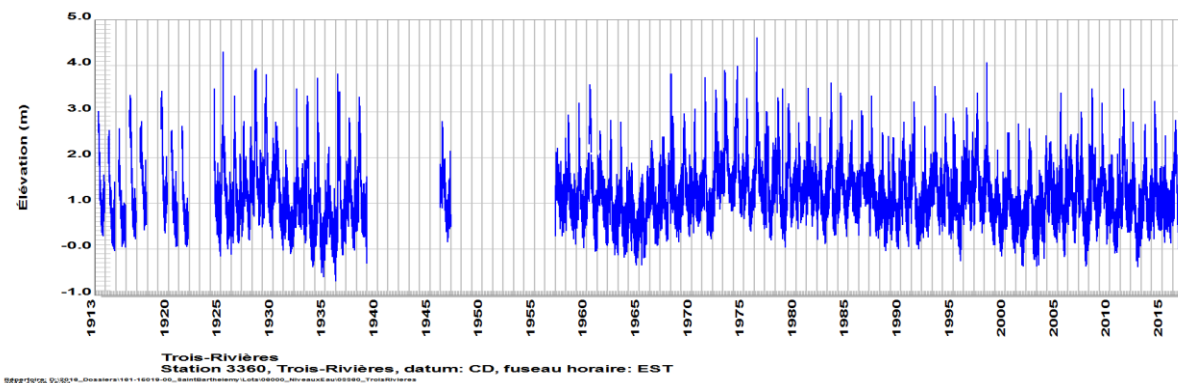


Figure 2-1 Niveaux d'eau mesurés à Trois-Rivières (ZC) de 1913 à 2016

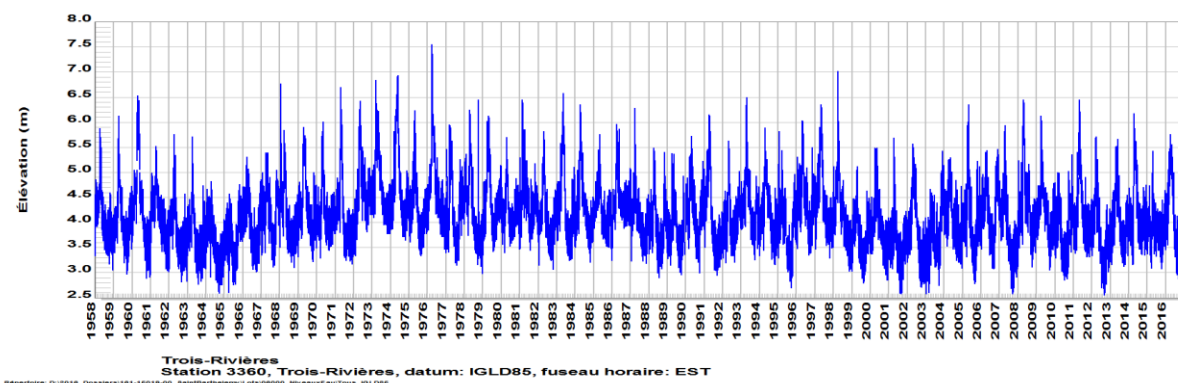


Figure 2-2 Niveaux d'eau mesurés à Trois-Rivières (IGLD85) de 1958 à 2016

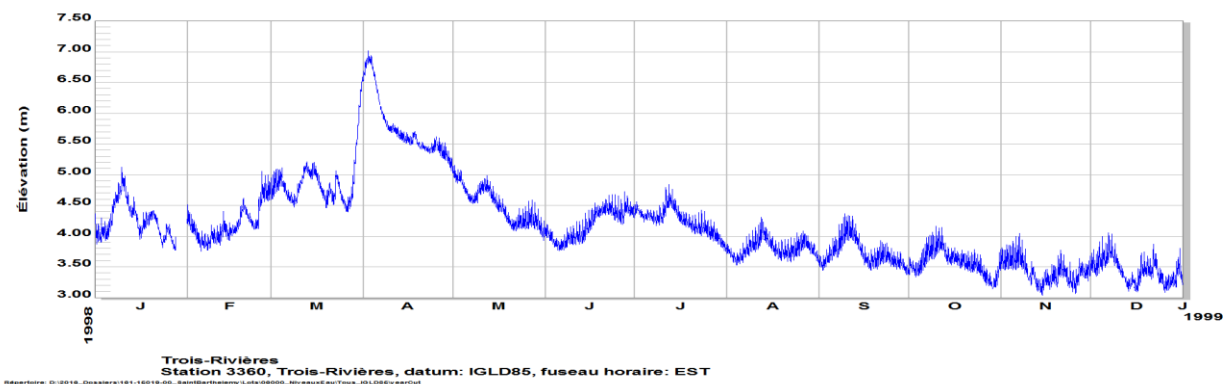


Figure 2-3 Niveaux d'eau enregistrés au pas de temps horaire à Trois-Rivières en 1998

### F 3 Station de Port Saint-François

Les niveaux d'eau ont été mesurés durant trois périodes de temps, soit de 1966 à 1976, de 1981 à 1995 et finalement de 2000 jusqu'à ce jour. Cette station est située un peu en aval de l'exutoire du lac Saint-Pierre et l'effet de la marée y est perceptible.

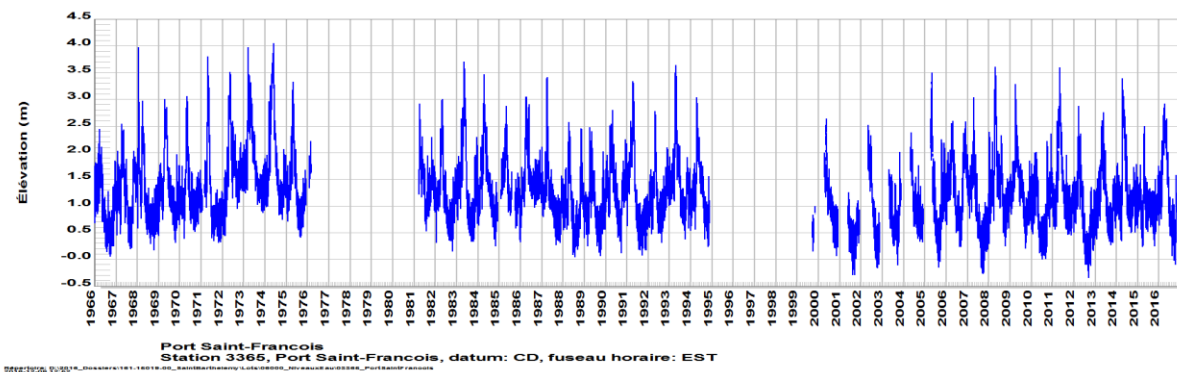


Figure 3-1 Niveaux d'eau mesurés à Port Saint-François (ZC)

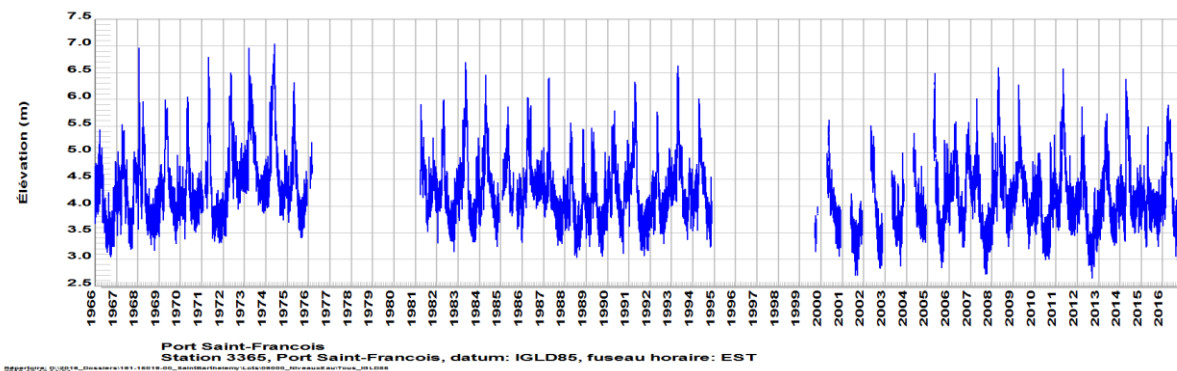


Figure 3-2 Niveaux d'eau mesurés à Port Saint-François (IGLD85)



Figure 3-3 Niveaux d'eau mesurés en 1974 à Port Saint-François



## F 4 Station du Lac Saint-Pierre à la courbe #2 (curb #2)

Les mesures du niveau d'eau au lac Saint-Pierre couvrent deux périodes distinctes. La première débute en 1914 et se termine à la fin des années 1950, soit avant la mise en opération de la voie maritime Saint-Laurent. La seconde période débute en 1980 et la mesure se poursuit jusqu'à ce jour. Il est intéressant de noter que ce n'est que depuis que la voie maritime est ouverte que les niveaux ont dépassé la cote de 3,5 m (CD) ou (7,0 IGLD85) et ce à deux reprises soit en 1981 et 1998. En 1981, le niveau maximum a été atteint à la fin février et on peut donc attribuer ce haut niveau à un effet d'embâcle à l'exutoire du lac. Ceci explique le rehaussement rapide du niveau d'eau qui est de l'ordre de 2 m en moins d'une semaine. En période normale de crue, le niveau n'a pas dépassé la cote 6,5 m IGLD85).

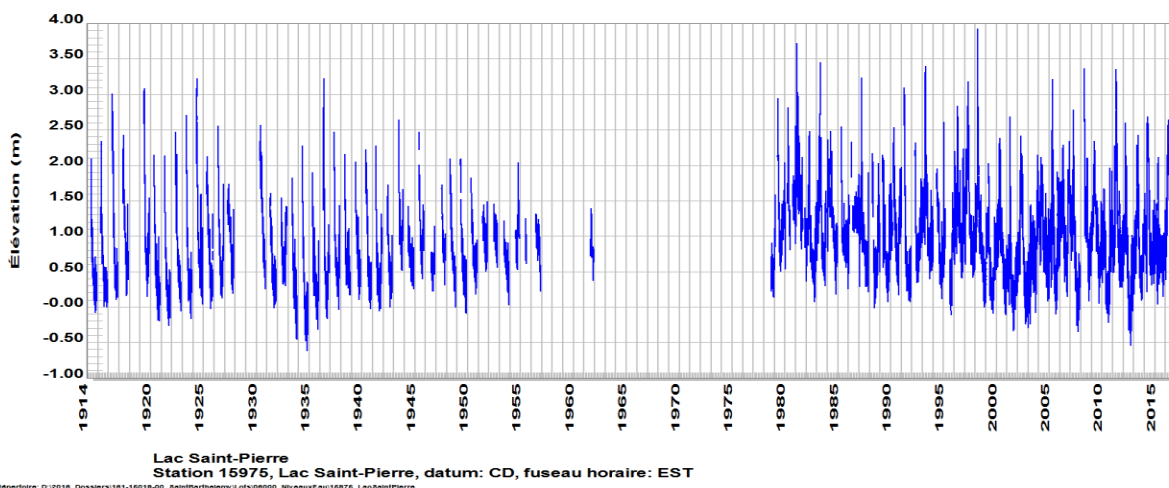


Figure 4-1 Niveaux d'eau mesurés à la station 15975 du lac Saint-Pierre, à la courbe #2 (ZC)

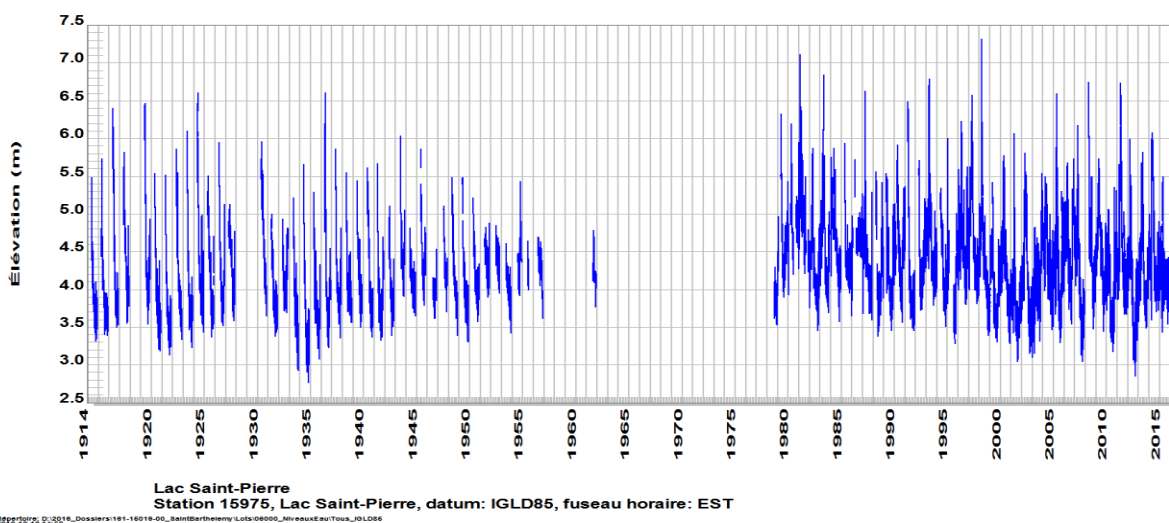


Figure 4-2 Niveaux d'eau mesurés à la station 15975 au lac Saint-Pierre à la courbe #2 (IGLD85)

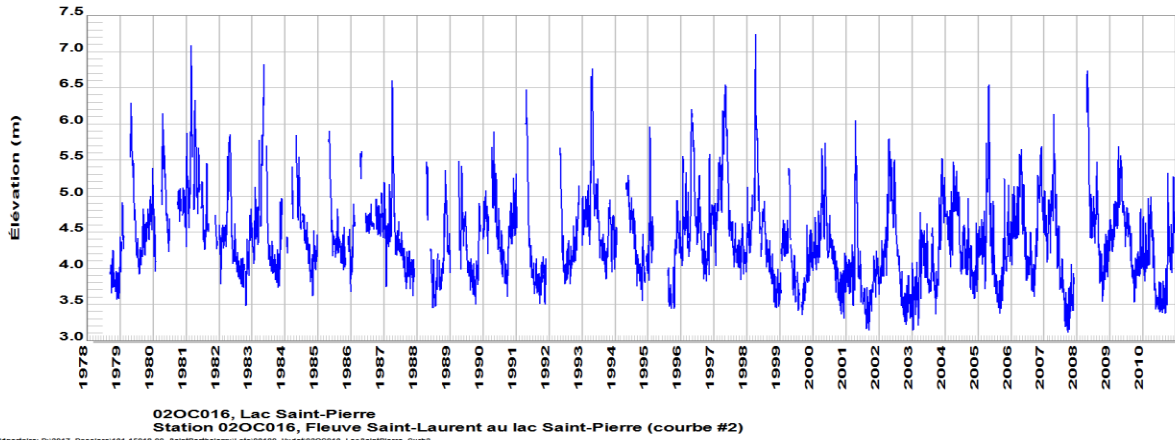


Figure 4-3 Niveaux d'eau mesurés à la station 02OC016 au lac Saint-Pierre à la courbe #2 (IGLD85)



Figure 4-4 Épisode de la crue de 1981 au lac Saint-Pierre (IGLD85)

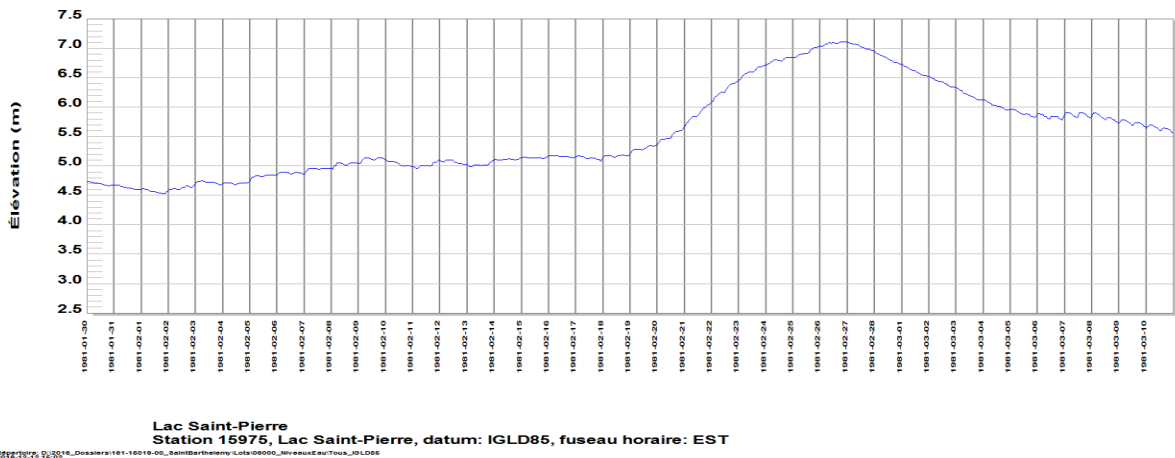


Figure 4-5 Épisode de la crue de 1981 au lac Saint-Pierre (IGLD85)

## F 5 Station du Lac Saint-Pierre à Louiseville

La période d'enregistrement est très courte et couvre moins d'un mois en 1985. On observe toutefois que le niveau d'eau du lac peut varier d'environ 40 centimètres en un court laps de temps. Ces variations à cette période de l'année ne s'expliquent que par une fluctuation du débit du fleuve.

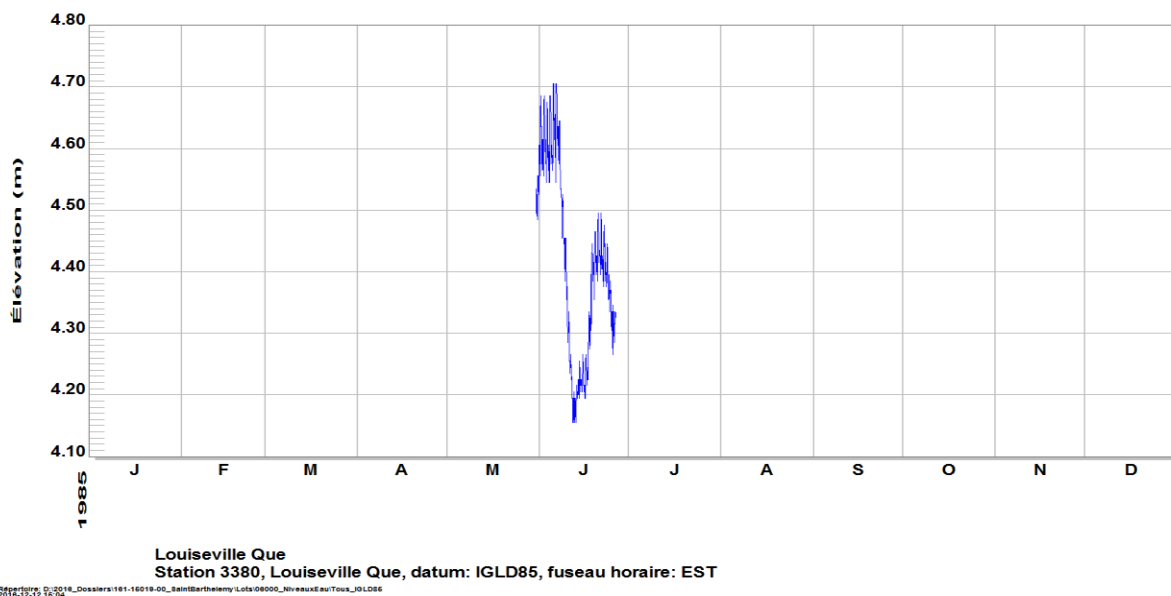
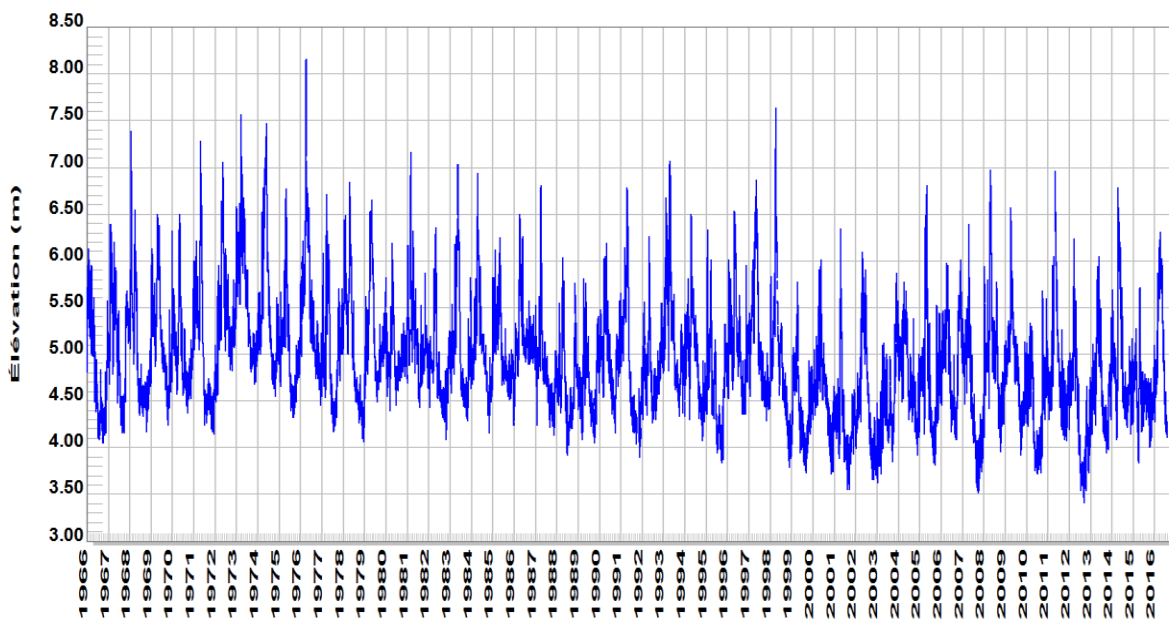


Figure 5-1 Niveaux d'eau mesurés au lac Saint-Pierre à Louiseville (IGLD85)

## F 6 Station de Sorel

La station de Sorel couvre quasiment complètement la période qui suit l'ouverture de la voie maritime du Saint-Laurent. On observe que, de 1966 à 1980, les niveaux d'eau minima étaient rarement inférieurs à la cote 4,0 m IGLD85. Depuis le début des années 1990' les niveaux d'eau minima demeurent longtemps sous cette barre, atteignant même la cote 3,5 m IGLD85 à quelques reprises. Cette valeur plancher a même été défoncée à l'automne 2012 pour atteindre 3,42 m le 12 septembre. Les niveaux mesurés à la station de Sorel peuvent toutefois être influencés par un fort débit provenant de la rivière Richelieu. La crue exceptionnelle de 1976 a produit un niveau d'eau plus élevé d'environ un demi-mètre par rapport à la crue de 1998. La différence d'élévation entre Sorel et la courbe 2 du lac Saint-Pierre est de 2 centimètres à la fin février 1981. Cette différence est inhabituelle, peut s'expliquer par la présence d'un embâcle en aval. L'analyse de la Figure 6-3 indique que l'instrument de mesures du lac Saint-Pierre semble avoir été déplacé car les niveaux sont sensiblement similaires à ceux de Sorel de la mi-février jusqu'à la fin juin. La figure suivante (Figure 6-4) présente un écart de niveau qui est normalement observé entre les deux stations. Pour l'année 1998, le niveau d'eau a culminé à l'élévation 7,62 m à Sorel et à l'élévation 7,32 m à la courbe #2 le 2 avril. La différence est donc de 30 cm à ce moment.

En 1976, la cote du pic de crue au lac Saint-Pierre est inconnue. On sait par contre que la cote a atteint 8,16 m à Sorel. Considérant une perte de charge de 30 cm observée lors de l'événement de 1998, le niveau du lac à la courbe #2 aurait atteint une cote de 7,86 m.



Sorel  
Station 15930, Sorel, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST

Répertoire: D:\2016\_Dossiers\101-16018-00\_bain\Barthelemy\Lots\08000\_NiveauxEauTous\_IGLD85  
2016-12-12 16:06

Figure 6-1 Niveaux d'eau mesurés à Sorel (IGLD85)



Figure 6-2 Niveaux d'eau mesurés à Sorel (IGLD85) lors de la crue de 1976

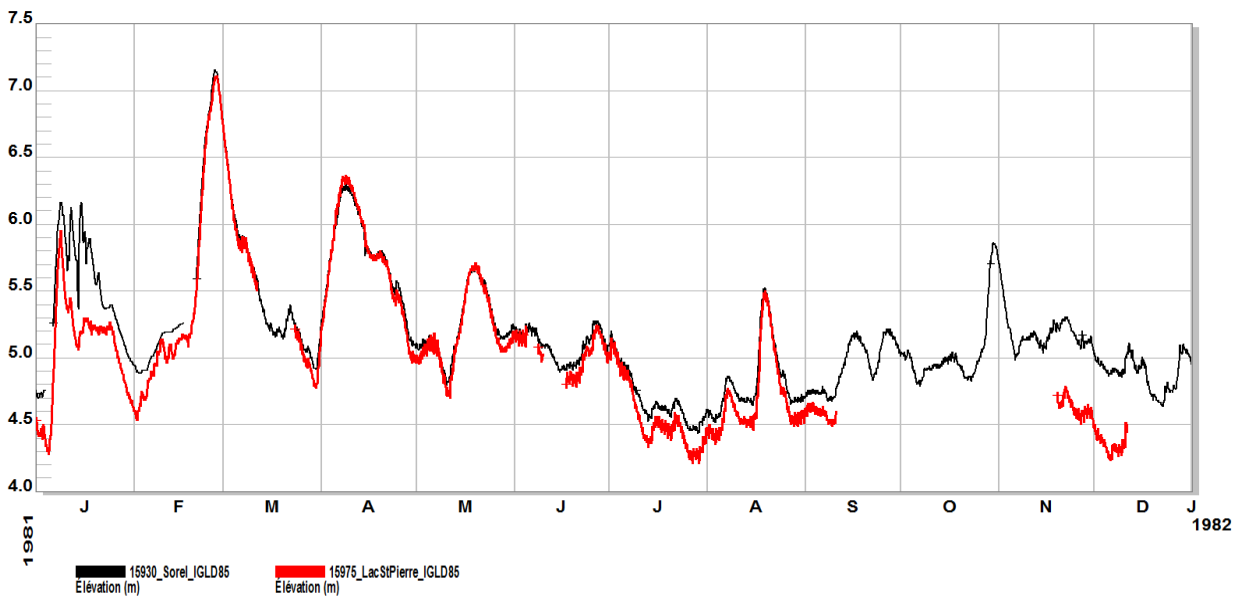


Figure 6-3 Niveaux d'eau mesurés à Sorel et au Lac Saint-Pierre (IGLD85) lors de la crue de 1981

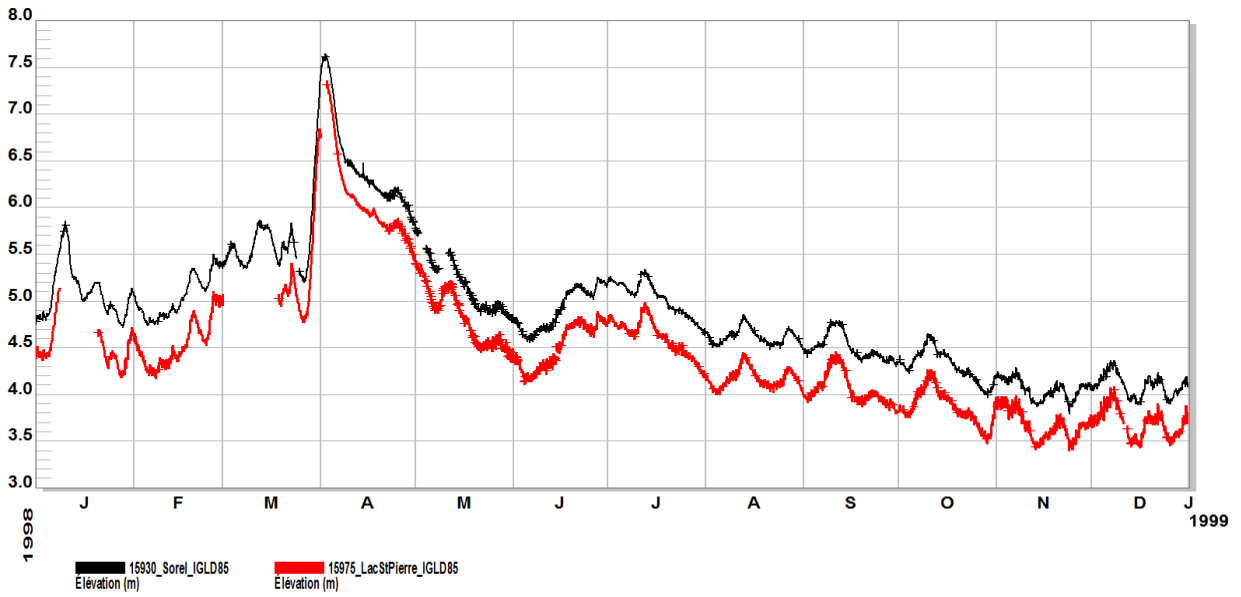
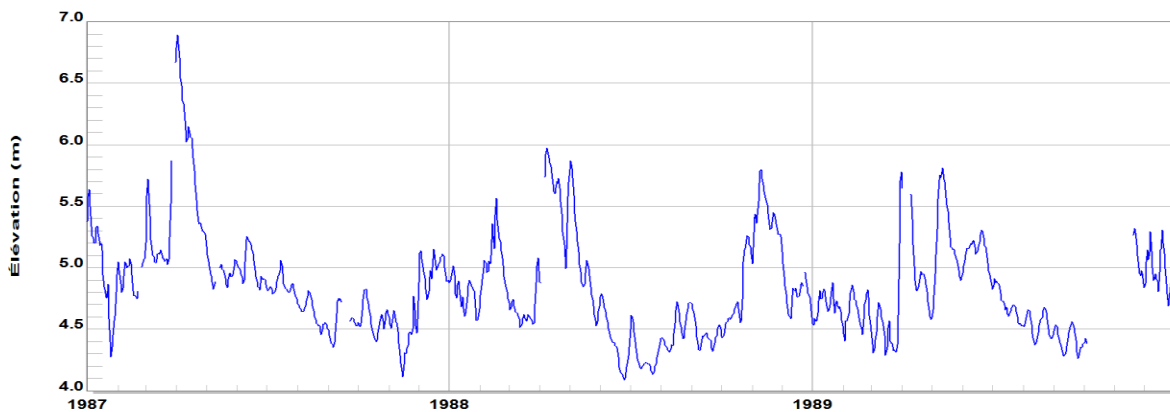


Figure 6-4 Niveaux d'eau mesurés à Sorel (IGLD85) lors de la crue de 1998

## F 7 Station de Tracy

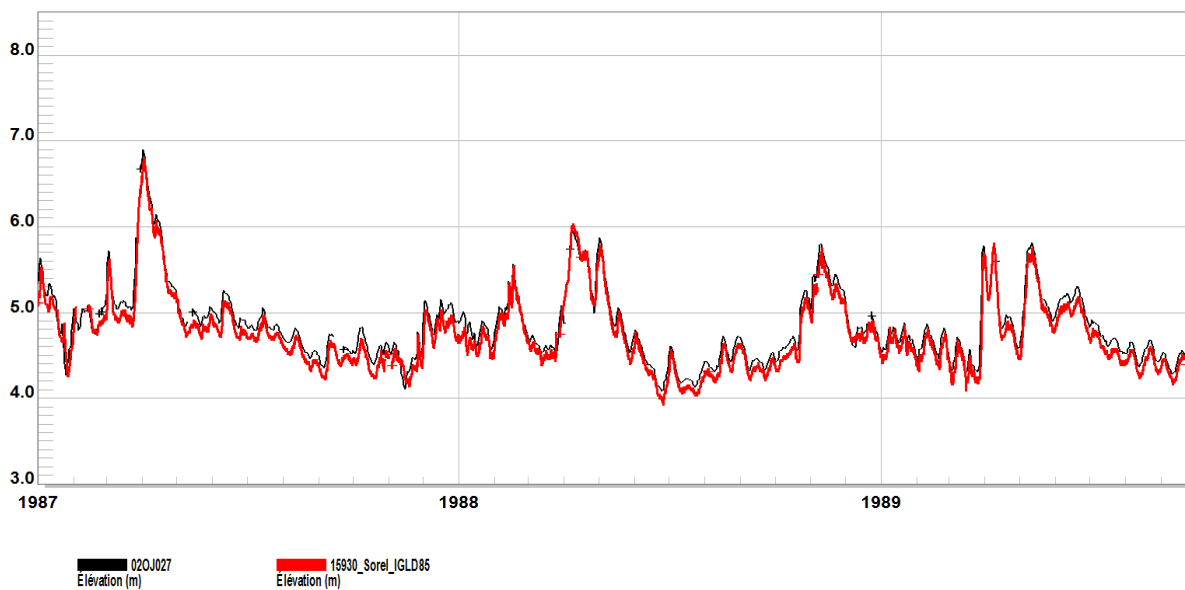
Les données pour cette station proviennent de la base de données HYDAT. Le référentiel pour ce niveau d'eau n'est pas indiqué. Les données ne couvrent qu'une période de 3 années. Une comparaison avec le signal mesuré à Sorel nous incite à croire que les données seraient dans le référentiel IGLD85. La comparaison des deux signaux confirme le bon fonctionnement des deux instruments de mesures.



020J027  
Station 020J027

\\01011206\01011206\16016\_00\_SaintBarthelemy\Lots\0100\_Hydat\020J027\_Tracy

Figure 7-1 Niveaux d'eau mesurés à Tracy (référentiel arbitraire)



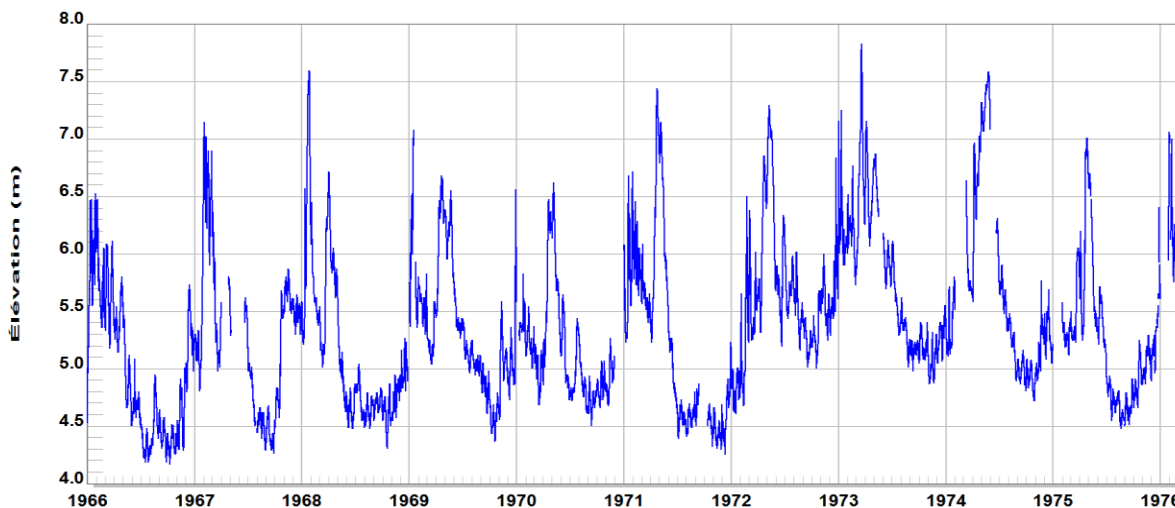
020J027  
Élévation (m)

16930\_Sorel\_IGLD85  
Élévation (m)

Figure 7-2 Comparaison des signaux mesurés à Sorel et Tracy.

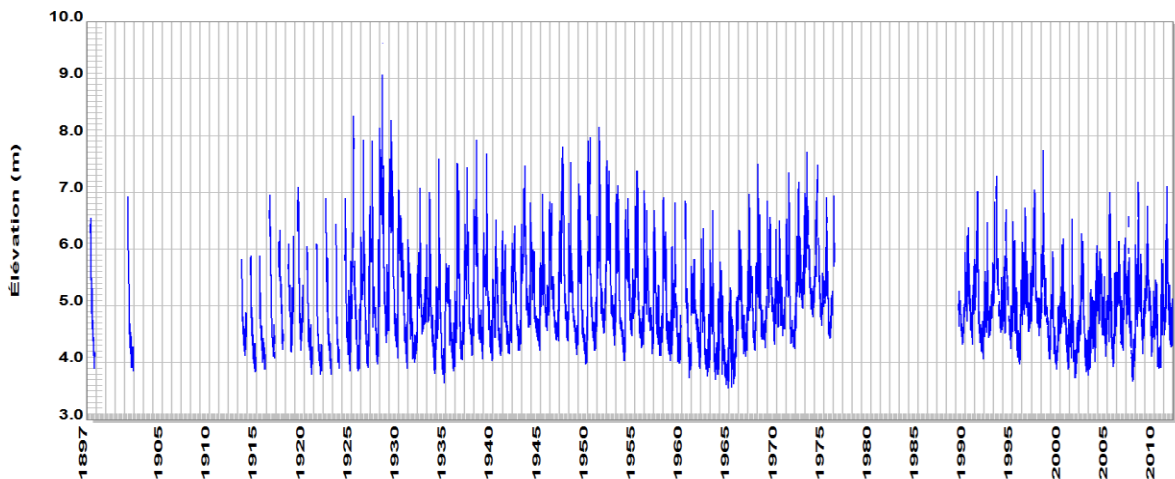
## F 8 Station de Lanoraie

Deux séries de données existent. La première provient de la station fédérale 15860 et la période couverte, qui est d'une dizaine d'années, s'avère assez complète. Le niveau maximum mesuré était de 7,83 m en 1973. Malheureusement, le niveau extrême de la crue de 1976 n'a pas été enregistré. Selon cette série, le pic de crue de 1973 aurait été supérieur à celui de 1974.



Lanoraie  
 Station 15860, Lanoraie, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST  
Répertoire: C:\2016\_Dossiers\101-16019-06\_SaintBarthelemy\Lots\06000\_NiveauxEau\Tour\_101.D86  
 2016-12-12 16:23

Figure 8-1 Niveaux d'eau mesurés à la station 15860 de Lanoraie (IGLD85)



02OB011  
 Station 02OB011, Fleuve Saint-Laurent à Lanoraie  
Répertoire: C:\2017\_Dossiers\101-16019-06\_SaintBarthelemy\Lots\06100\_NiveauxEau\02OB011\_Lanoraie  
 2017-06-12 12:10

Figure 8-2 Niveaux d'eau mesurés à la station 02OB011 de Lanoraie (IGLD85)



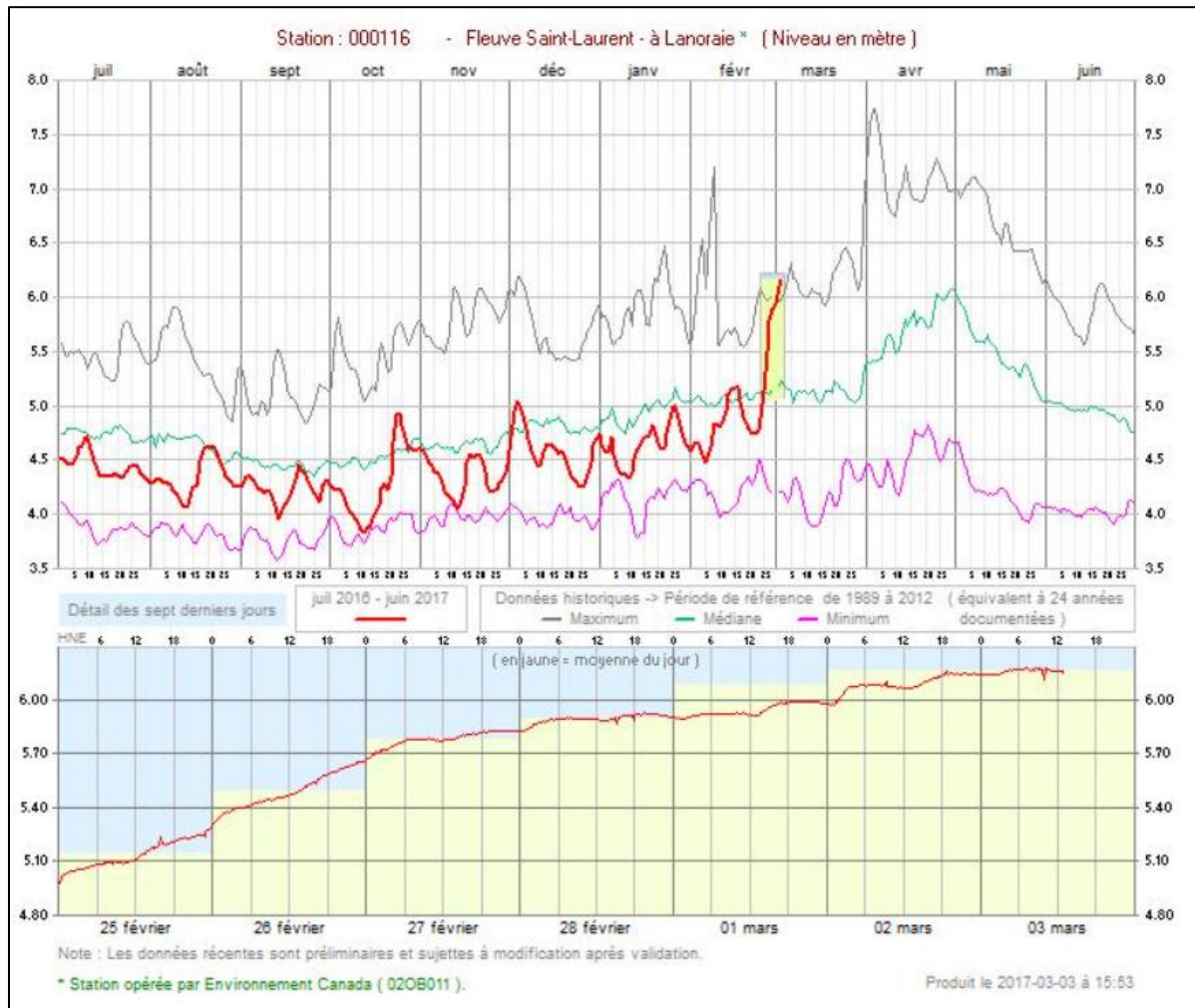


Figure 8-3 Statistiques sur les niveaux d'eau du fleuve Saint-Laurent à Lanoraie

## F 9 Station de Lavaltrie

Les enregistrements débutent en 1966 et se terminent à la fin de 1992. Les maxima enregistrés sont ceux de 1973 et de 1976, ce dernier dépassant la cote 8,0 m pour atteindre 8,11 m. Le pic de crue de 1973 est supérieur à celui de 1974 et légèrement inférieur à celui de 1976, atteignant la cote 8,1 m avant de cesser d'enregistrer. Comme le pic de crue à Sorel enregistré à Sorel en 1976 est supérieur à celui enregistré à Lavaltrie, on en conclut que l'appareil a cessé de fonctionner avant l'arrivée du pic de crue.

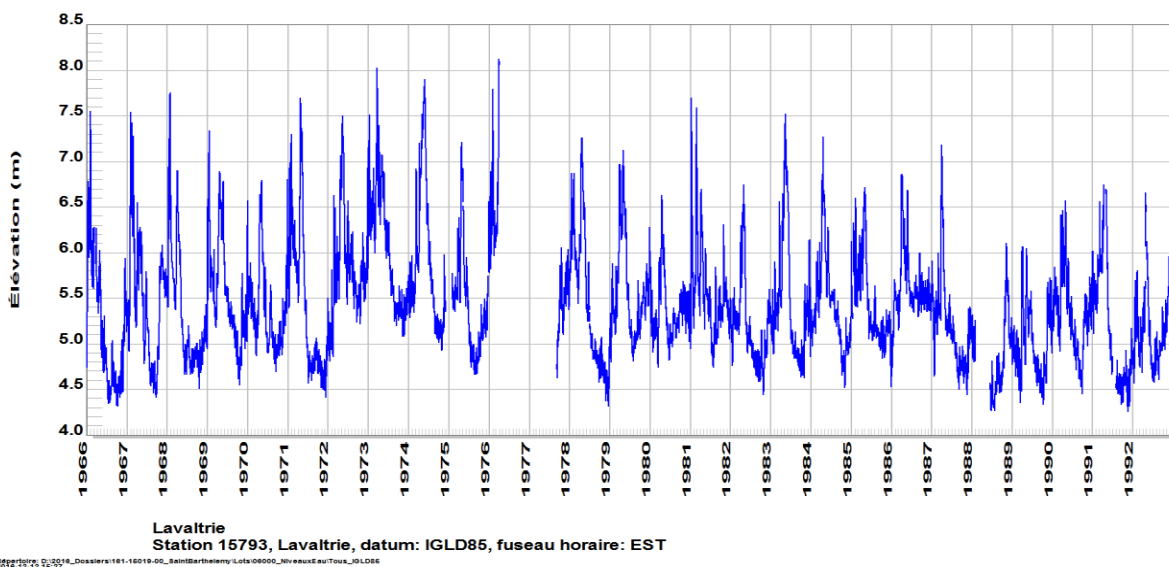


Figure 9-1 Niveaux d'eau mesurés à jla station 15793 de Lavaltrie (IGLD85)

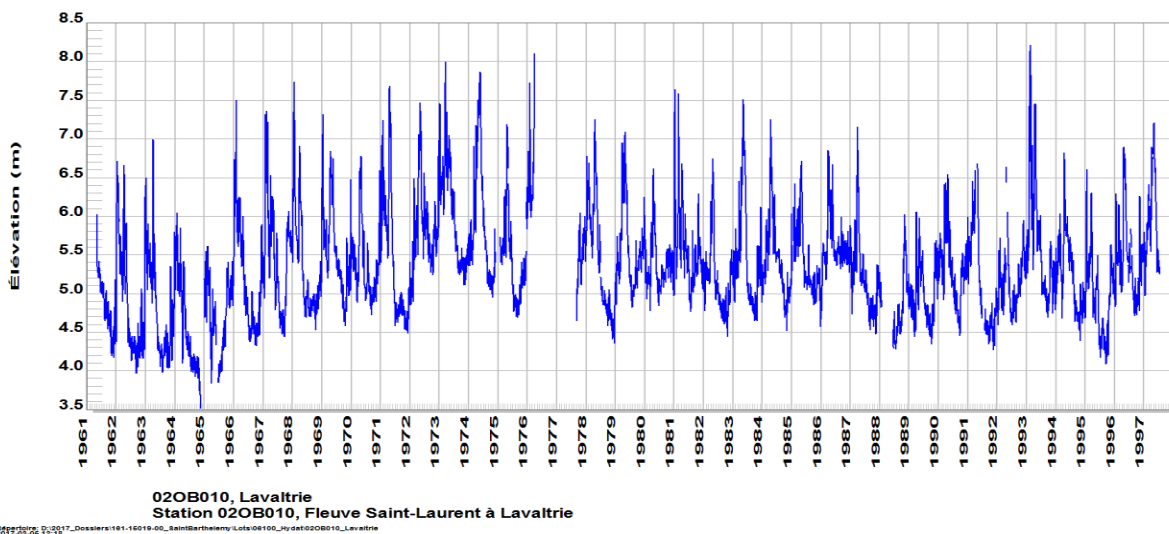


Figure 9-2 Niveaux d'eau mesurés à la station 02OB010 de Lavaltrie (IGLD85)

## F 10 Station de Contrecoeur

La station de Contrecoeur couvre la même période que celle de Lavaltrie. On notera que curieusement il y a également absence de données en 1976 et 1977. Le début de cette période d'absence de données précède le second pic de crue de l'année 1976 ce qui nous empêche d'établir le niveau maximum survenu cette année. Les niveaux d'eau mesurés à Contrecoeur sont légèrement plus élevés que ceux mesurés à Lavaltrie.

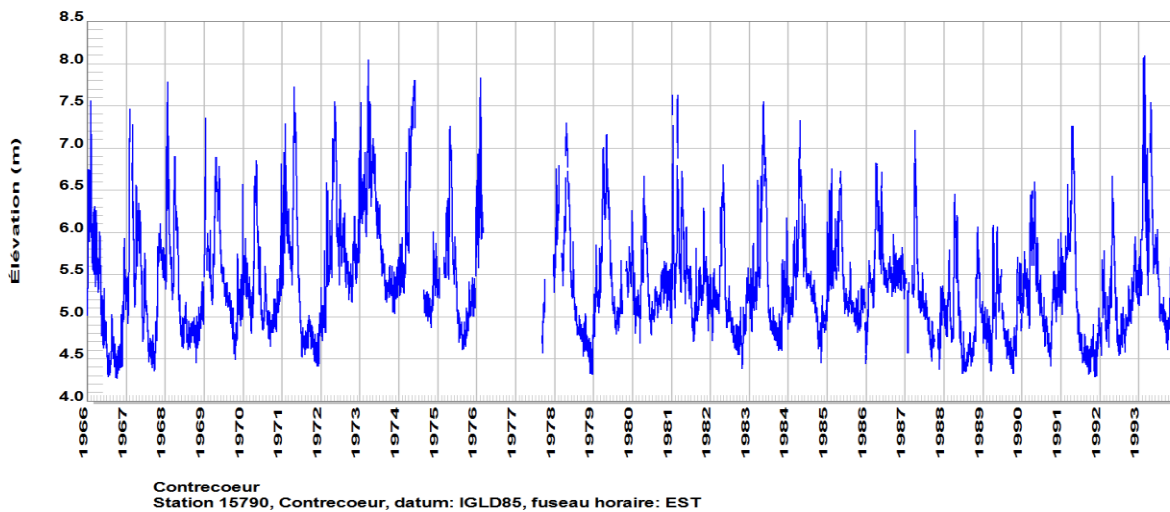


Figure 10-1 Niveaux d'eau mesurés à la station 15790 de Contrecoeur (IGLD85)

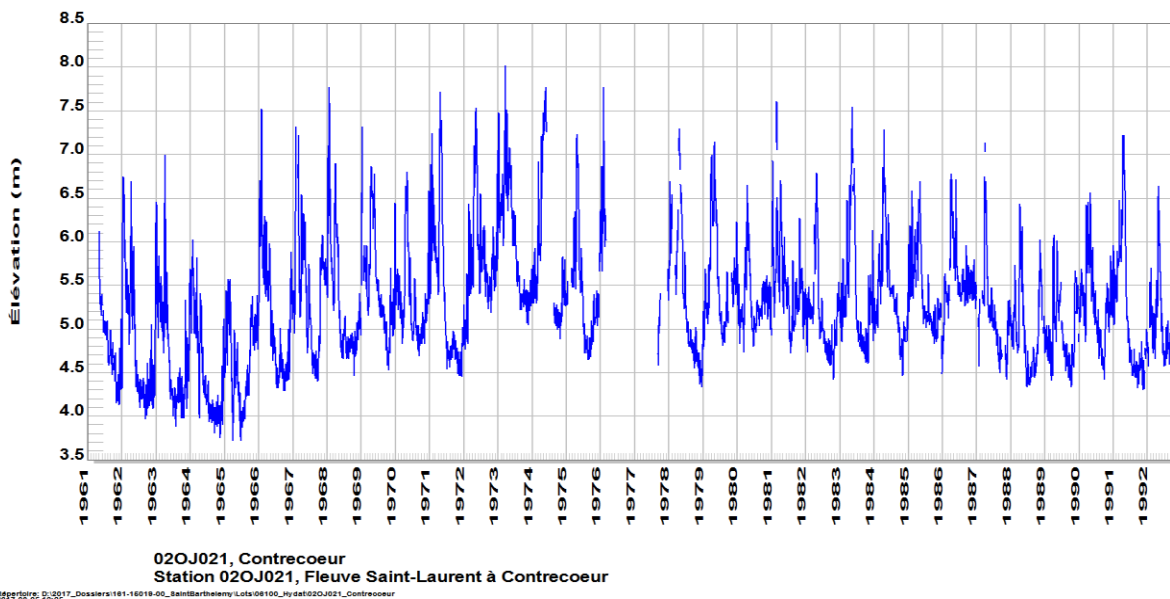


Figure 10-2 Niveaux d'eau mesurés à la station 02OJ021 de Contrecoeur (IGLD85)

## F 11 Station de Contrecoeur-IOC

La station de Contrecoeur (IOC), IOC étant l'acronyme de « Iron Ore Company » prend le relais de la station de Contrecoeur au début de 1993. Elle est en opération depuis. On constate que depuis 1999, les niveaux d'eau ont rarement dépassé la cote 7,5 m IGLD85. La gestion des débits du Saint-Laurent semble viser un niveau d'eau minimum rarement inférieur à la cote 4,0 m, avec, si les conditions le permettent un minimum plutôt à la cote 4,5 m.

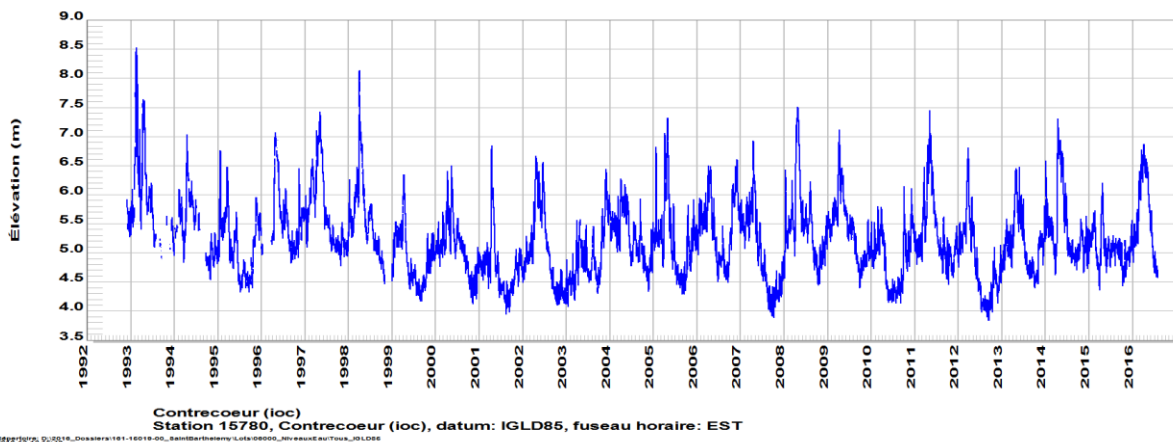


Figure 11-1 Niveaux d'eau mesurés à Contrecoeur - IOC (IGLD85)

## F 12 Station de Verchères

La station de Verchères a été en opération de 1961 à 1979. Sans surprise, le niveau maximum mesuré est celui survenu en 1976. On constate des niveaux bas sous la cote 4,5 m de 1962 jusqu'à 1966.

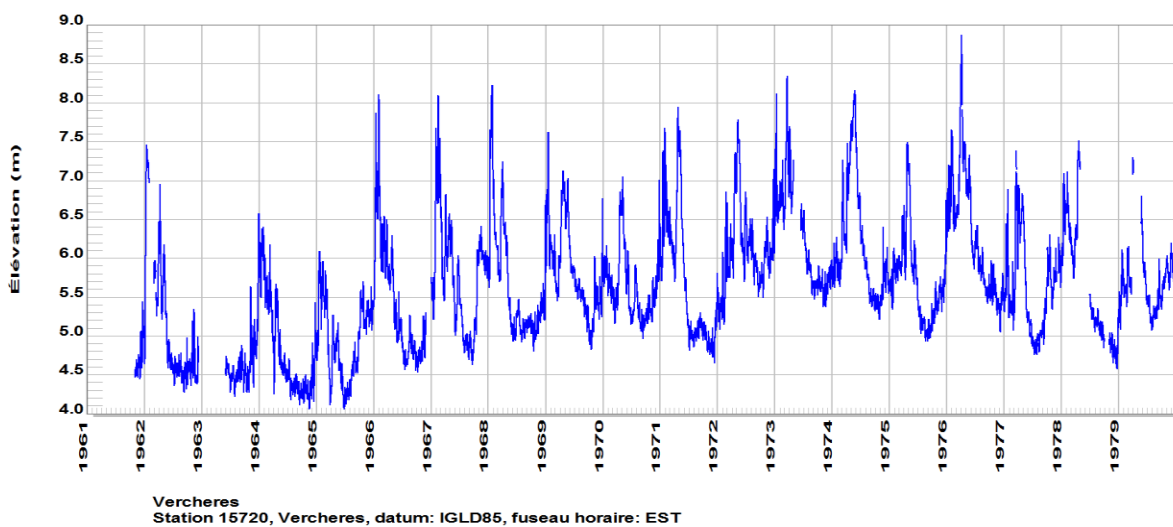


Figure 12-1 Niveaux d'eau mesurés à Verchères (IGLD85)

## F 13 Station de Repentigny

La signature de cette station est identique à celle de la station de Verchères. Le plus haut niveau d'eau mesuré n'a jamais dépassé la cote de 8,5 m à l'exception de 1968. Cette valeur est attribuée à un embâcle ou un effet de glace, car survenue à la fin janvier. Le pic de crue était de 7,3 m à la fin mars.

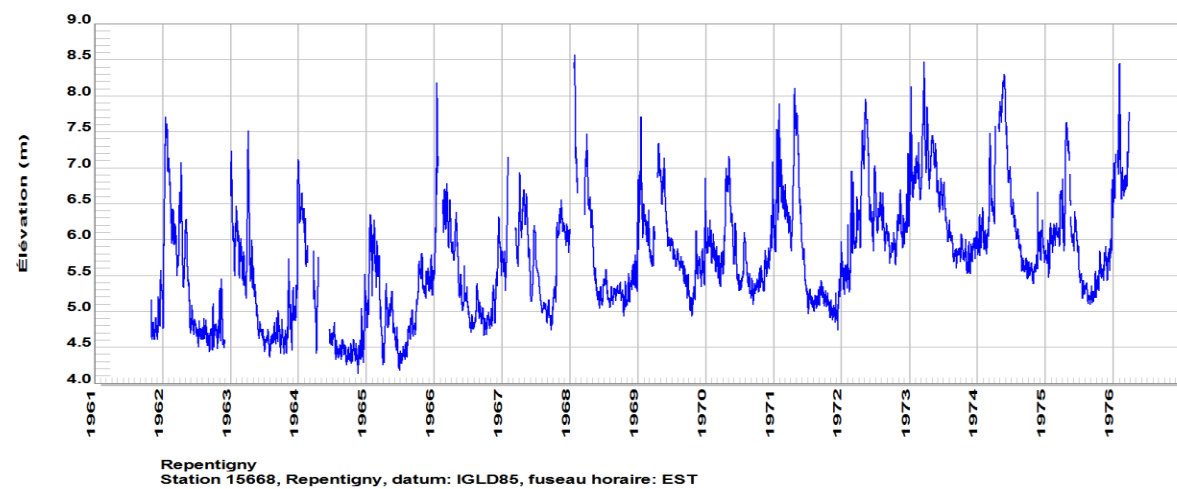


Figure 13-1 Niveaux d'eau mesurés à la station 15668 à Repentigny (IGLD85)

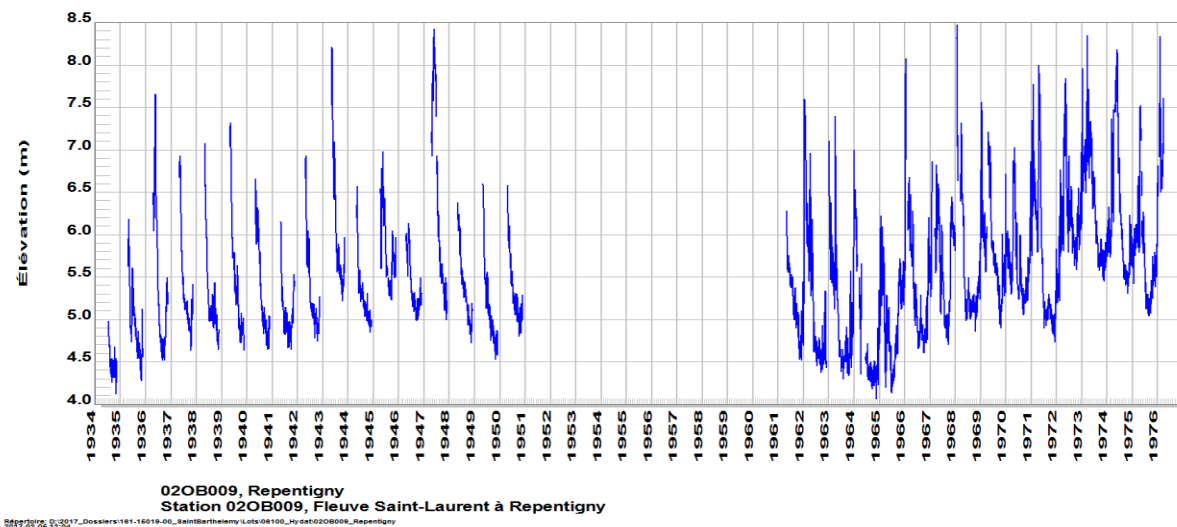


Figure 13-2 Niveaux d'eau mesurés à la station 02OB009 à Repentigny (IGLD85)

## F 14 Station de Varennes

La station de Varennes couvre quasiment toute la période de temps suivant la mise en opération de la voie maritime du Saint-Laurent en 1959. Le niveau maximum enregistré a eu lieu durant la crue du printemps de 1976, suivi de celui de 1993. Depuis 1993, le niveau d'eau n'a jamais dépassé la cote 8,5 m.

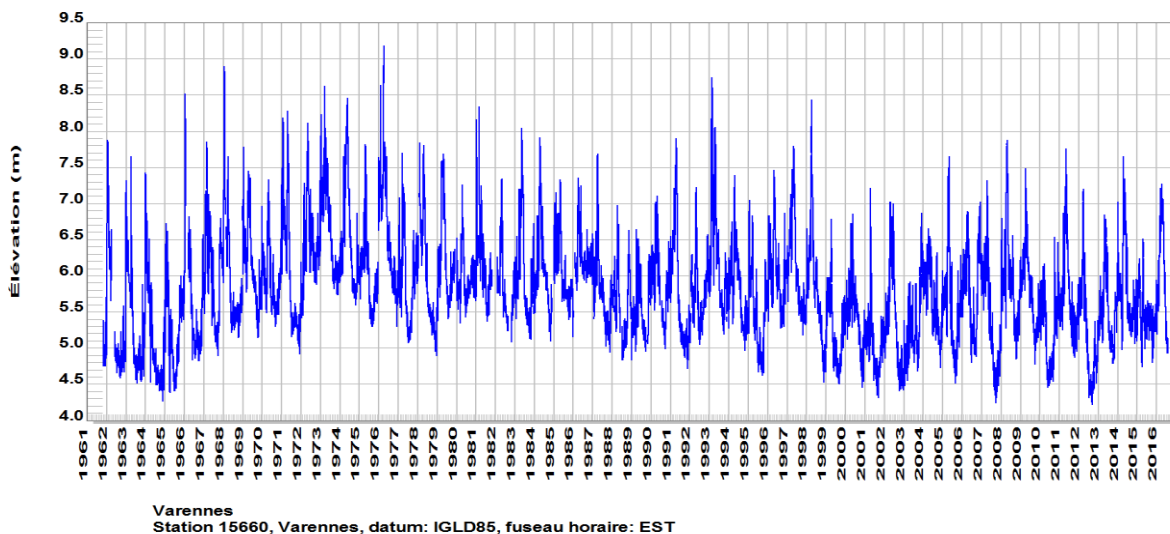


Figure 14-1 Niveaux d'eau mesurés à la station 15660 de Varennes (IGLD85)

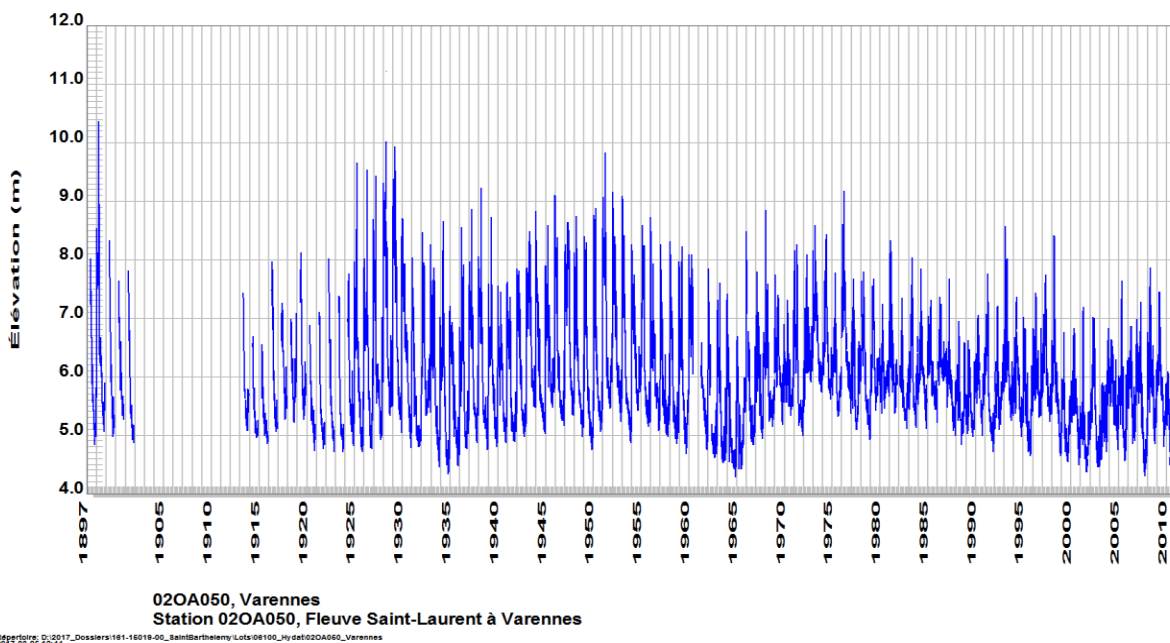


Figure 14-2 Niveau d'eau mesuré à la station 020A050 de Varennes (IGLD85)

## F 15 Discussion

Il y a un problème réel à considérer les conditions qui prévalaient avant la réalisation de la voie maritime du Saint-Laurent. En effet, avant la construction du barrage Moses-Saunders et de la voie maritime, il n'y avait à proprement parler aucune régularisation significative du système hydrique des Grands Lacs en lien avec les débits du fleuve Sainte-Laurent. Depuis la mise en opération du barrage en 1959 et la mise en œuvre d'un plan de gestion on constate :

- Une gestion active visant à limiter les variations du niveau d'eau du lac Ontario à l'intérieur d'une gamme de 4 pieds (1,33 m);
- Une gestion des débits à l'ouvrage Moses-Saunders visant à limiter les problèmes d'inondation dans la région de l'archipel de Montréal et, de ce fait, d'une partie du tronçon Montréal/Trois-Rivières
  - Une expérience précieuse acquise par les gestionnaires du système Lac Ontario-Fleuve Saint-Laurent depuis les cinquante dernières années.
- Depuis le début des années 1980, un accroissement des connaissances et une maîtrise accrue en modélisation hydrologique qui permettent une meilleure gestion des bassins des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais.

Ces considérations positives en faveur d'un contrôle du niveau d'eau du fleuve Saint-Laurent doivent être tempérées par l'absence de contrôle des apports provenant du bassin inférieur de la rivière des Outaouais, par l'absence de contrôle des débits de la rivière Richelieu et des affluents se déversant sur la rive droite du lac Saint-Pierre. En effet, pour un même débit issu du barrage Moses-Saunders, les niveaux d'eau dans le tronçon Montréal-Lac Saint-Pierre peuvent fluctuer de quelques décimètres, comme le démontre la relation entre les cotes mesurées à Varennes et celles mesurées à la courbe 2 du lac Saint-Pierre.

Les mesures réalisées les 11 et 18 novembre 2016 sont d'ailleurs éloquentes à cet égard. Pour grosso modo les mêmes débits d'apport, on observe une différence de 0,4 m qui est observée à Trois-Rivières. Force est de constater qu'on ne peut établir les cotes en traitant les séries de débits du fleuve. Les statistiques doivent être établies suite à l'analyse de la variation du niveau d'eau du lac Saint-Pierre.

Il faut également mentionner que la détermination des cotes de crues de récurrences de 20 ans et de 100 ans doit être établie en conditions libres de glaces. Or ce n'est que depuis le début des années 1970' que la gestion cherche à garder le chenal de navigation libre de glaces.

L'approche retenue par Favre a privilégié la reconstitution des débits non régularisés provenant du système des Grands Lacs pour ensuite calculer les débits pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans. Les valeurs obtenues sont donc celles qui seraient susceptibles de se produire en absence de gestion. Cette approche s'avère intéressante si on désire reconstituer les apports en amont du site étudié. Toutefois cette série ne peut être utilisée pour établir les niveaux de récurrence de 2, de 20 et de 100 ans actuels en aval car elle ne tient pas compte des effets produits par la gestion. En effet, depuis plus de cinquante ans, les interventions réalisées ont permis de restreindre l'amplitude des niveaux extrêmes, comme indiqué par Morin et Bouchard (2001). C'est cette nouvelle réalité qu'on doit étudier avec la meilleure des précisions. Les mesures de niveau d'eau réalisées depuis le début des années 80 constituent les meilleures séries pour réaliser cette analyse.





# ANNEXE

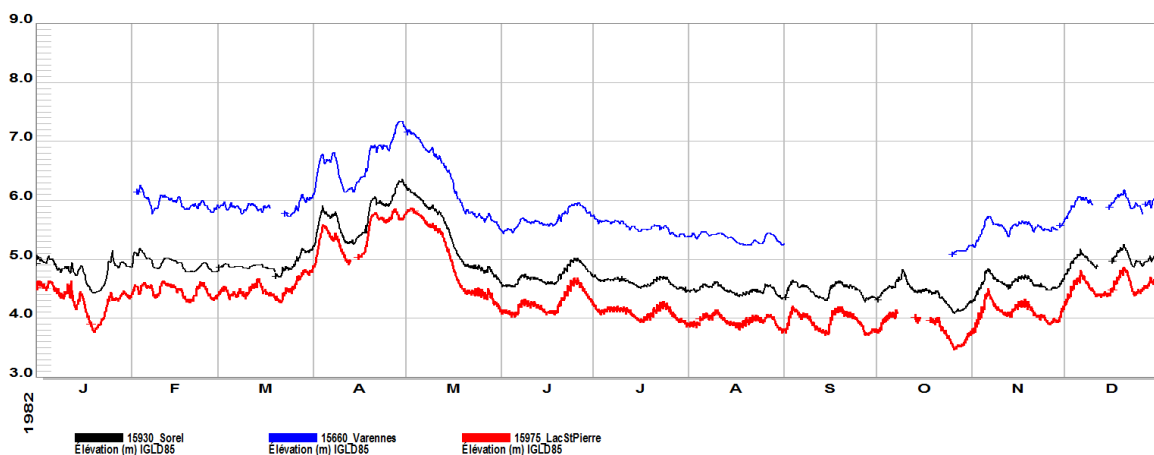
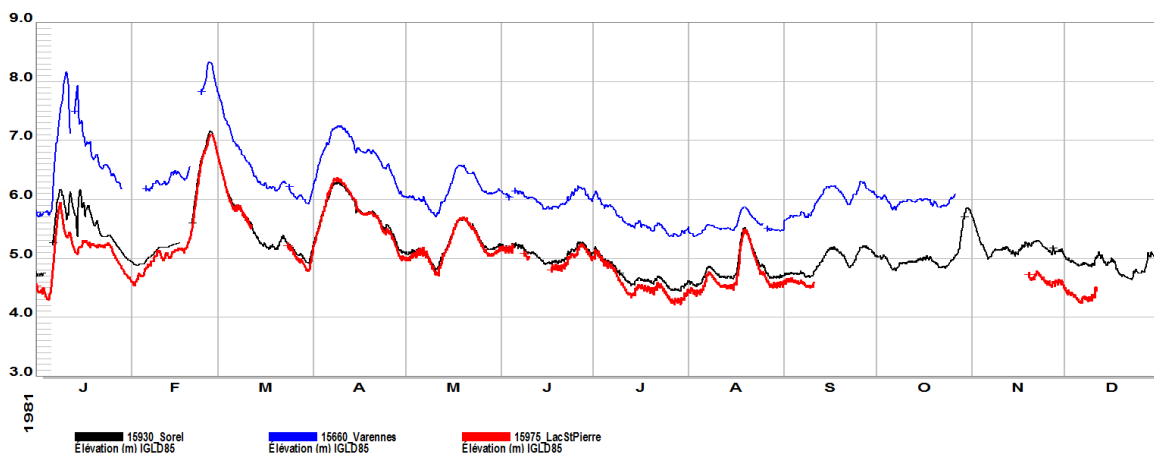
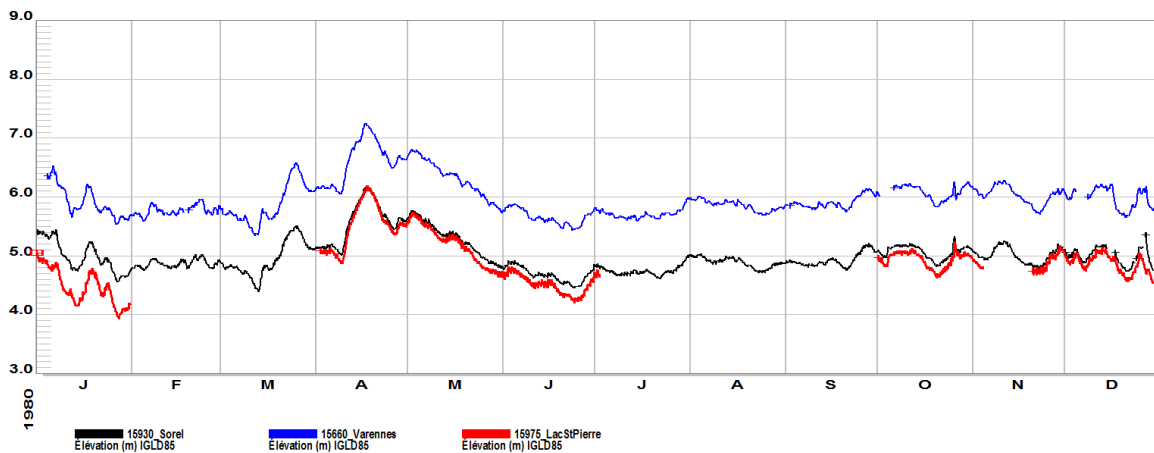
## **G** COMPARAISON DES SIGNAUX DE VARENNES, SOREL ET DU LAC SAINT-PIERRE

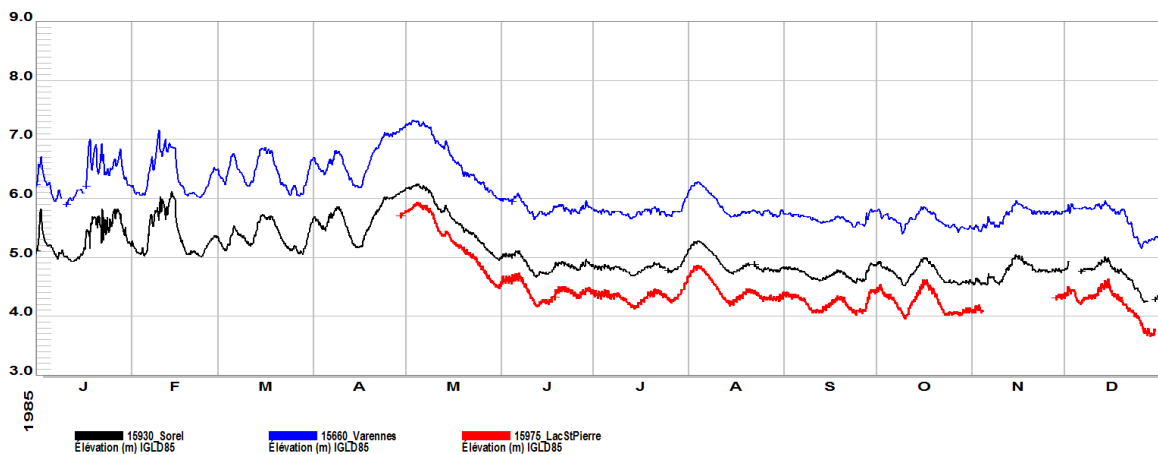
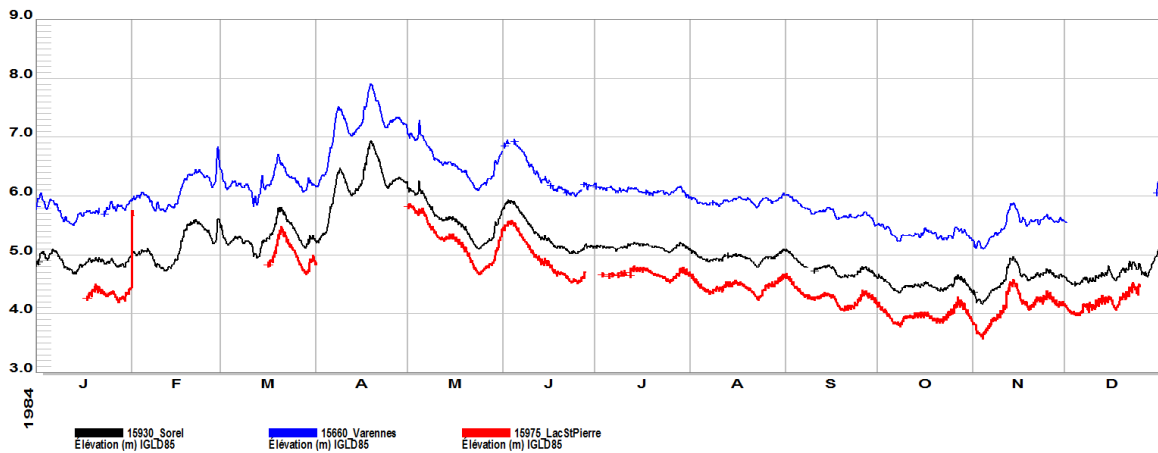
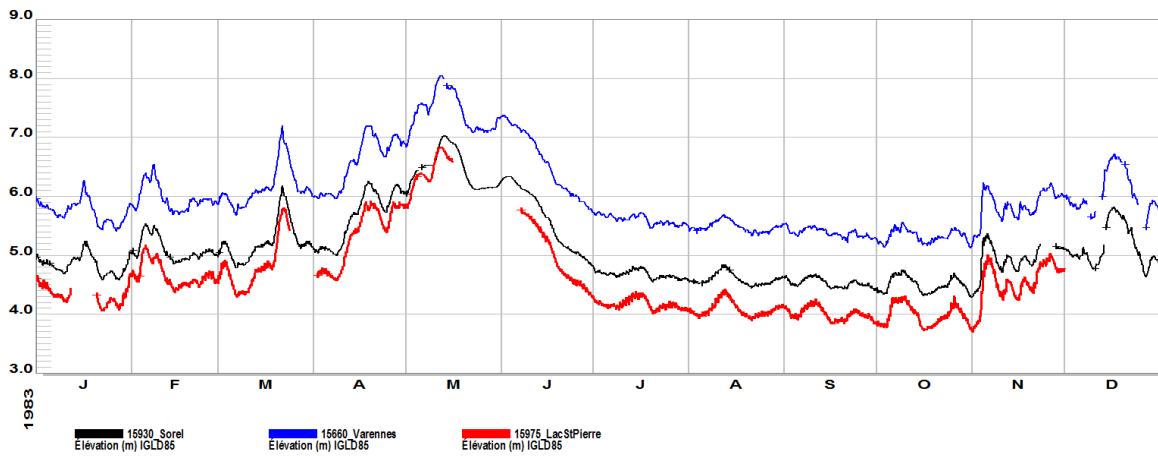


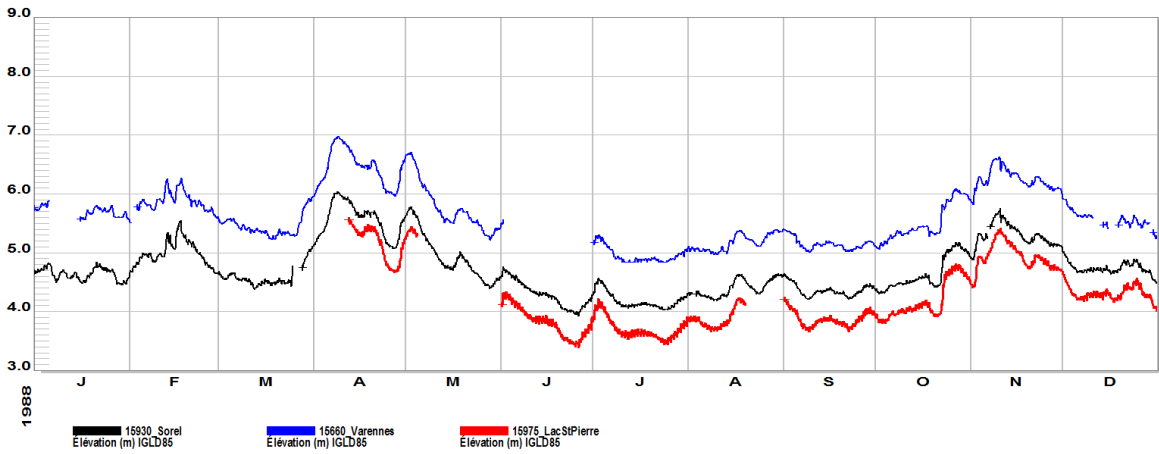
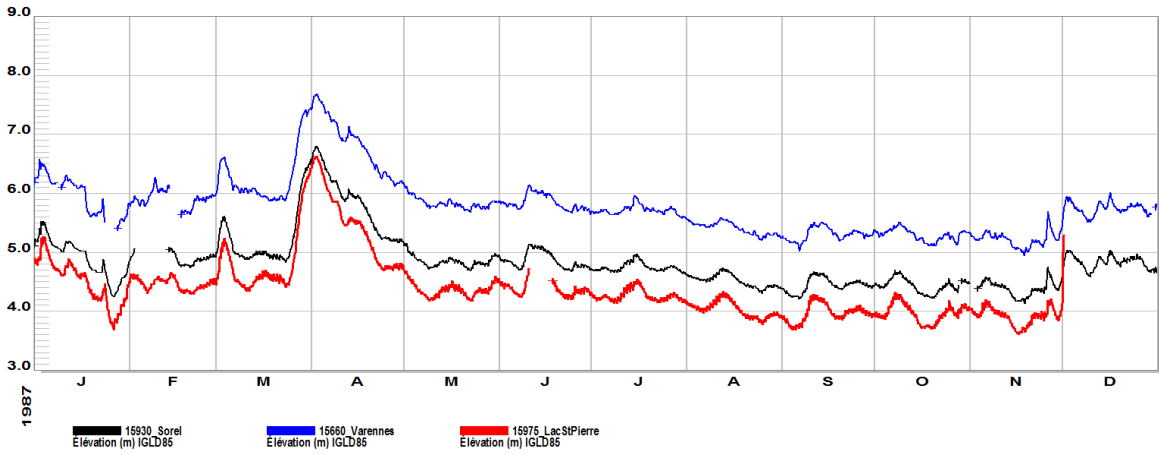
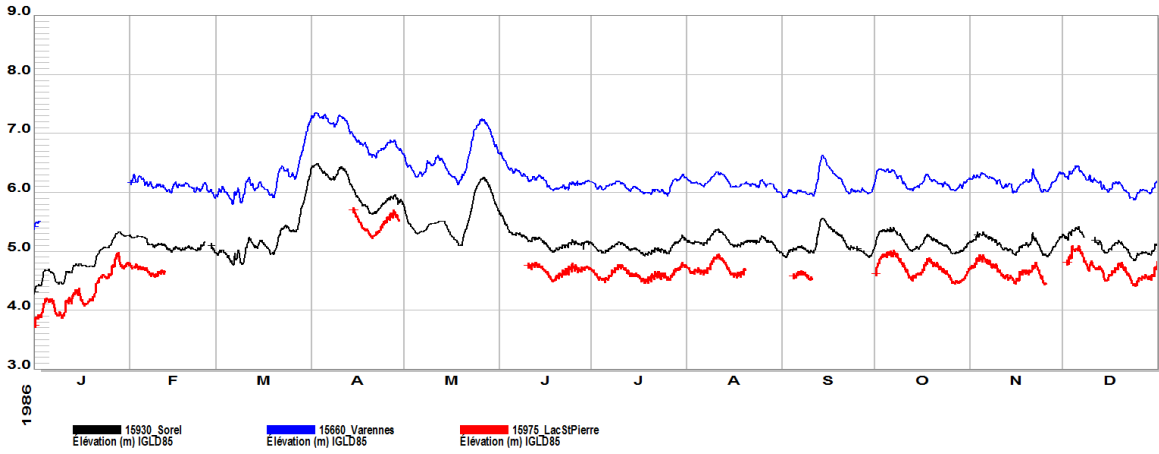
## ANNEXE G

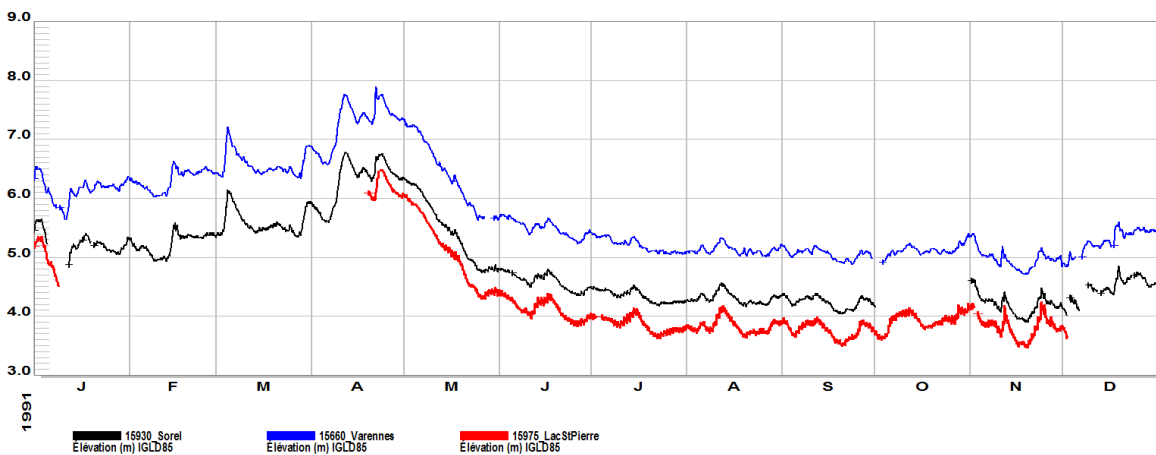
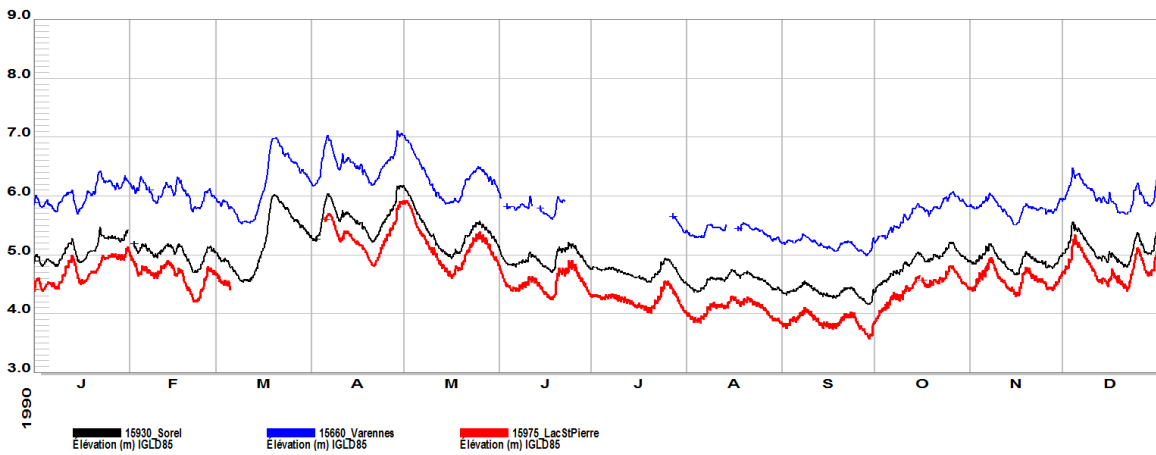
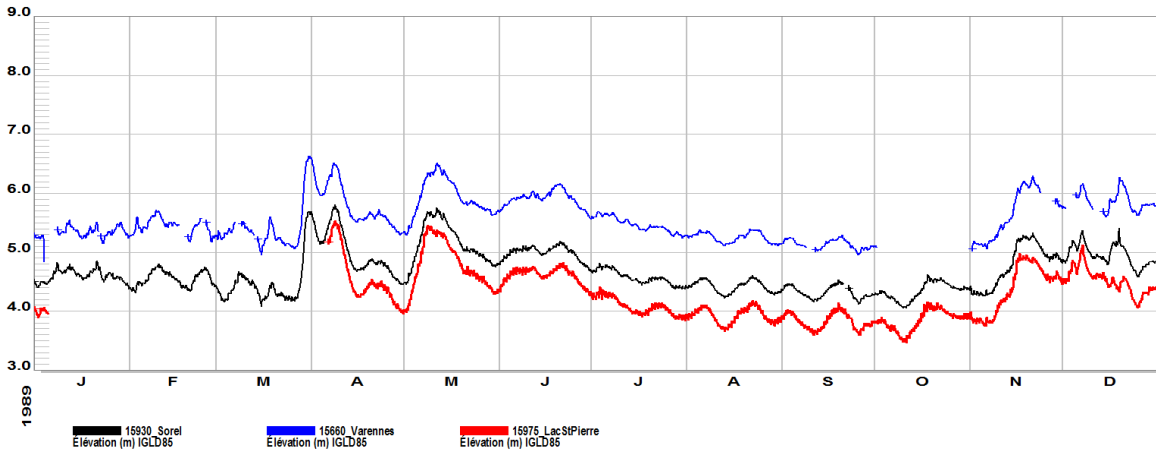
# Comparaison des signaux de Varennes, Sorel et du lac Saint-Pierre



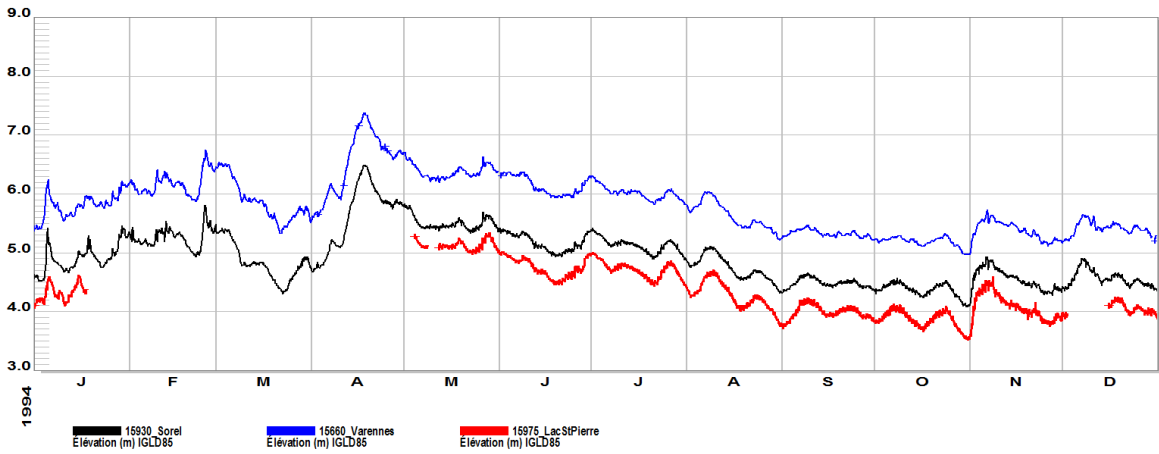
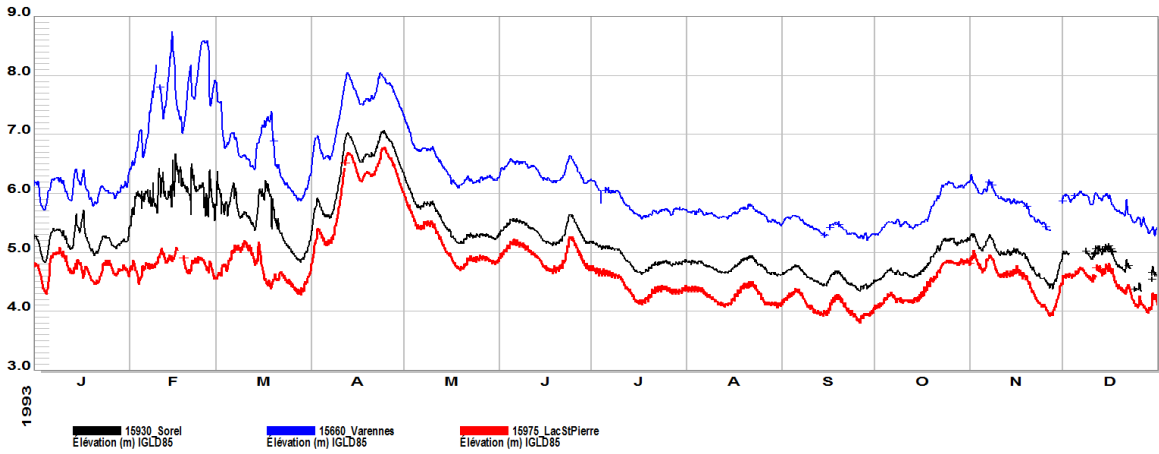
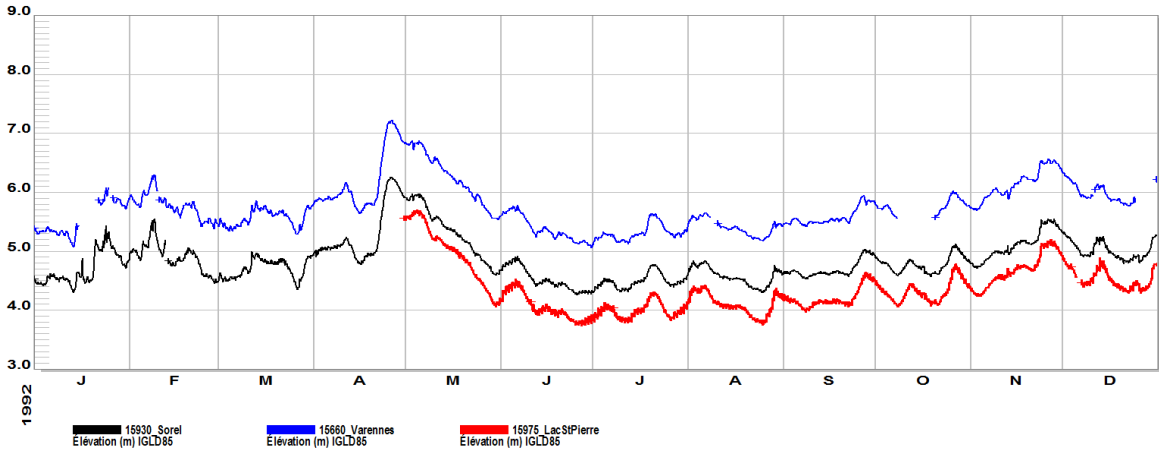


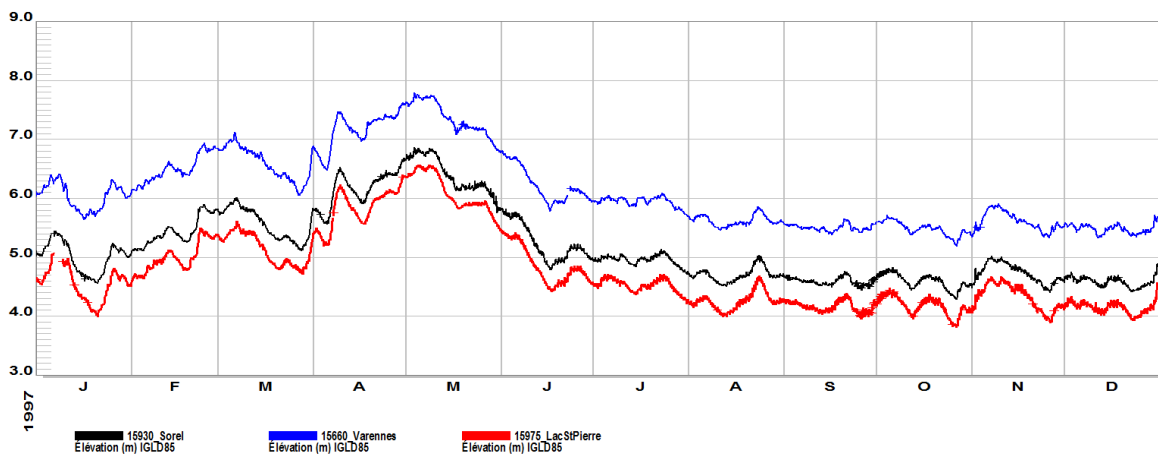
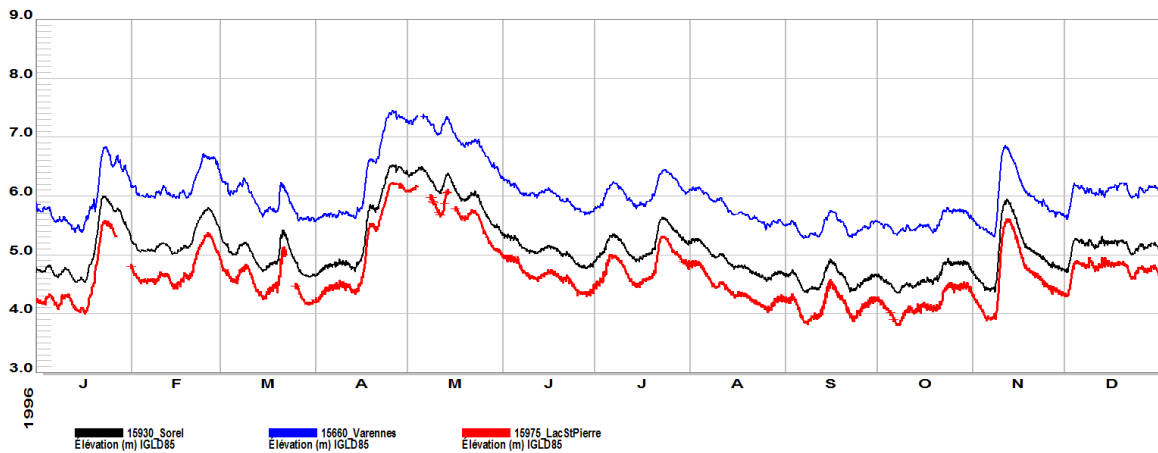
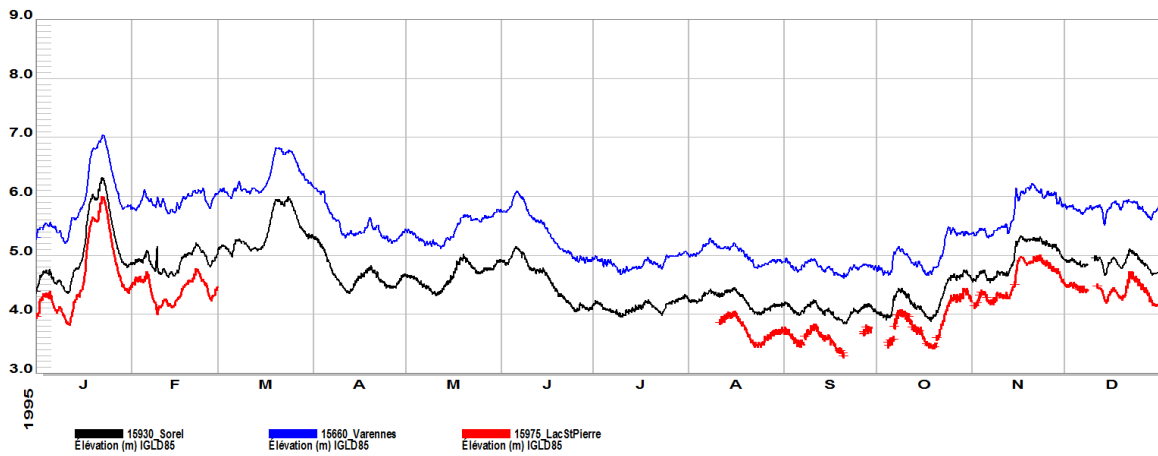


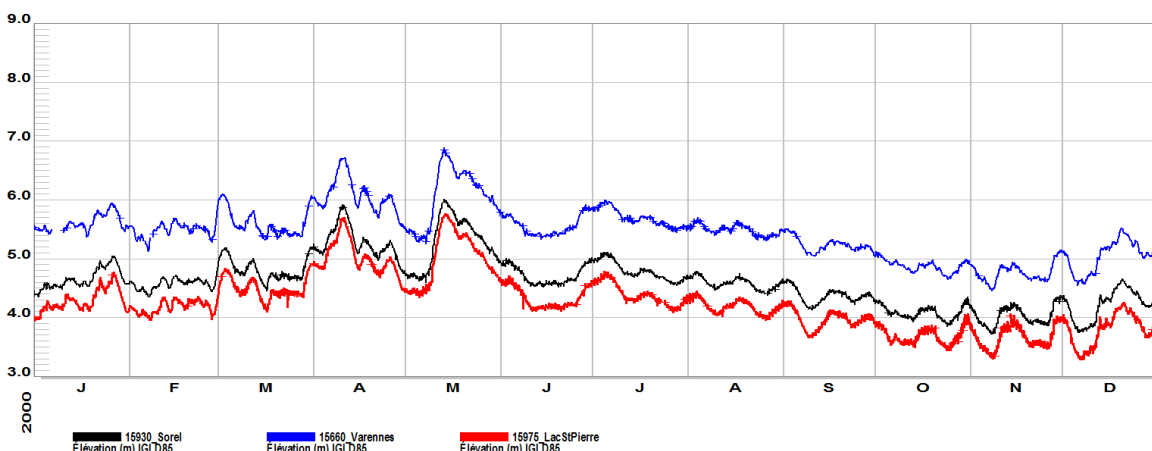
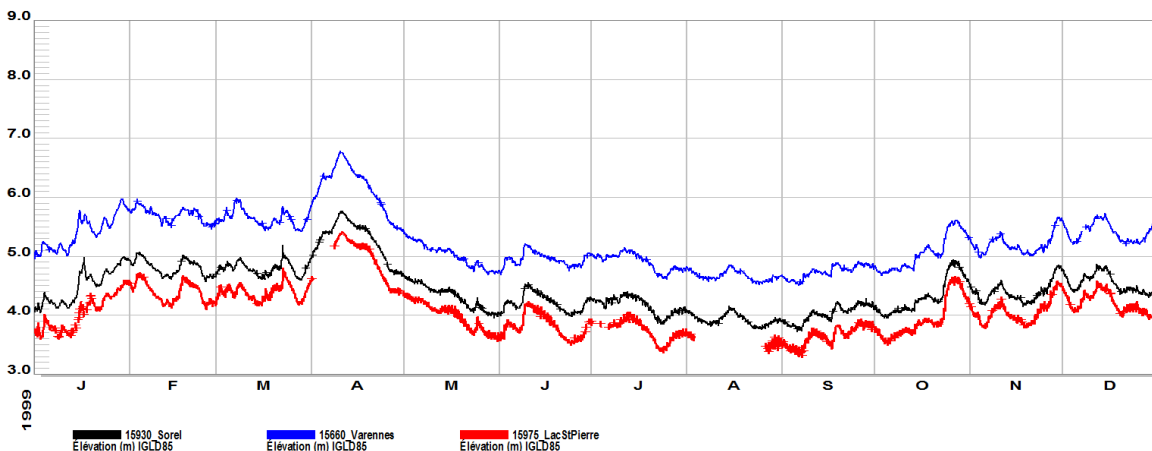
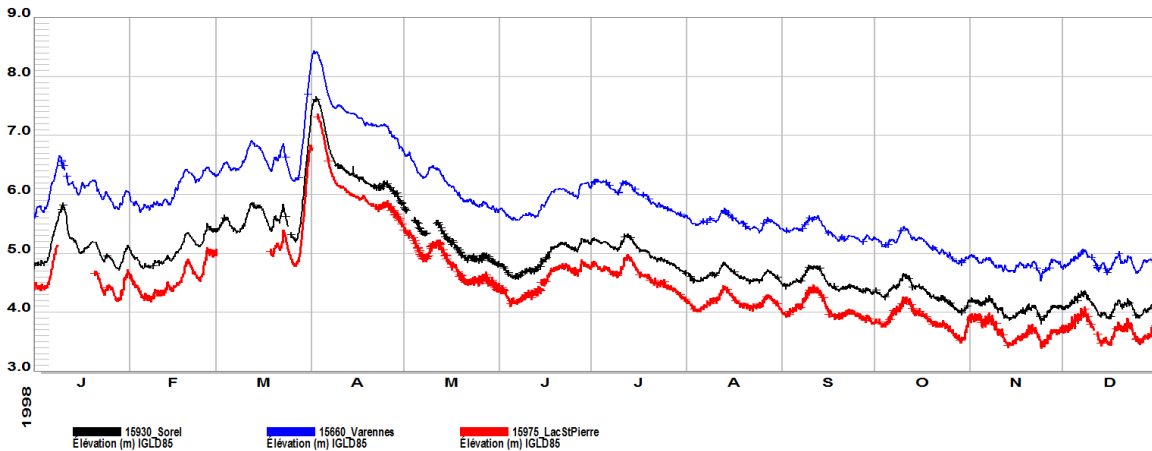


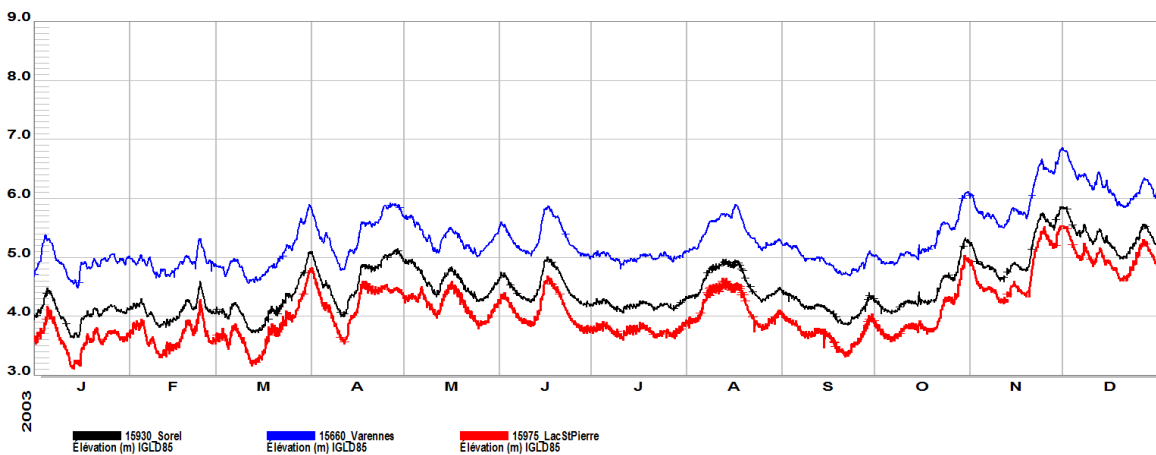
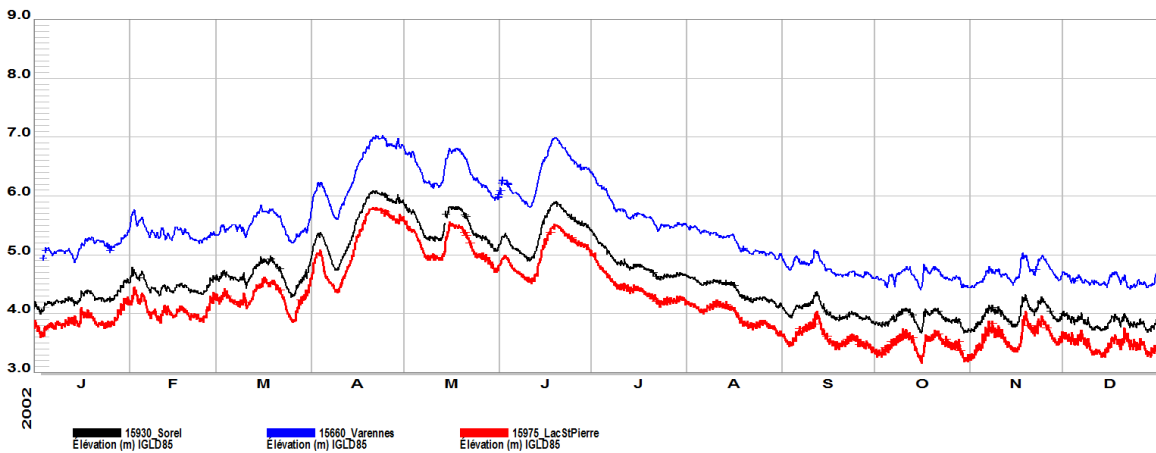
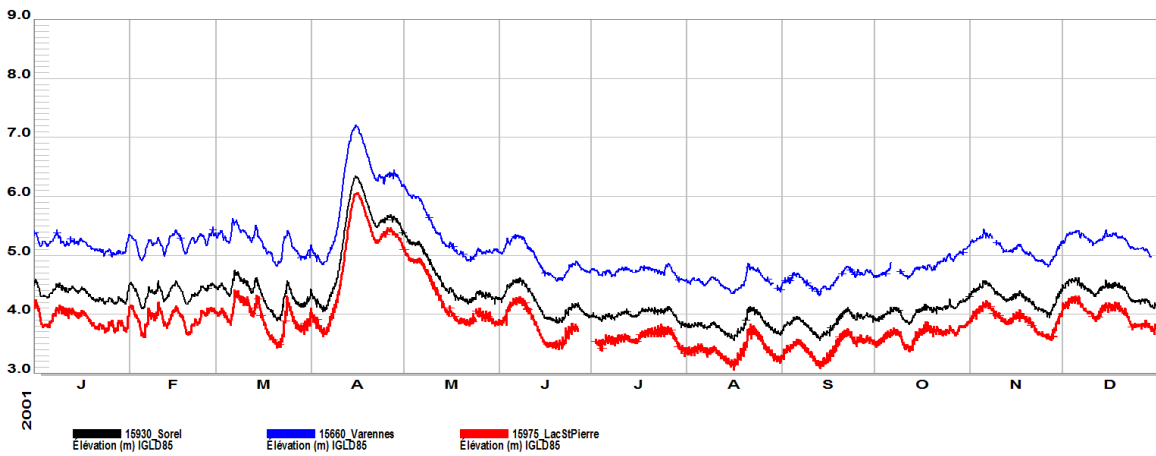


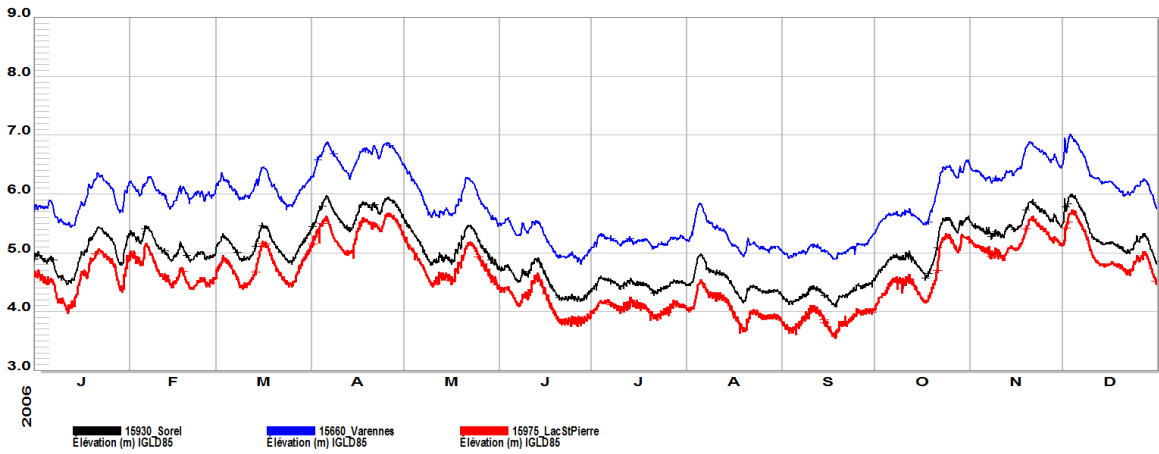
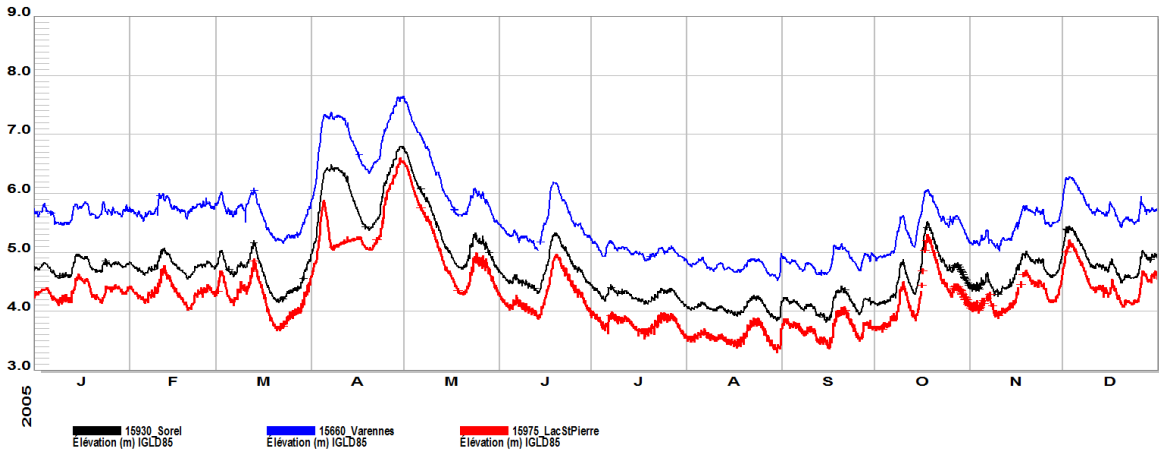
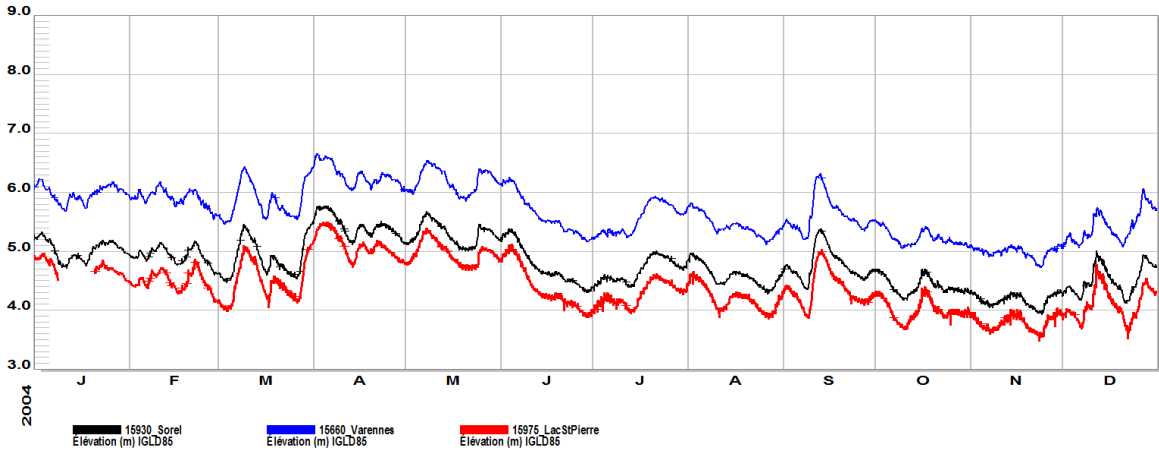


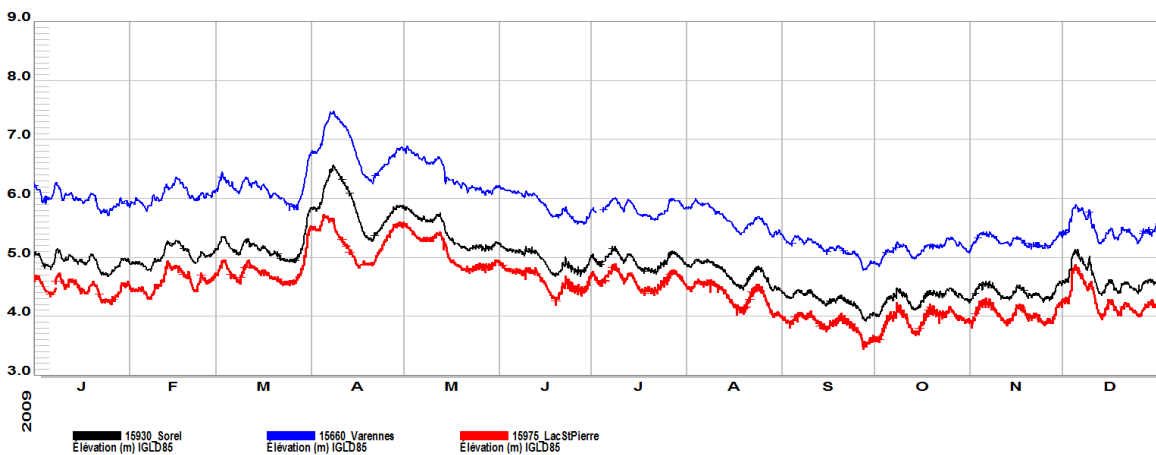
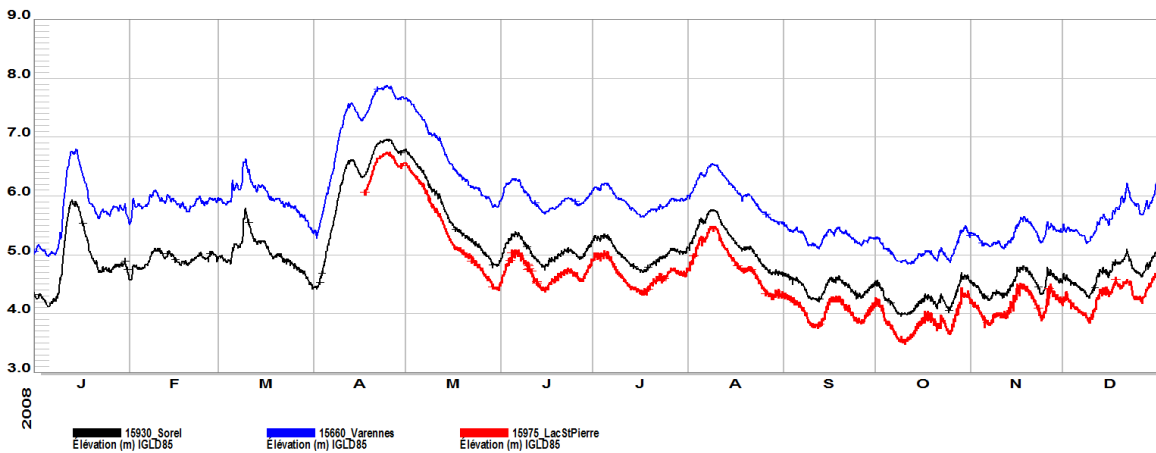
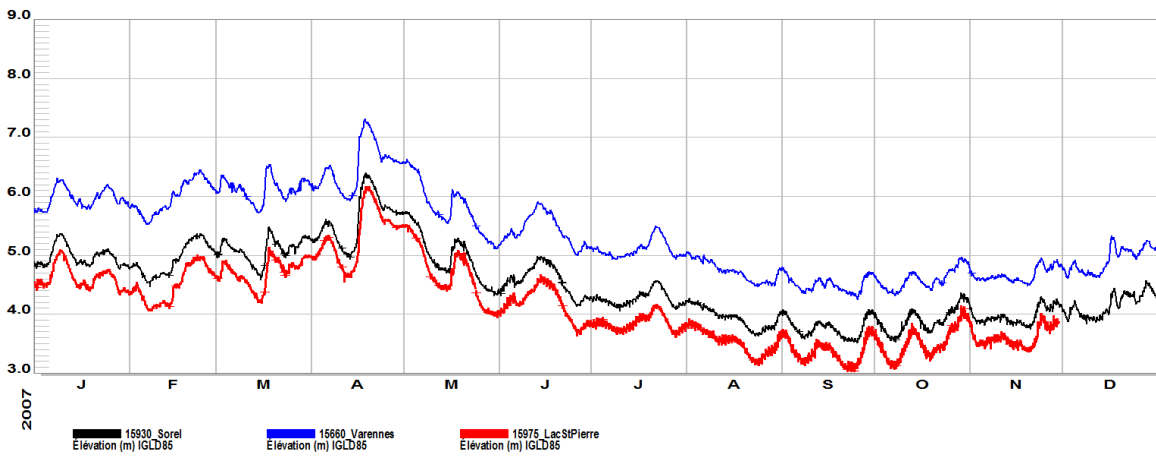


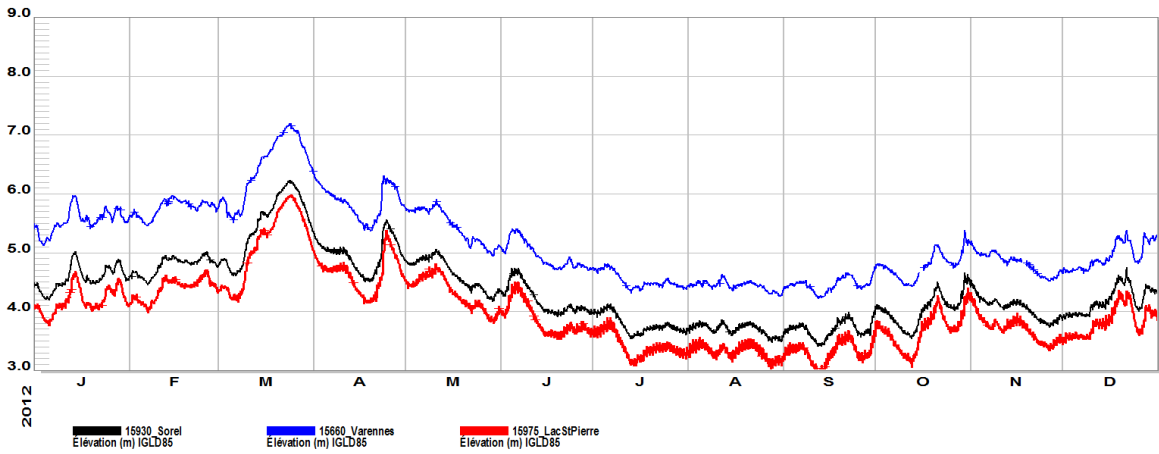
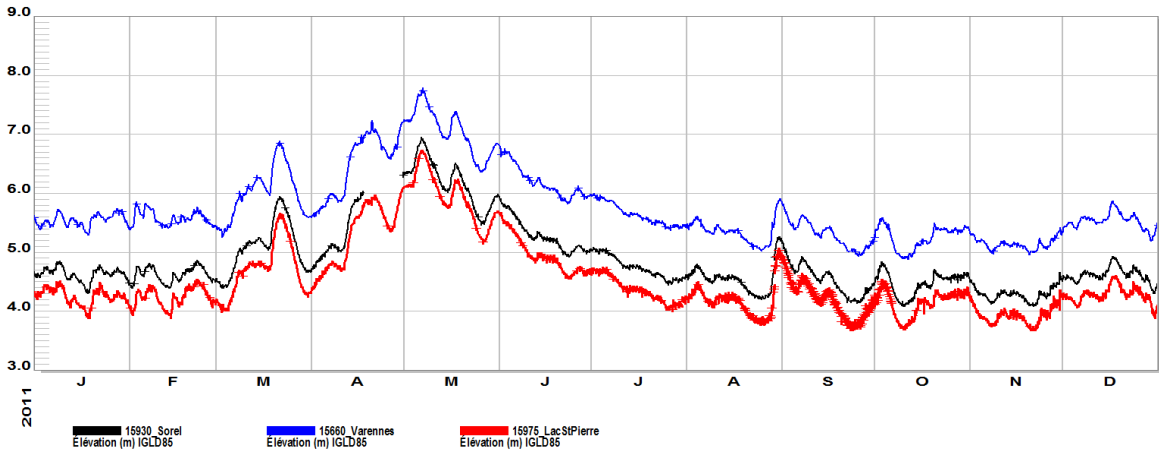
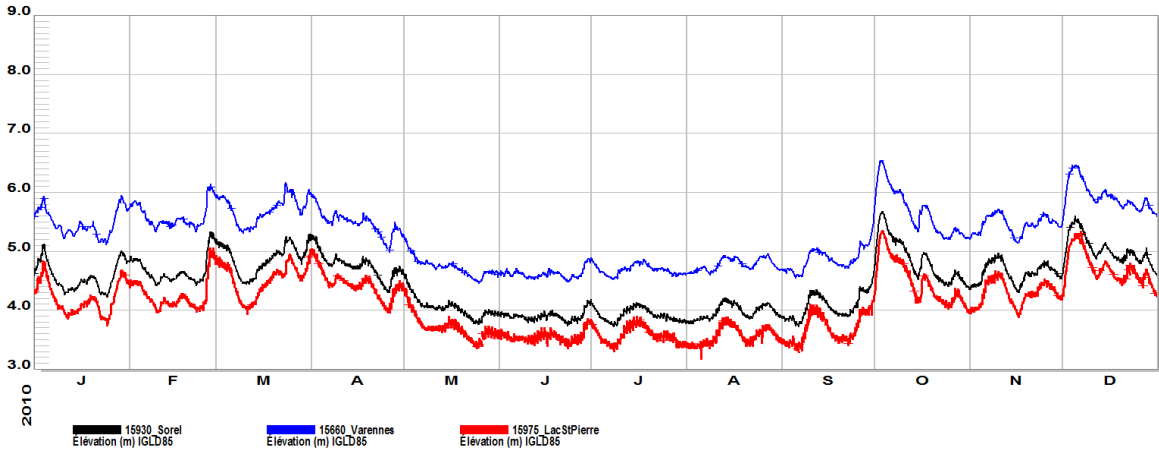


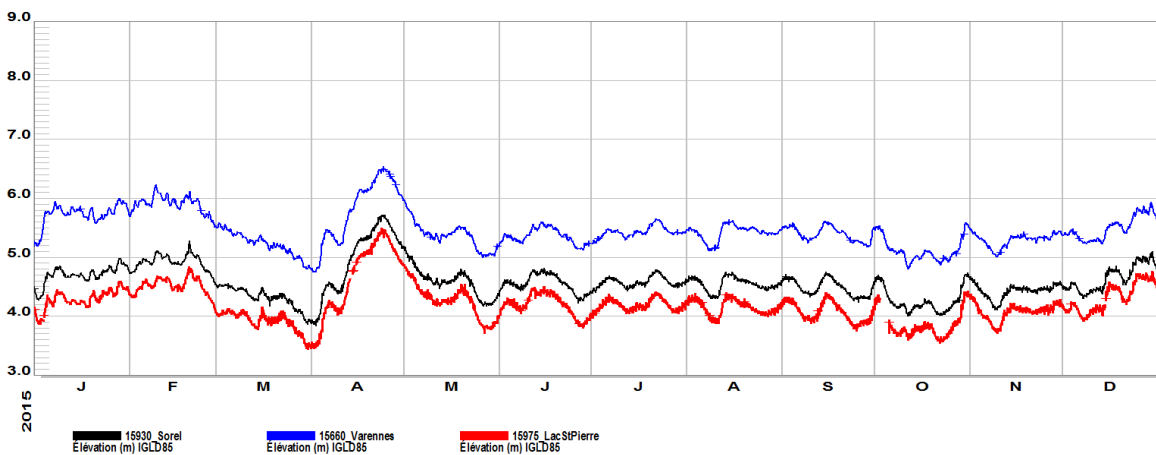
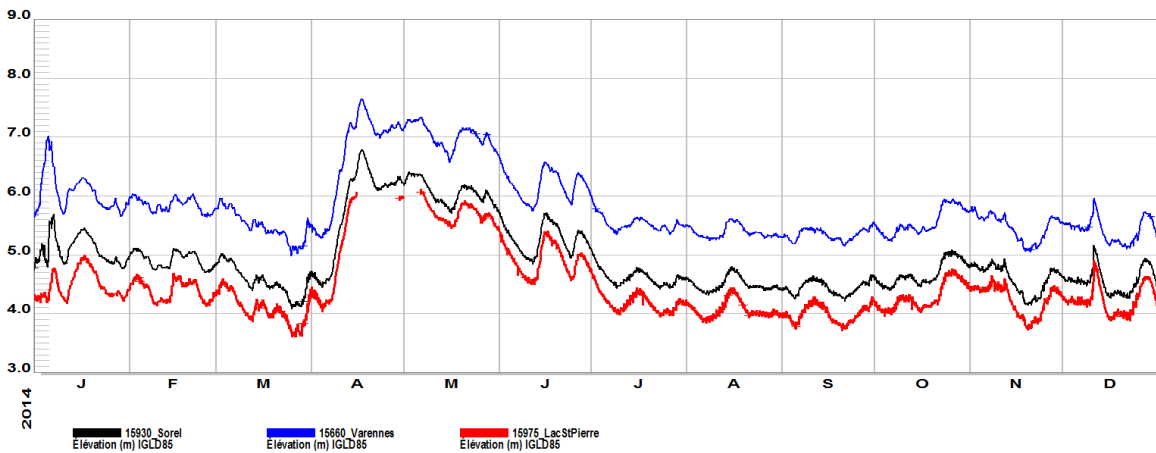
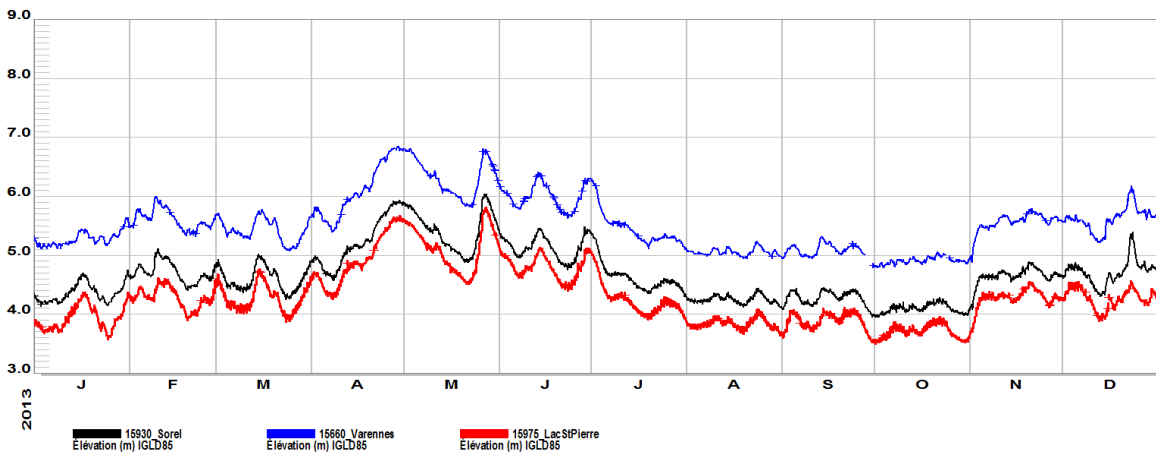




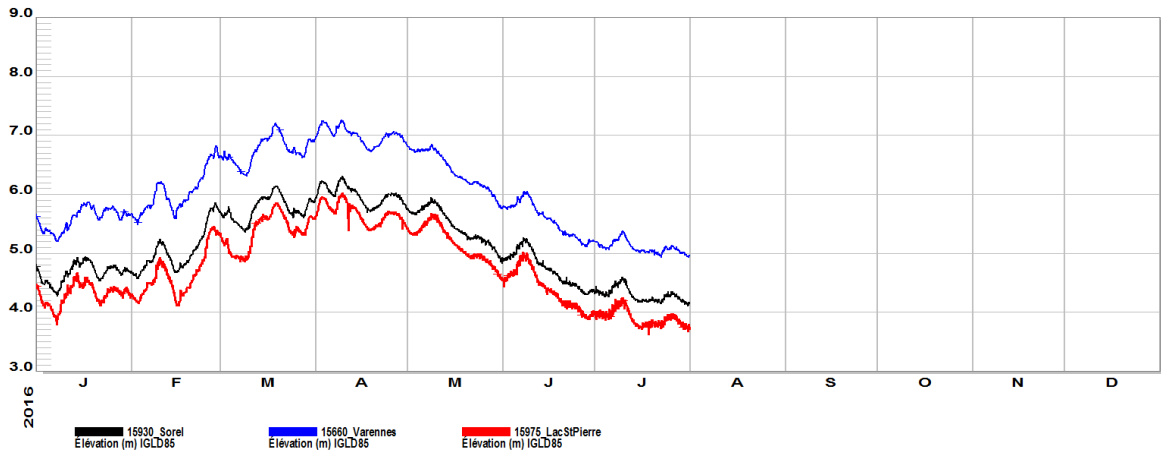














# ANNEXE

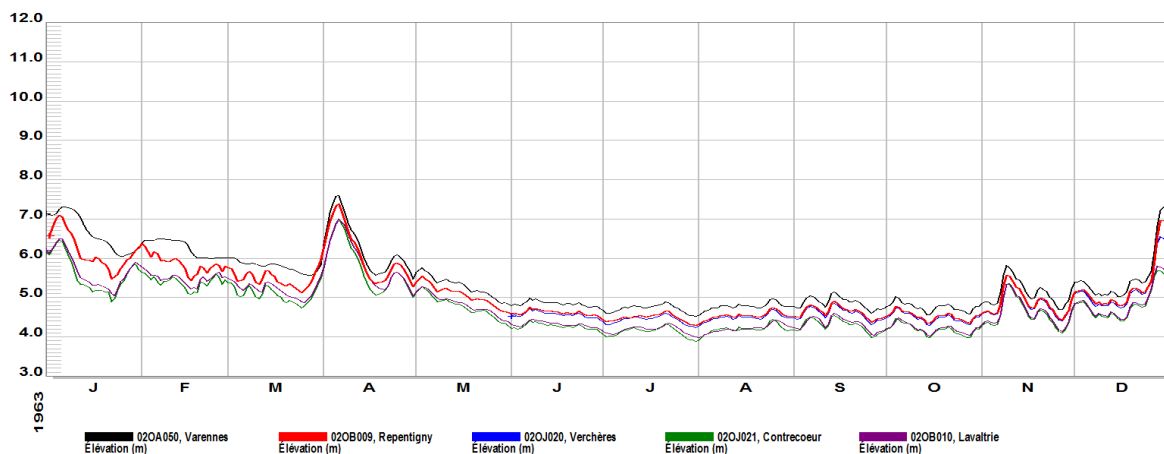
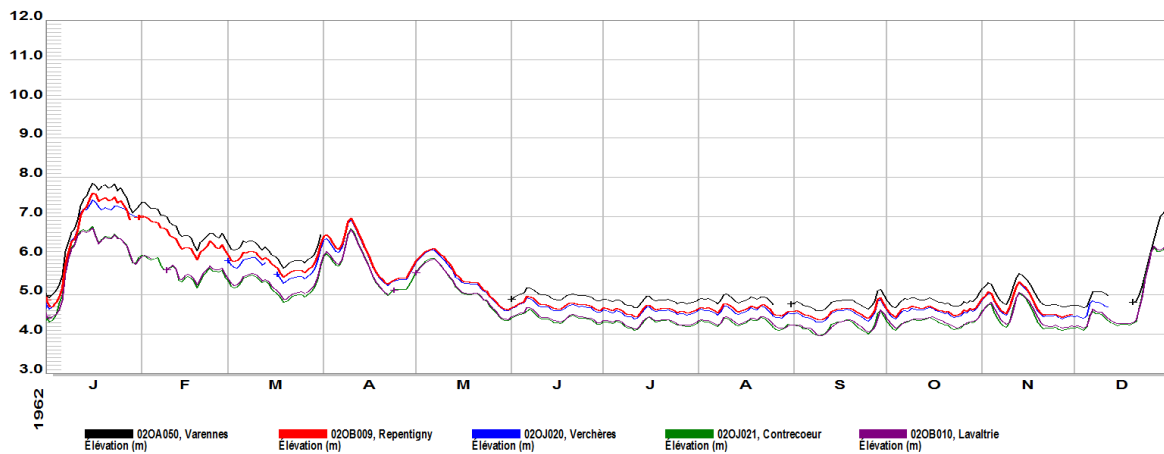
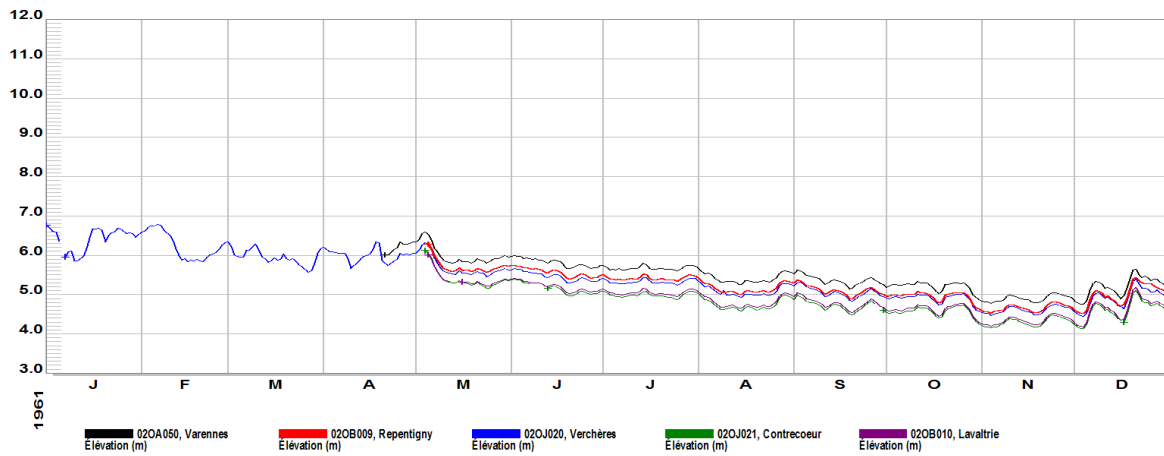
## **H** COMPARAISON DES SIGNAUX DE VARENNES, REPENTIGNY, VERCHÈRES, CONTRECOEUR ET LAVALTRIE

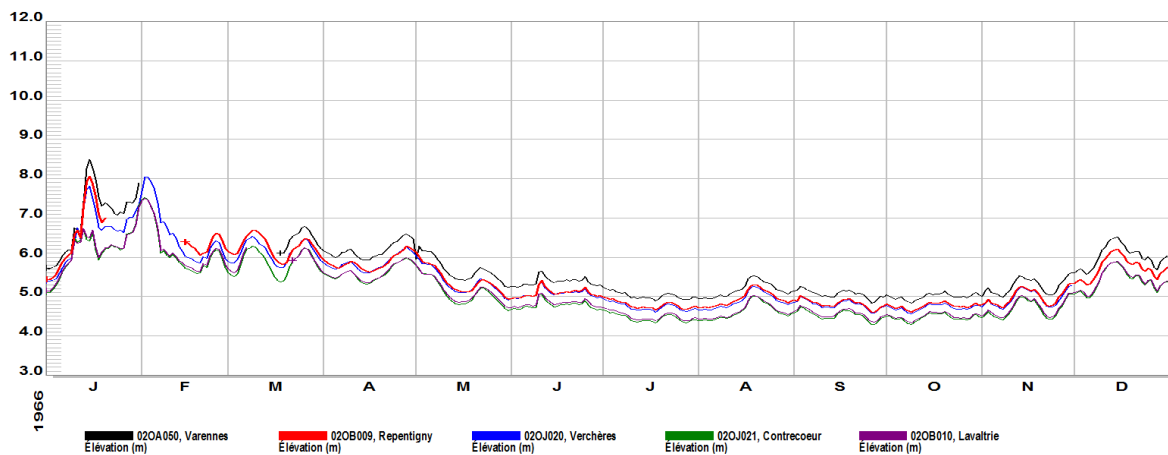
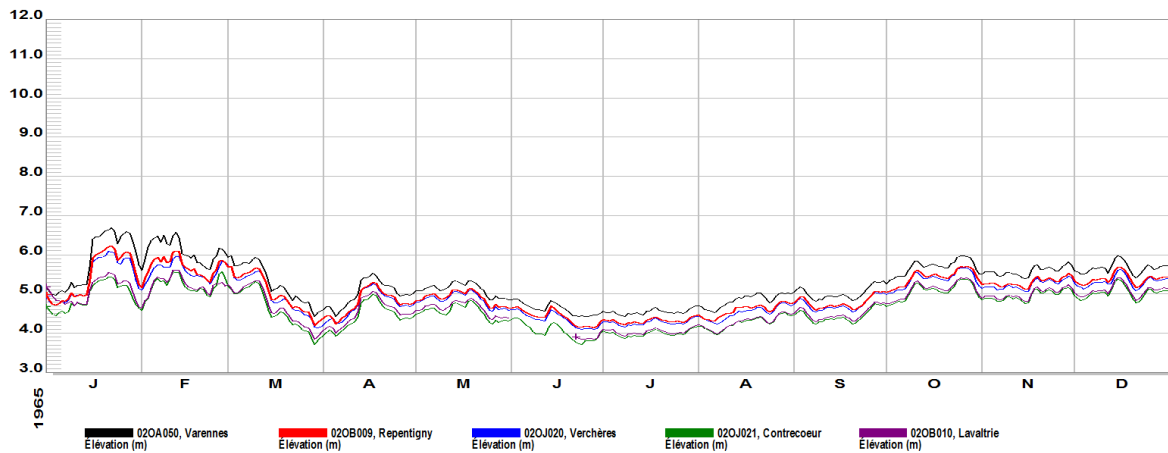
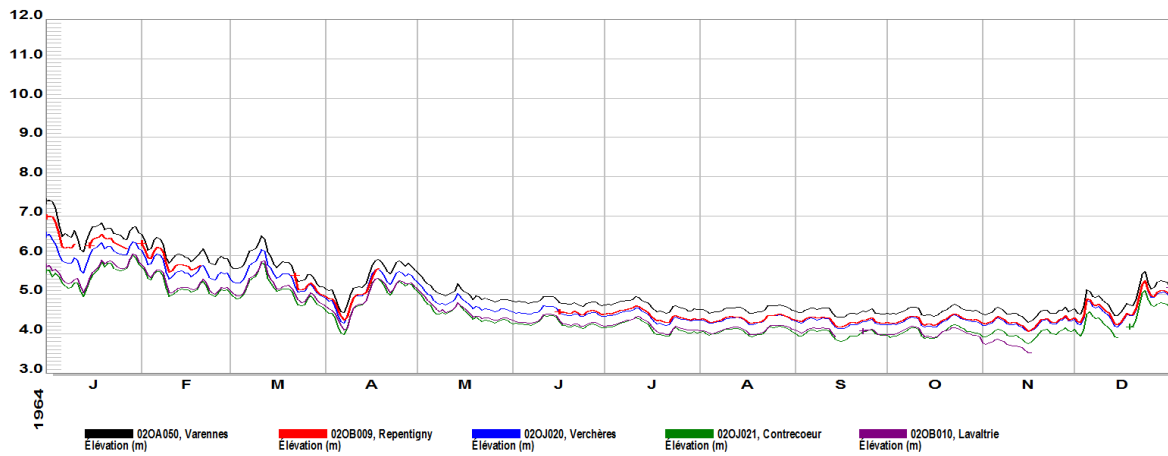


## ANNEXE H

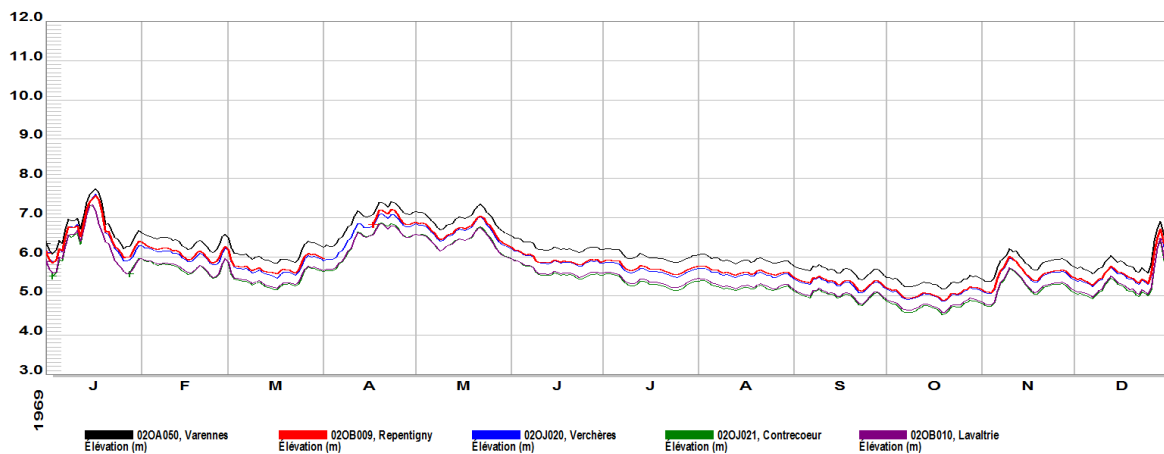
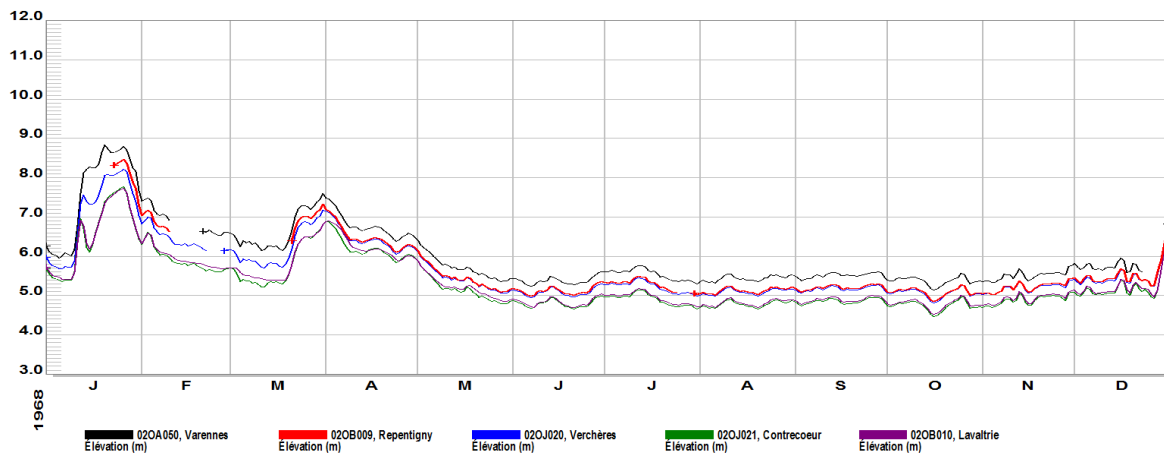
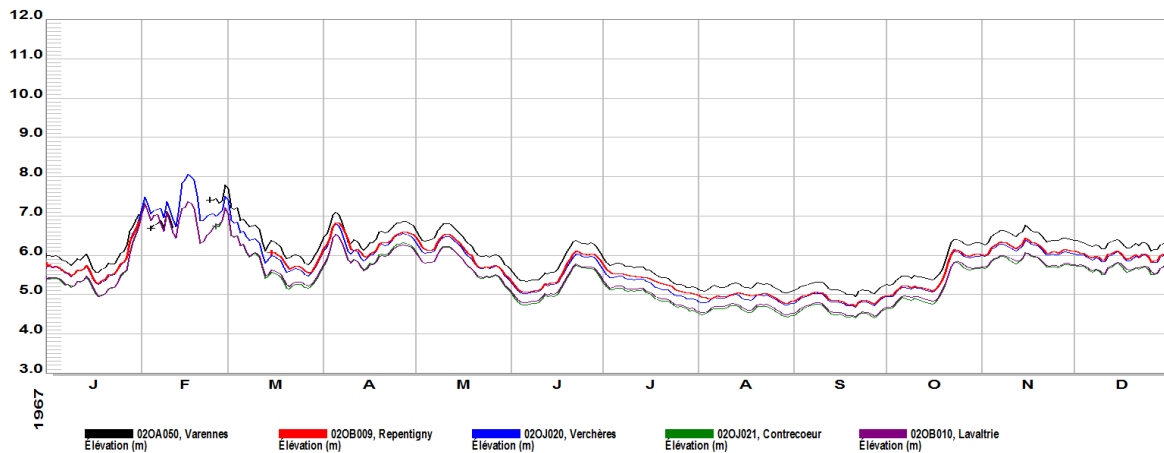
# Comparaison des signaux de Varennes, Repentigny, Verchères, Contrecoeur et Lavaltrie

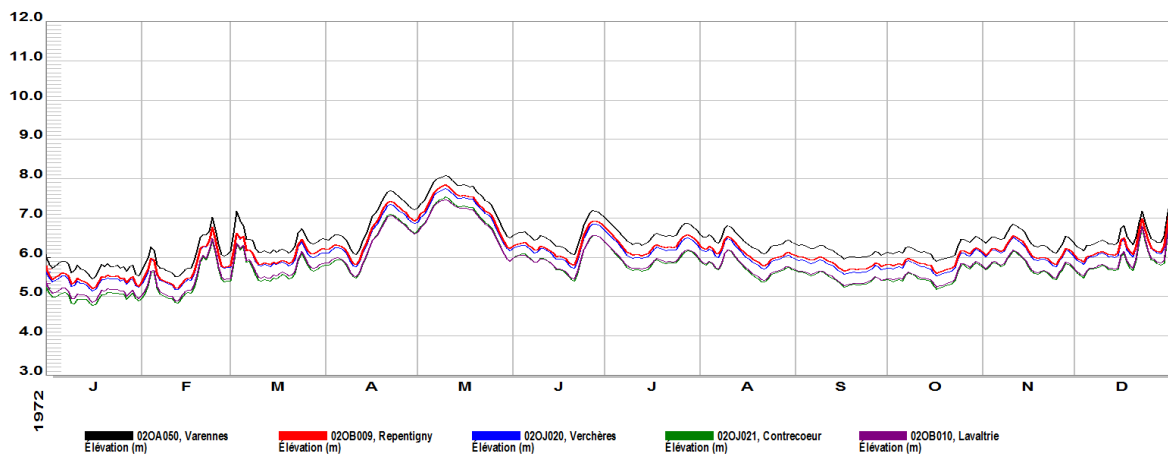
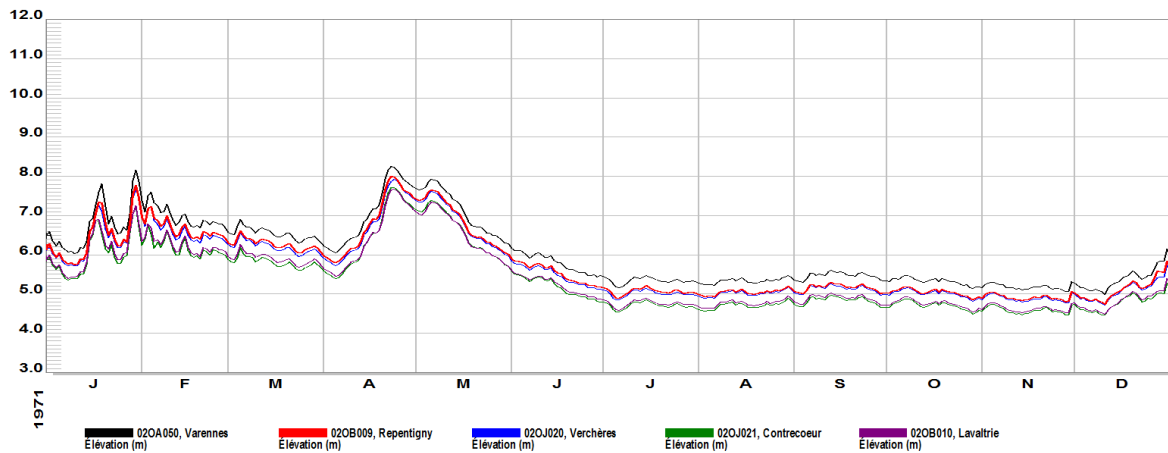
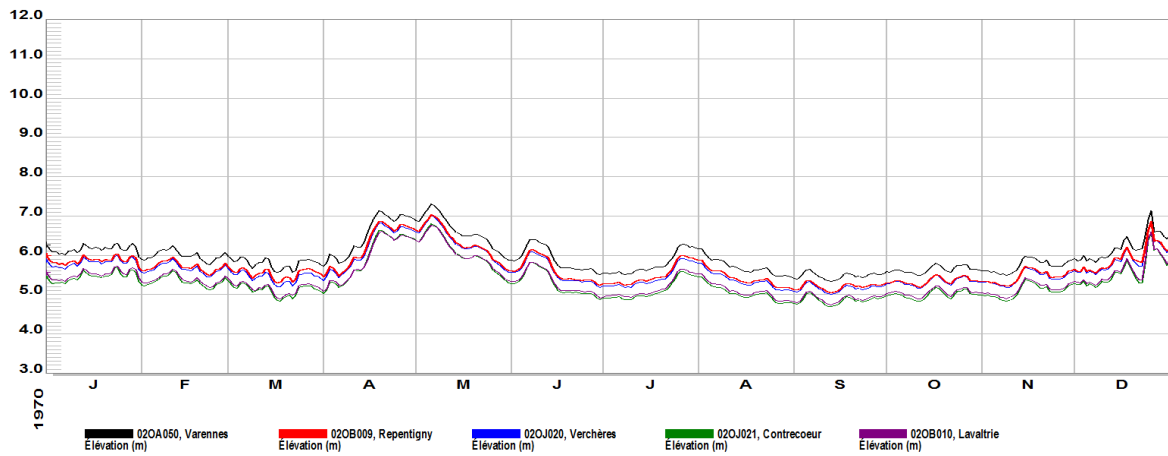


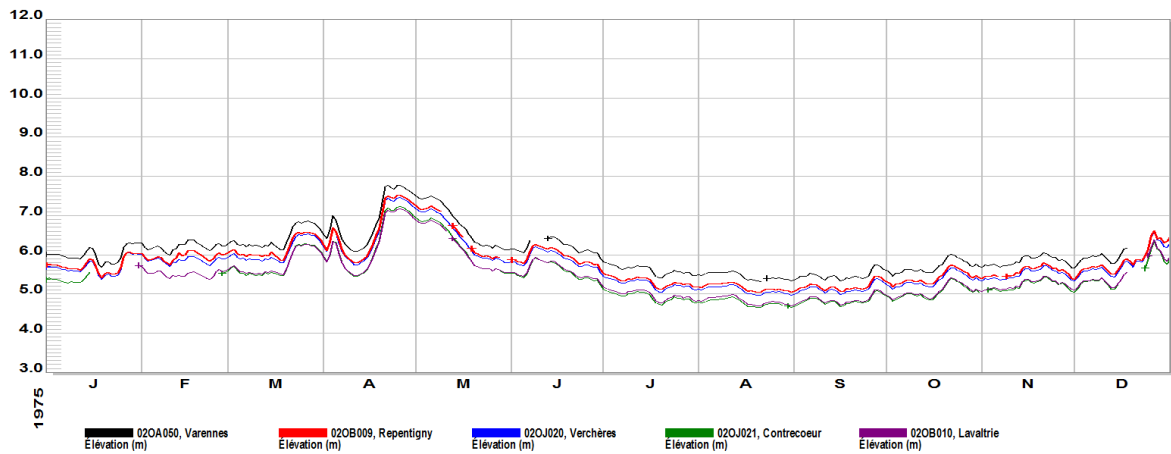
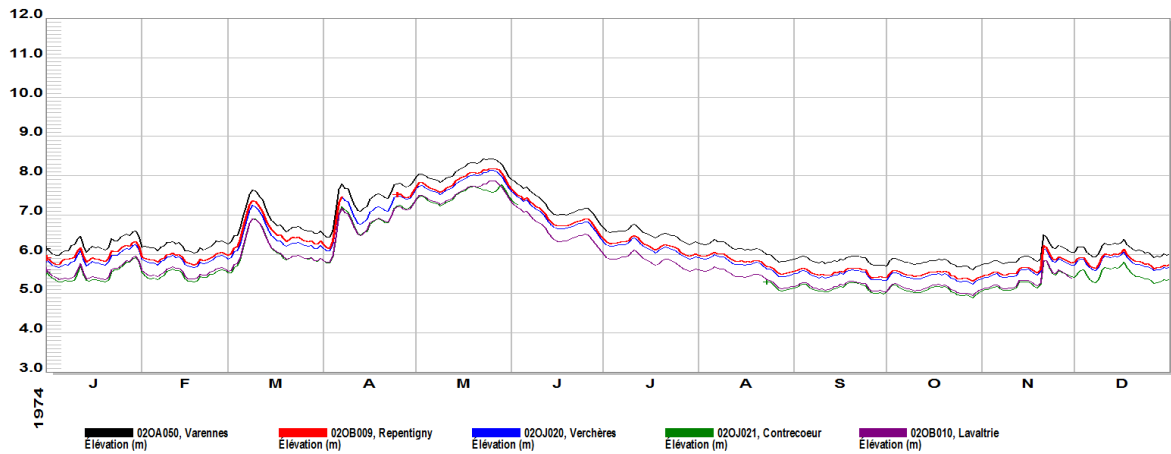
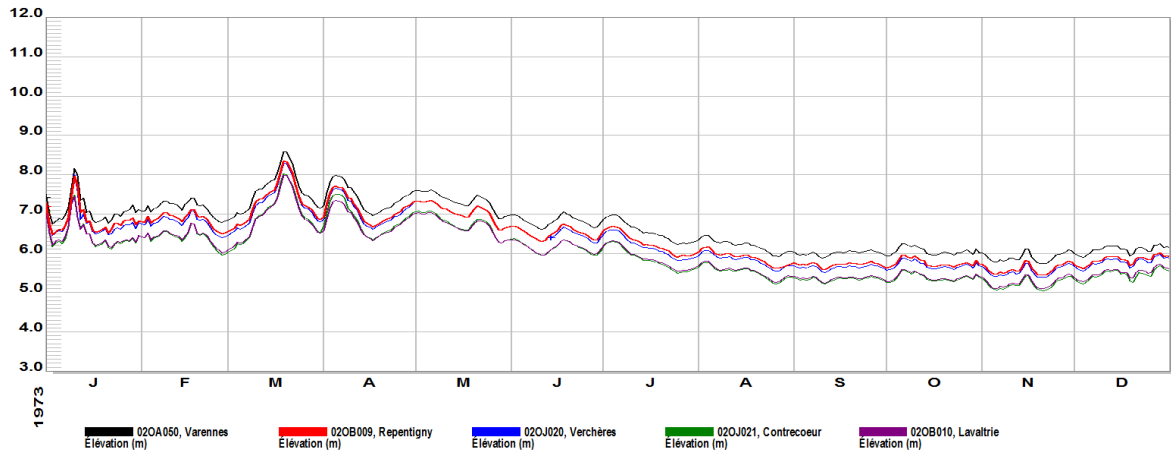


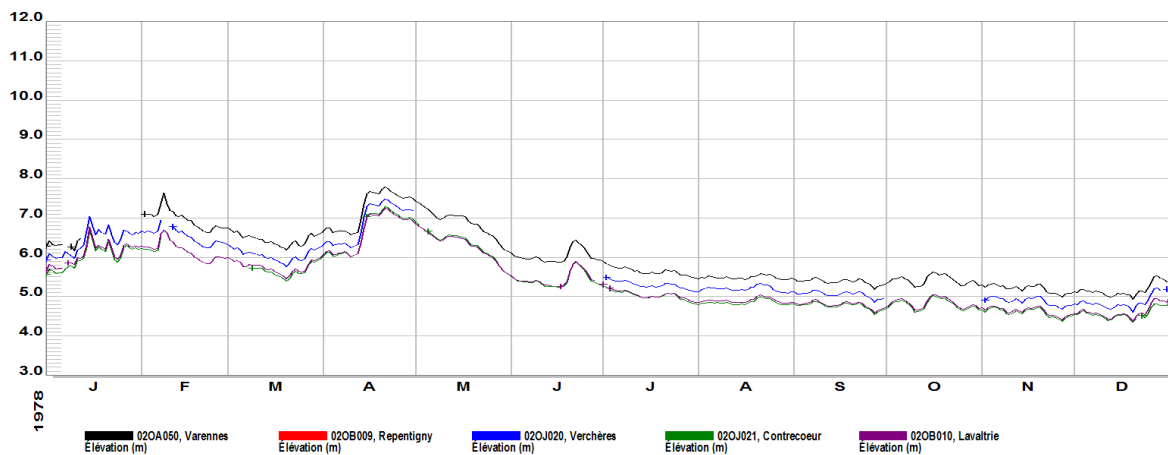
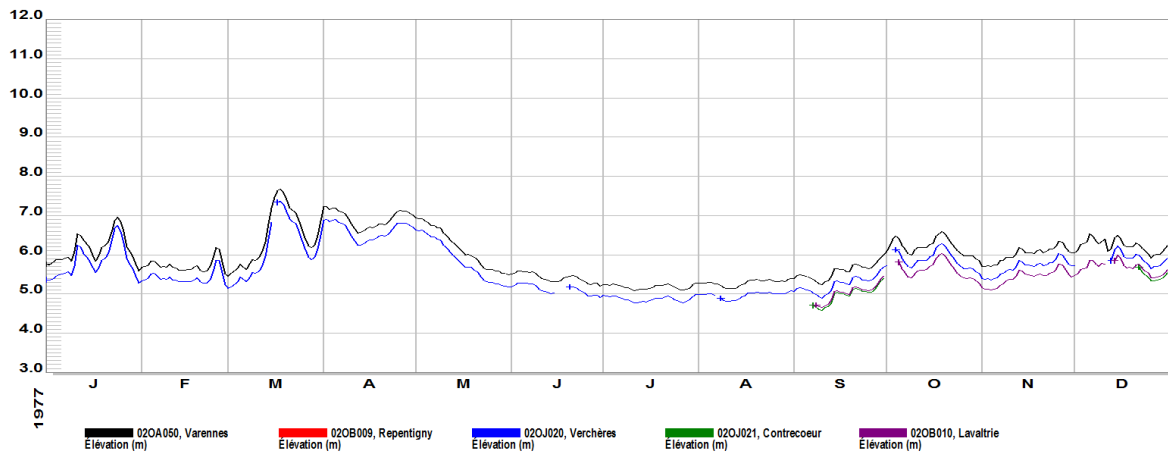
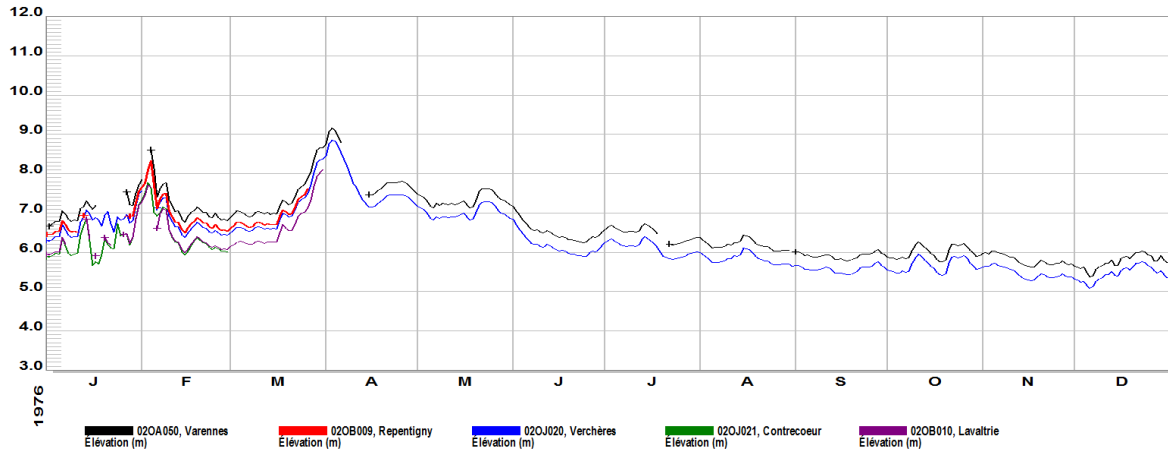


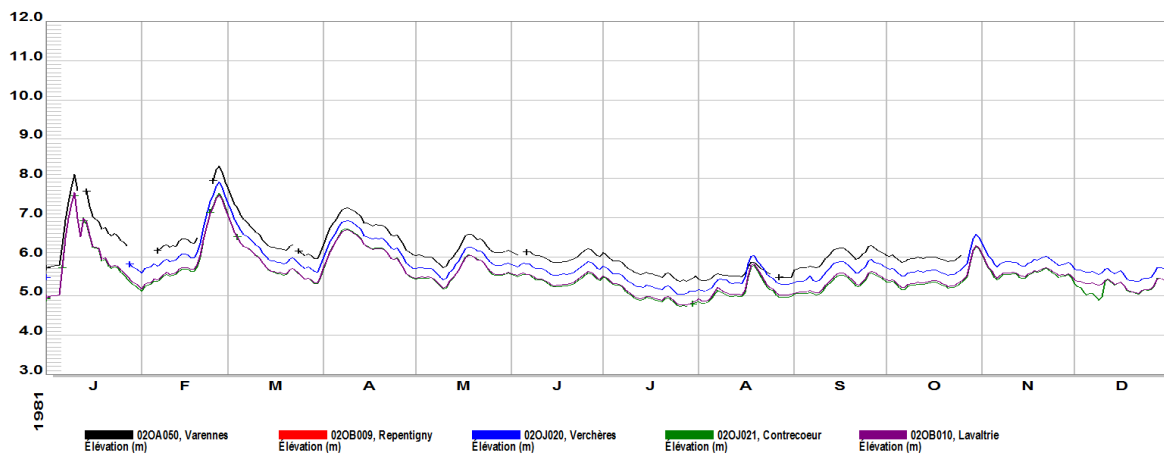
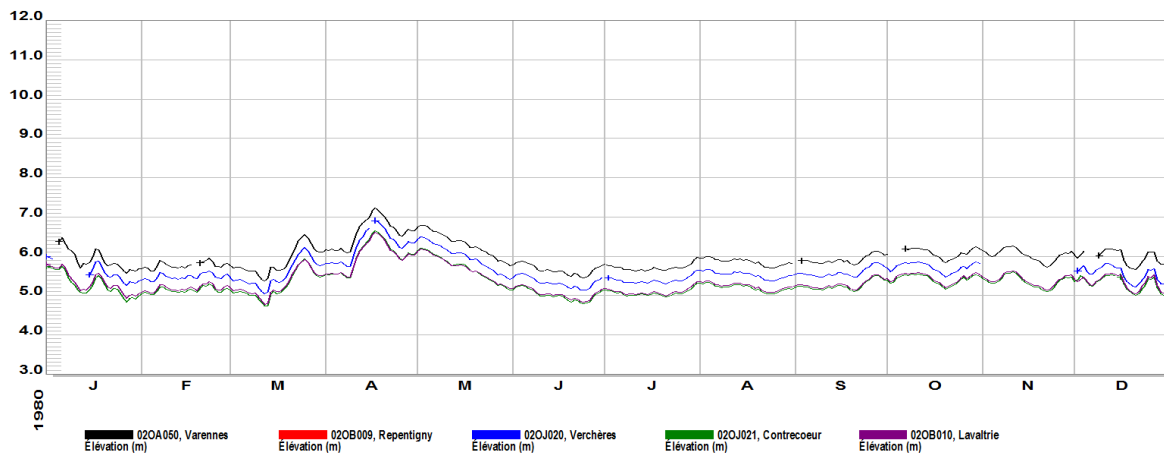
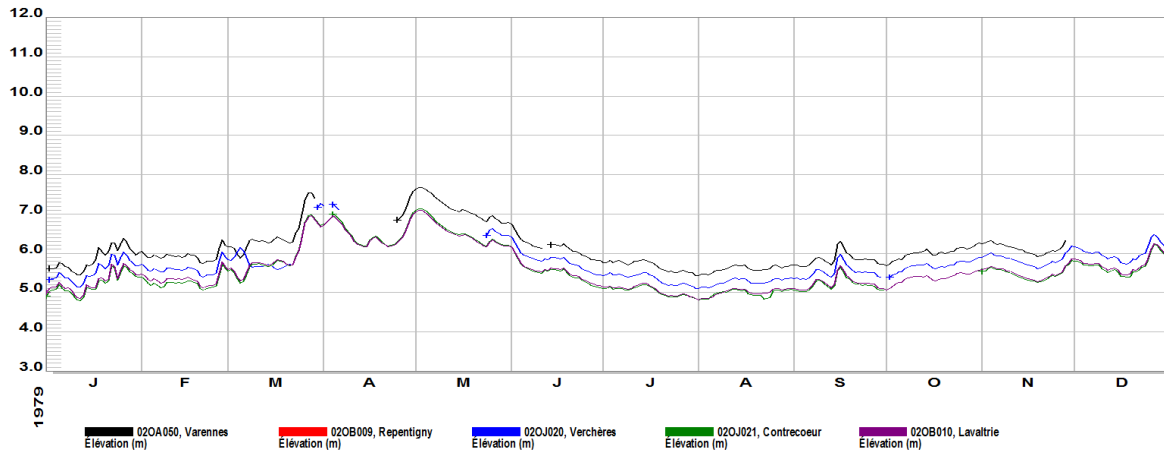


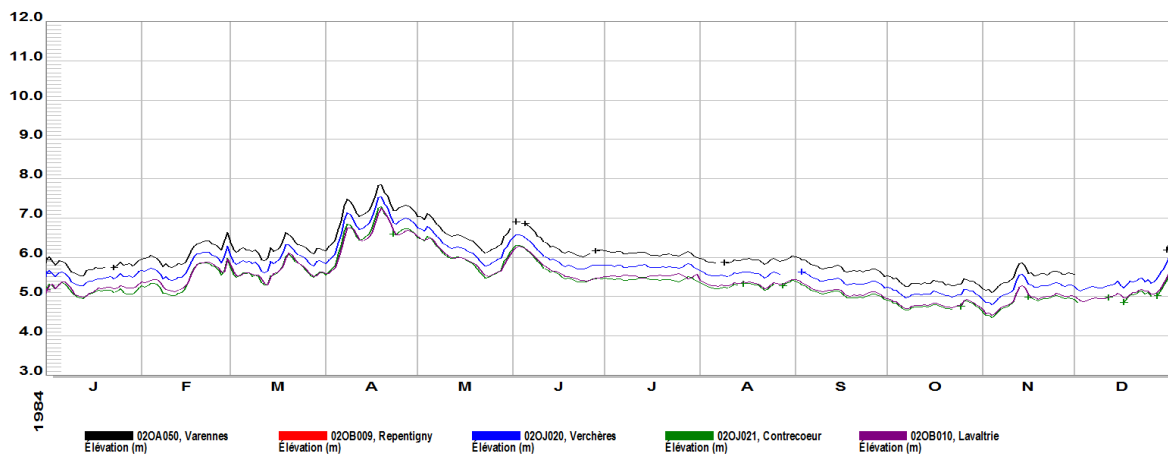
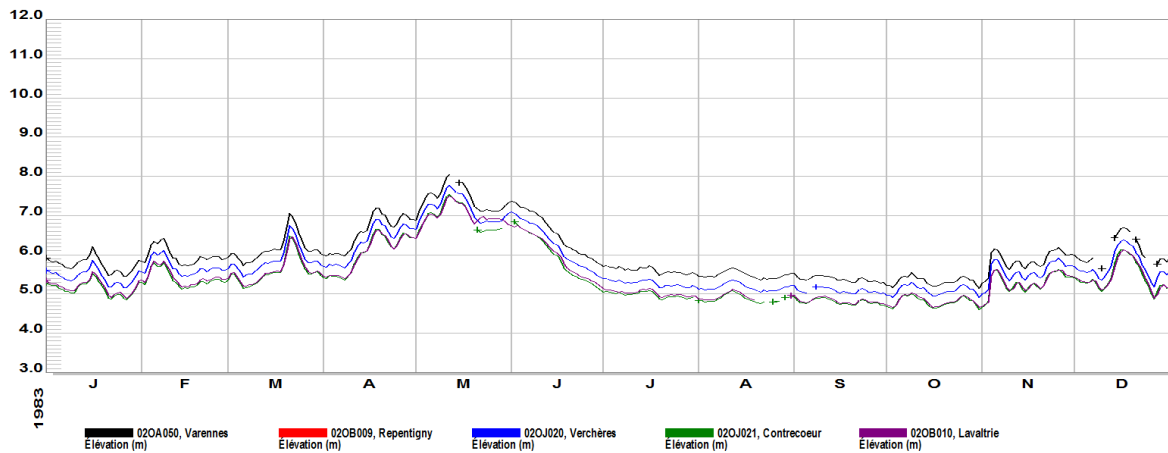
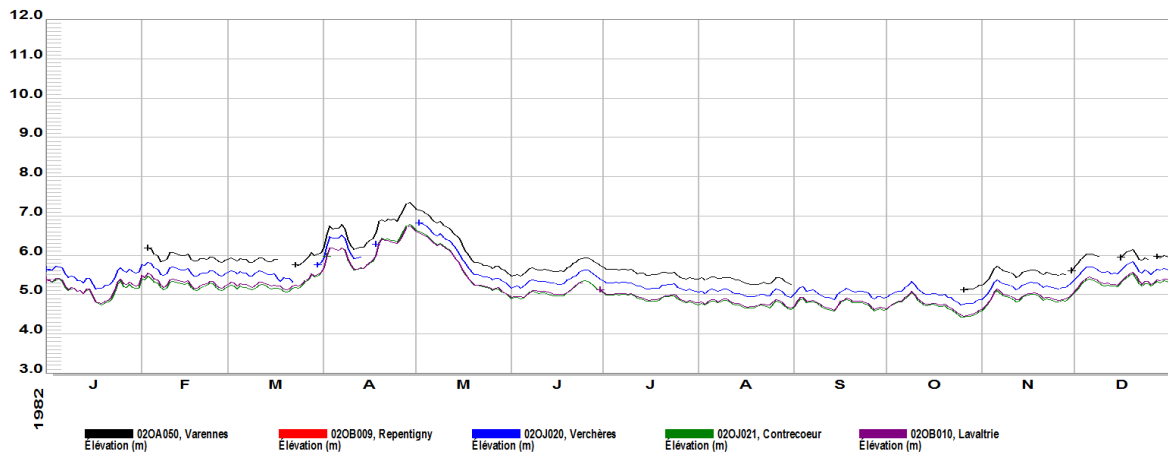


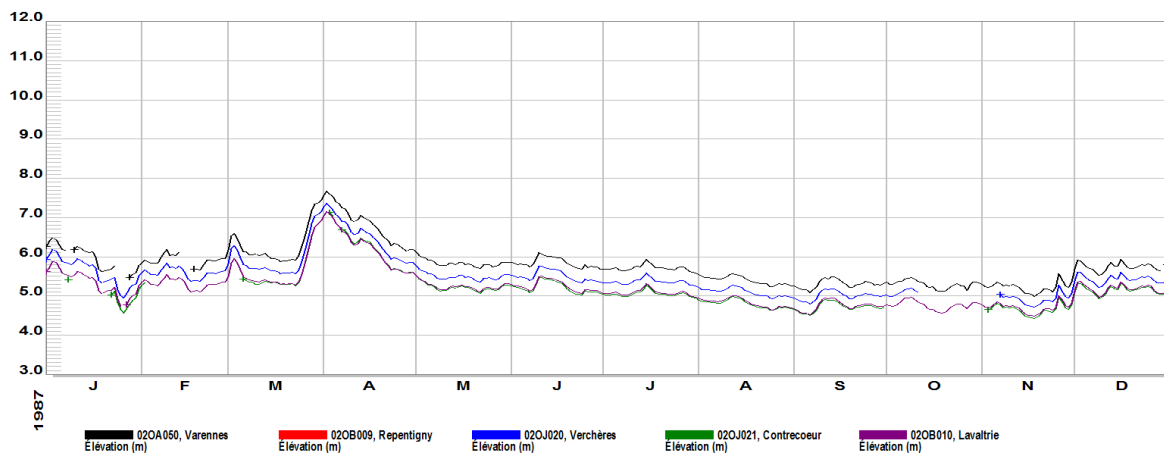
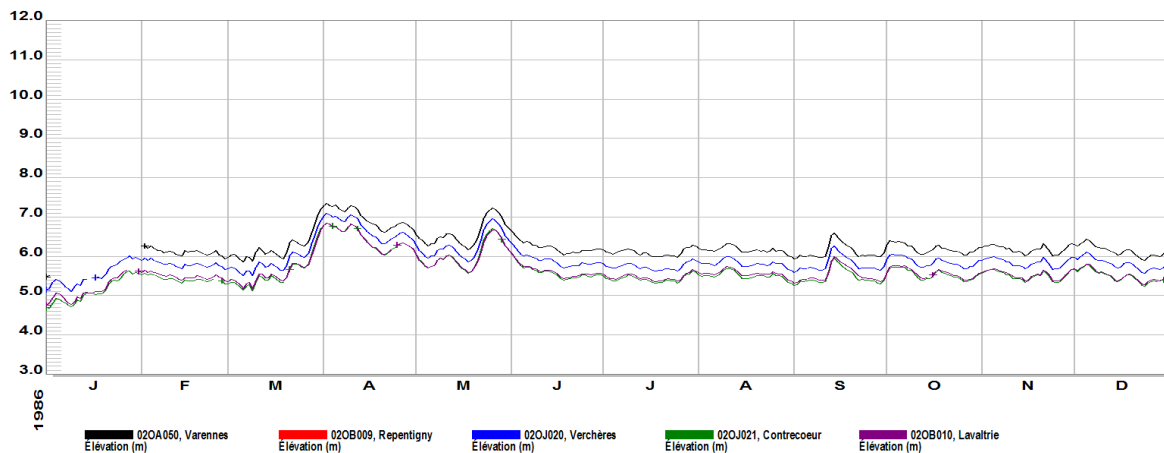
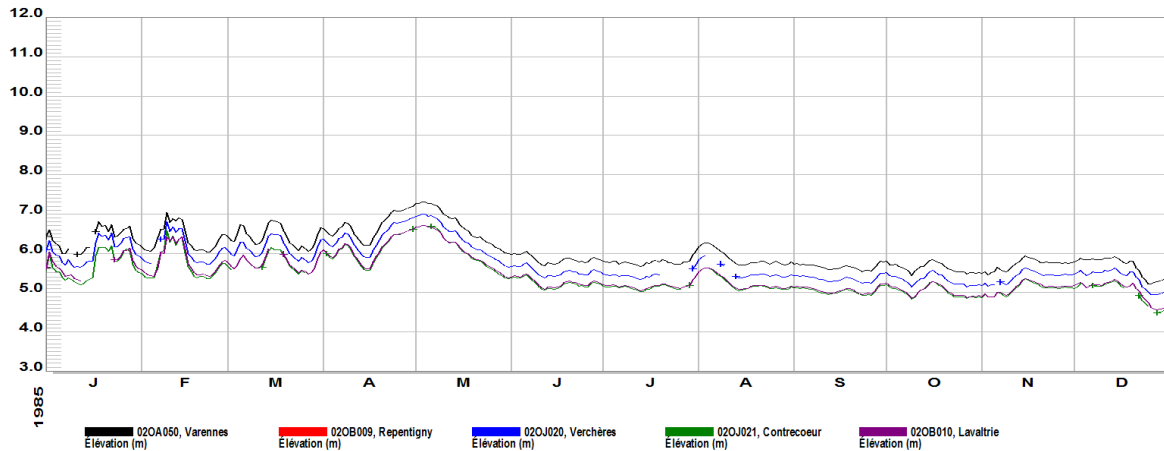


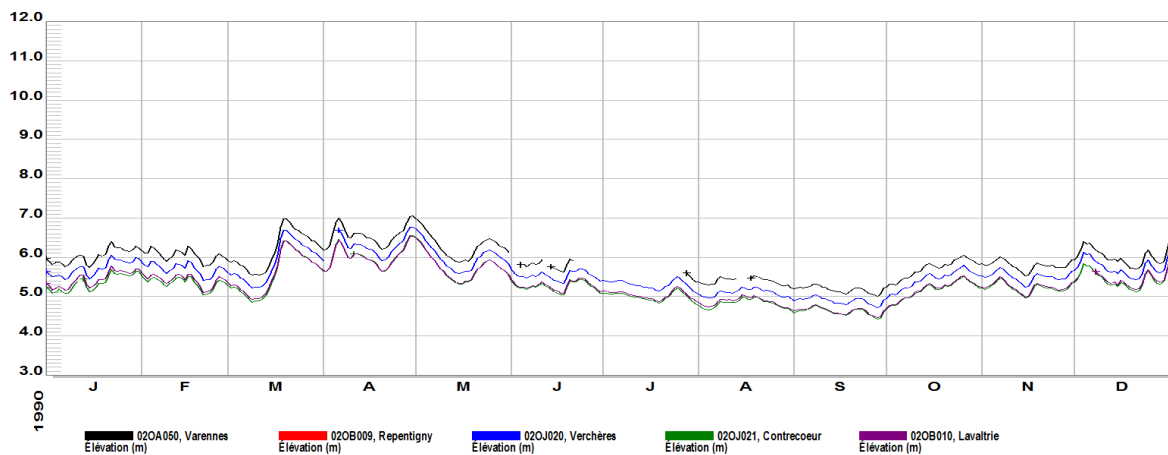
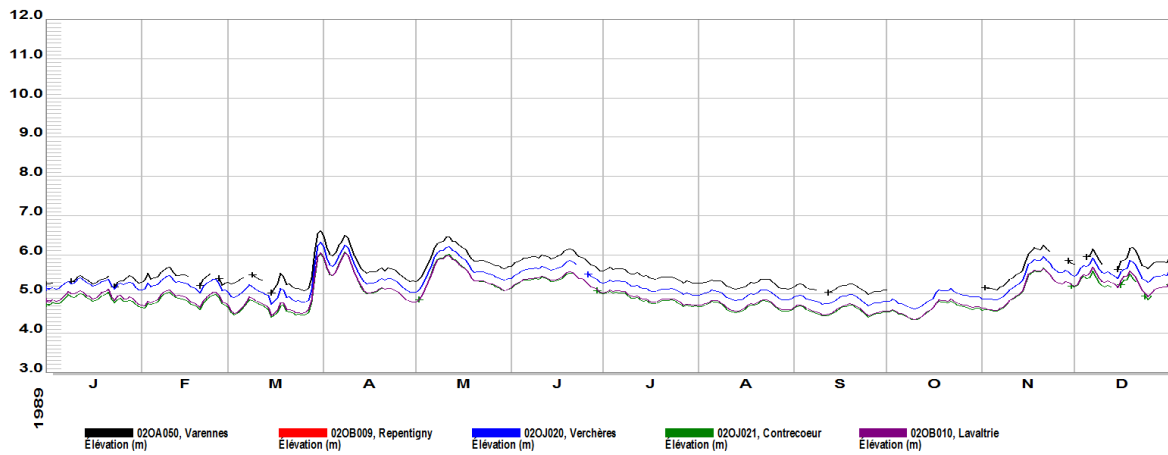
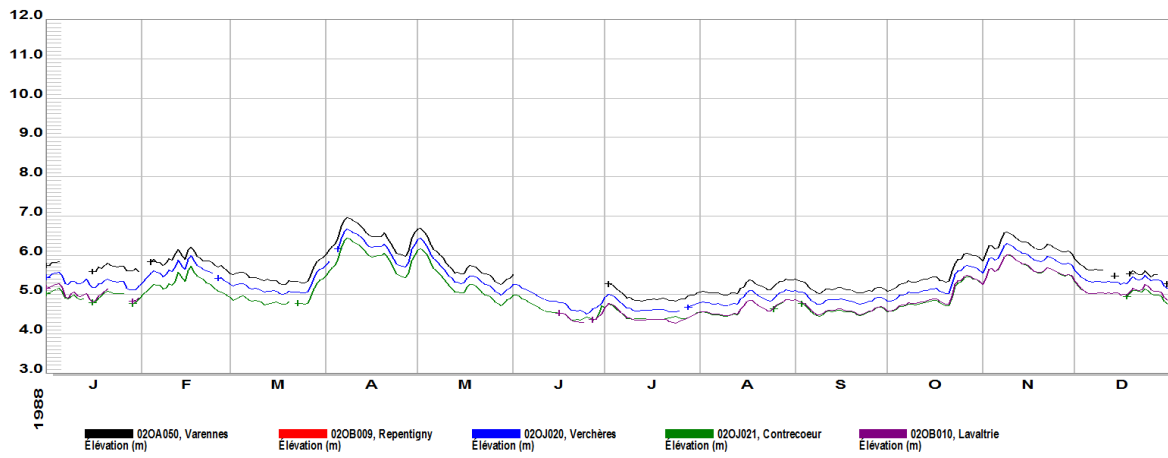




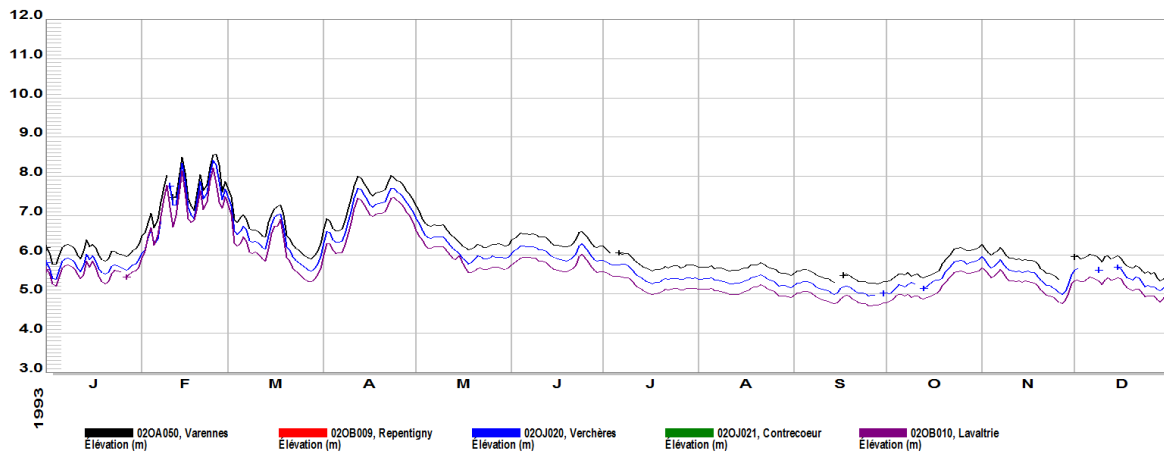
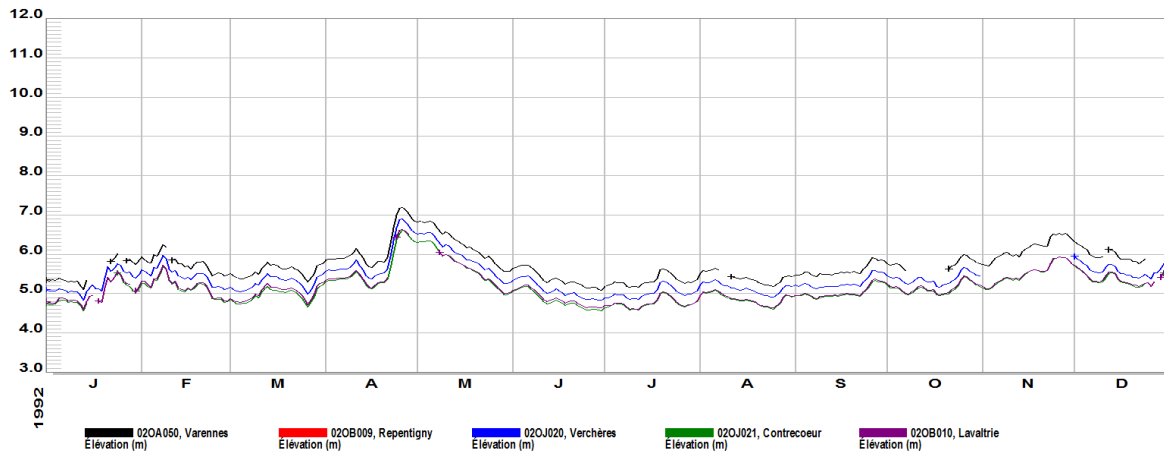
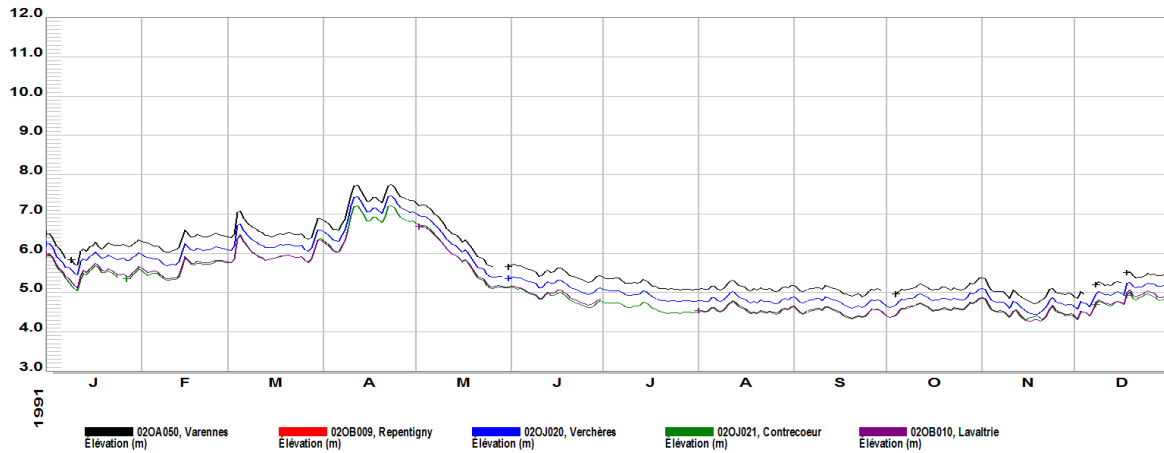


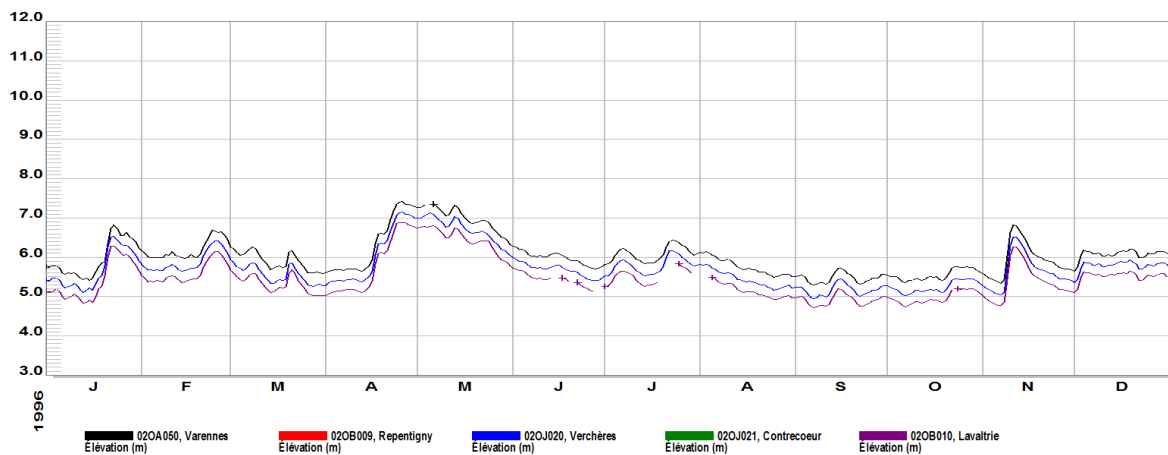
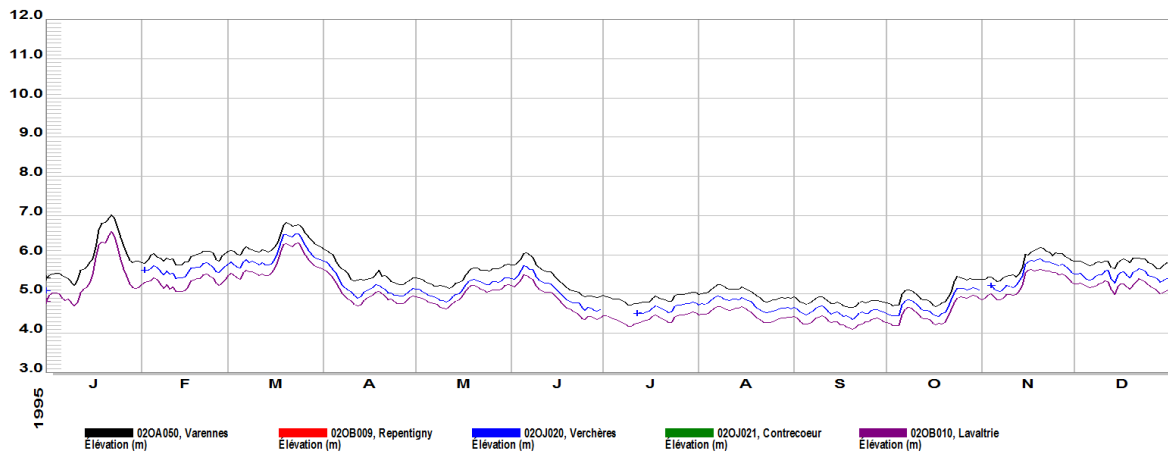
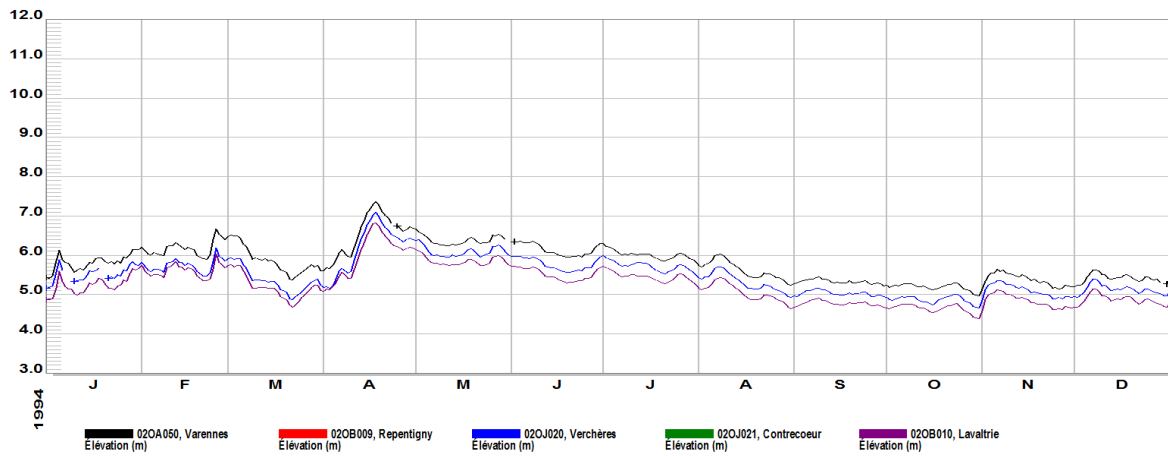


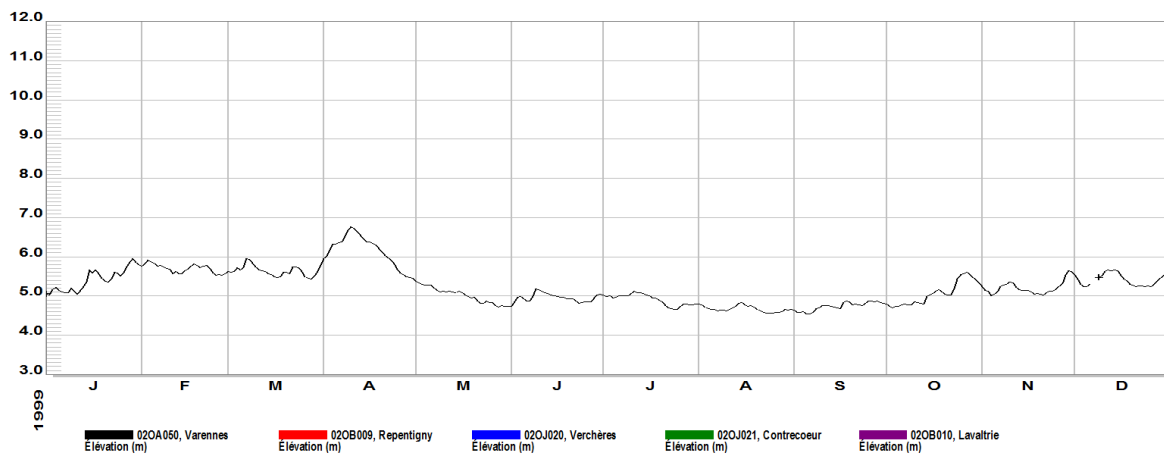
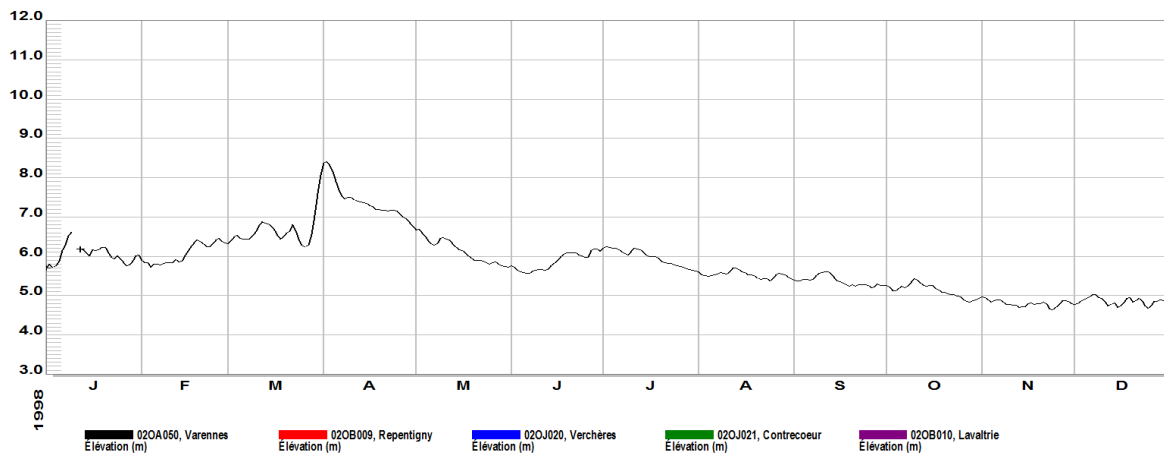
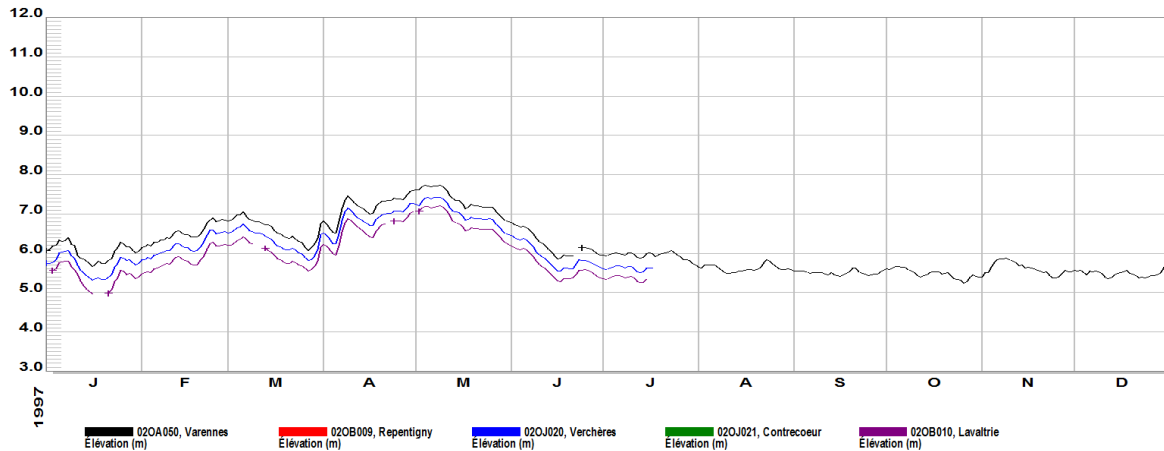


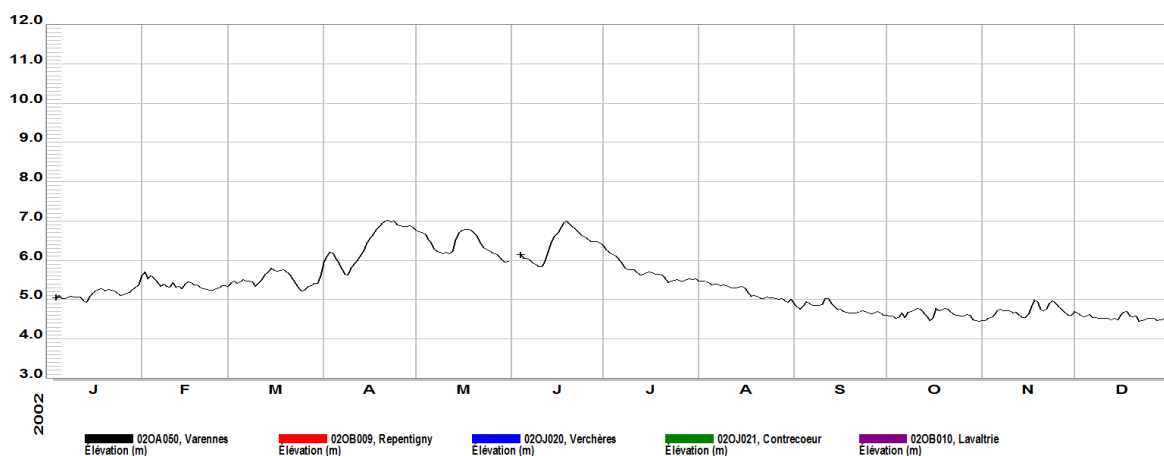
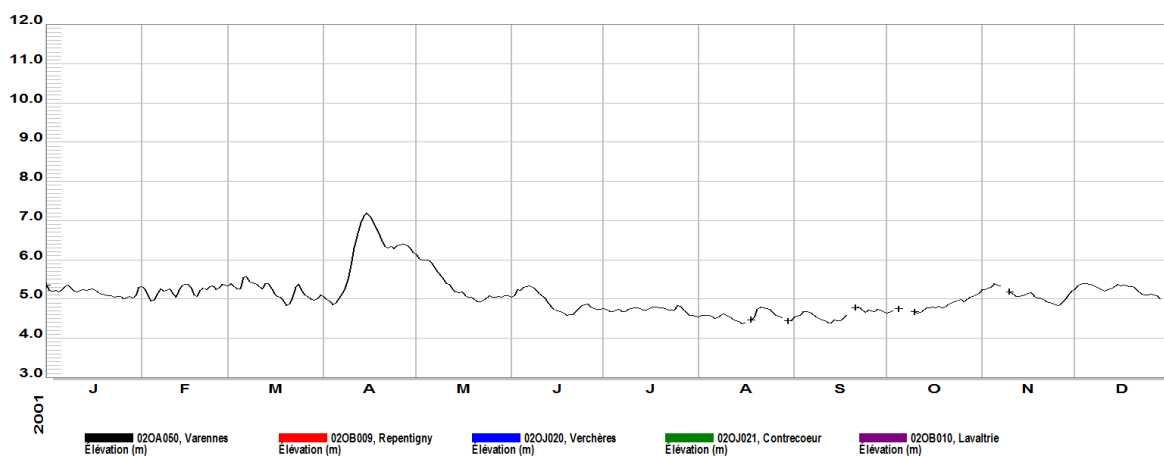
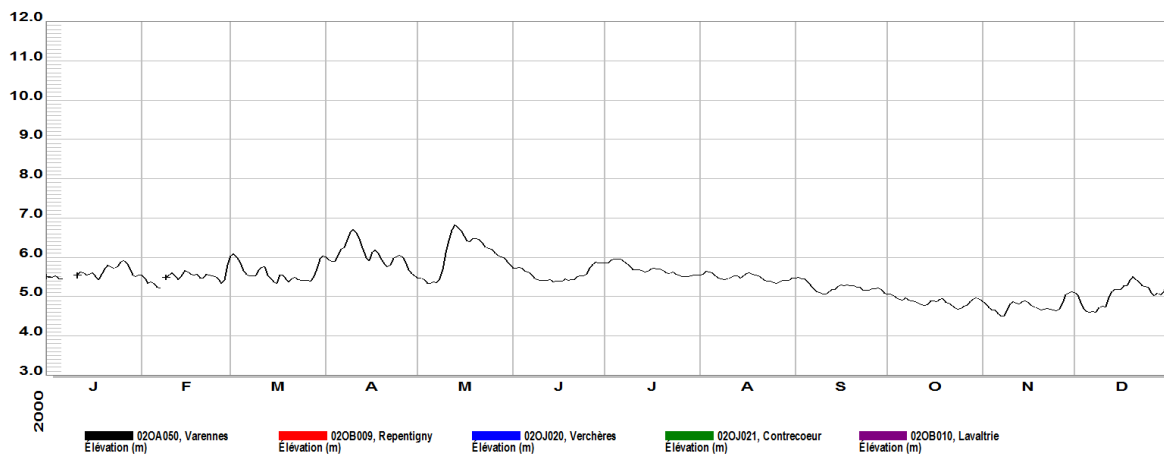


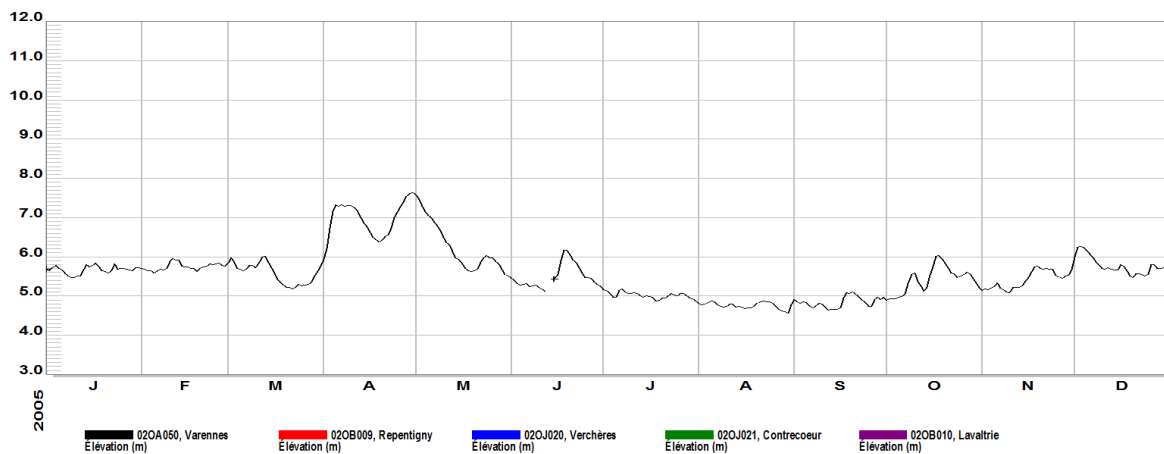
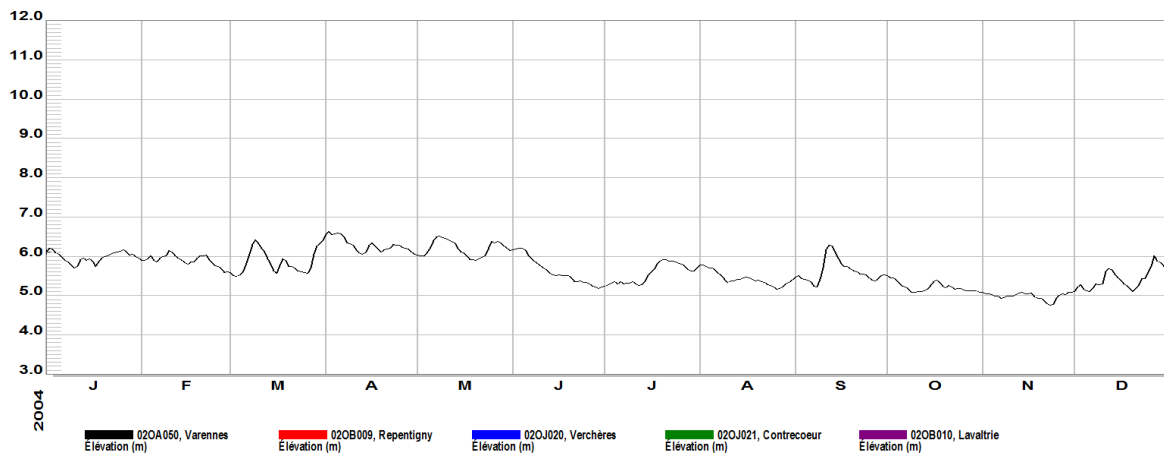
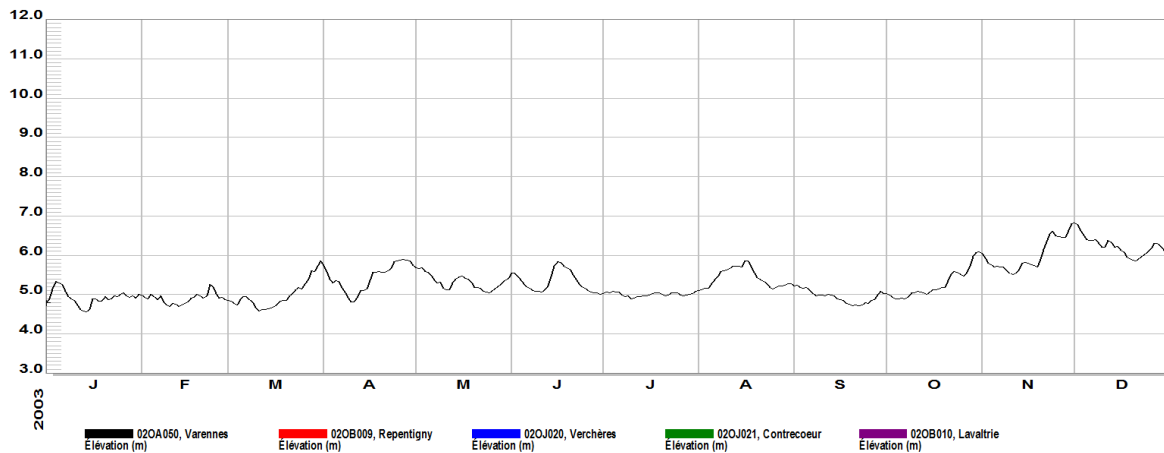


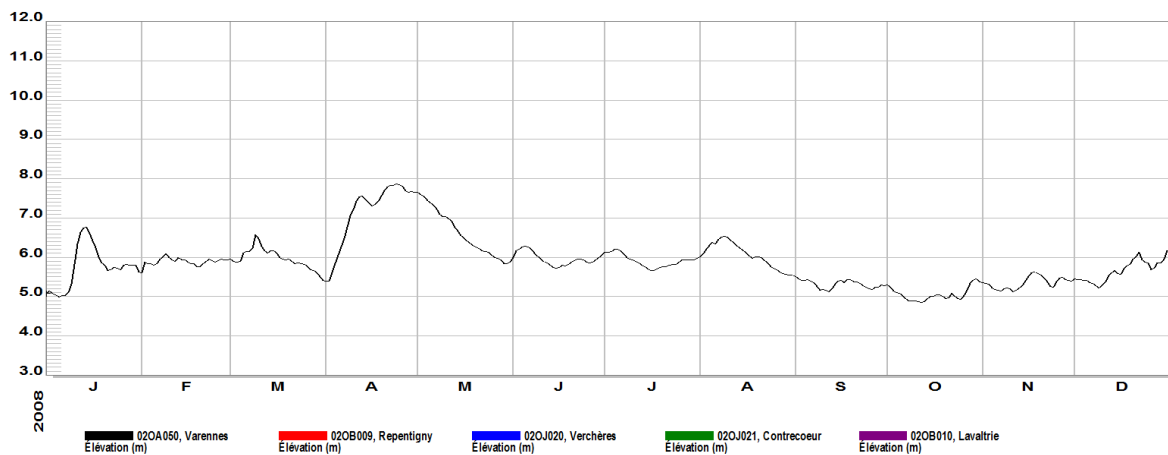
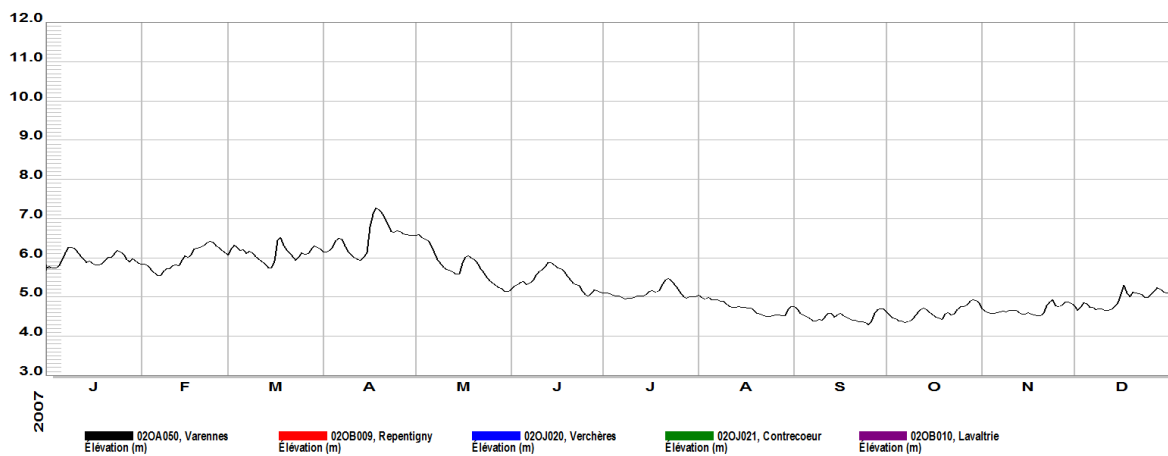
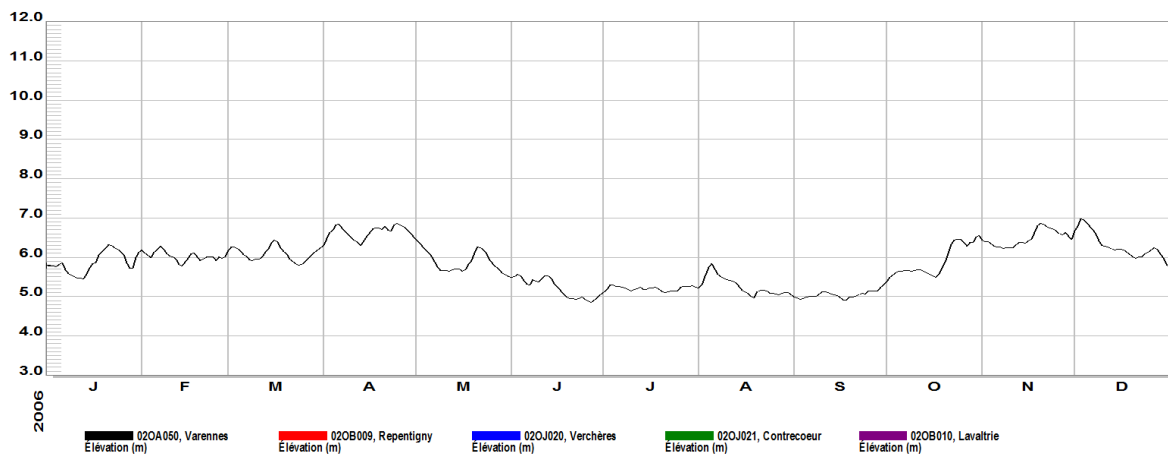


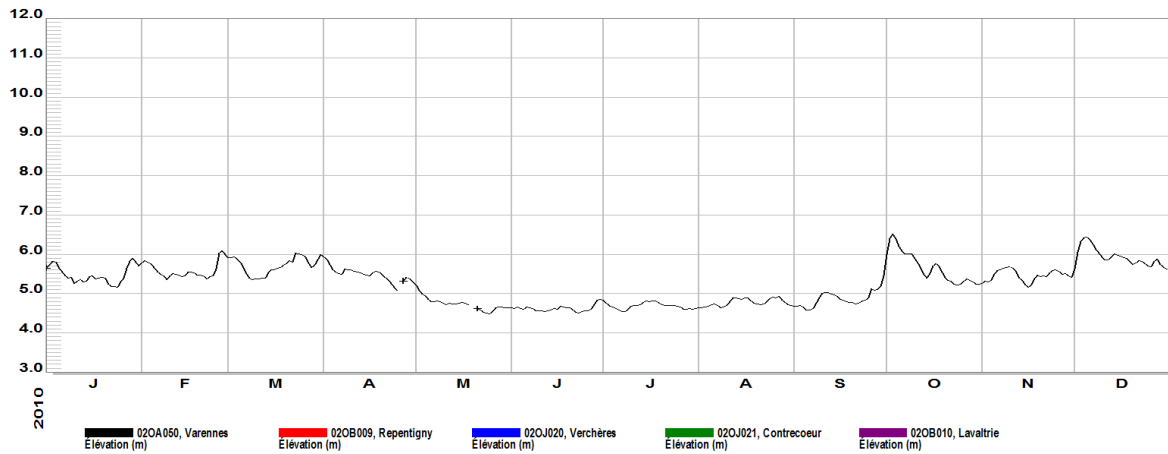
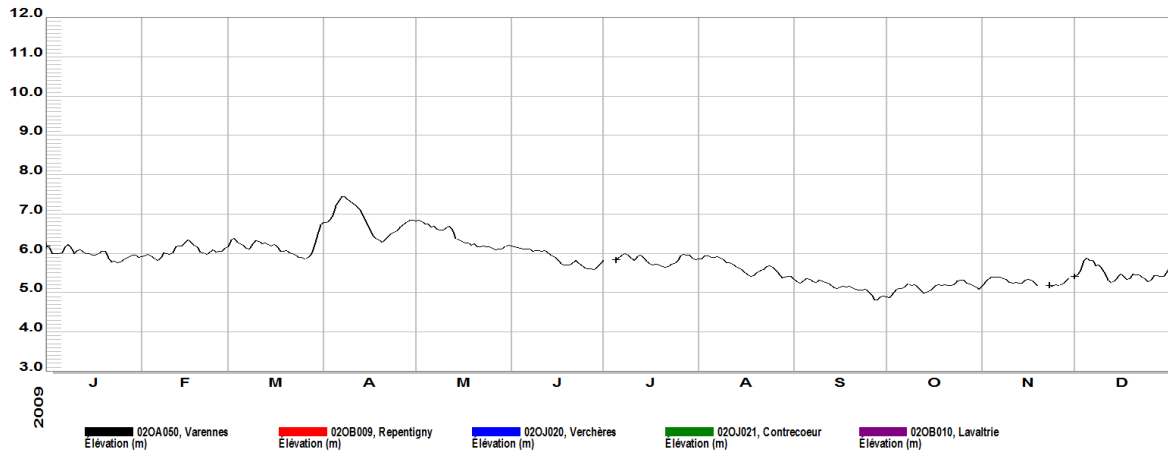
















# ANNEXE



## NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES ANNUELS





# ANNEXE I

## Niveaux d'eau extrêmes annuels

### TABLE DES MATIÈRES

I 1	STATION DE LA COURBE #2 SUR LE LAC SAINT-PIERRE.....	2
I 2	STATION DE SOREL .....	3
I 3	STATION DE VARENNES .....	4



## I 1 Station de la courbe #2 sur le lac Saint-Pierre

1980-04-17	17:00:00	65850.7083	6.20
1981-04-08	15:00:00	66206.6250	6.37
1982-05-02	12:00:00	66595.5000	5.87
1983-05-12	02:00:00	66970.0833	6.84
1984-05-01	07:00:00	67325.2917	5.87
1985-05-04	13:00:00	67693.5417	5.94
1986-04-14	17:00:00	68038.7083	5.72
1987-04-02	13:00:00	68391.5417	6.63
1988-04-12	10:00:00	68767.4167	5.56
1989-04-08	15:00:00	69128.6250	5.54
1990-04-30	18:00:00	69515.7500	5.92
1991-04-23	09:00:00	69873.3750	6.49
1992-05-04	14:00:00	70250.5833	5.71
1993-04-24	14:00:00	70605.5833	6.79
1994-05-28	16:00:00	71004.6667	5.34
1995-11-23	00:00:00	71548.0000	5.01
1996-04-25	22:00:00	71702.9167	6.23
1997-05-05	01:00:00	72077.0417	6.57
1998-04-02	22:00:00	72409.9167	7.32
1999-04-10	23:00:00	72782.9583	5.42
2000-05-13	20:00:00	73181.8333	5.77
2001-04-15	19:00:00	73518.7917	6.07
2002-04-20	21:00:00	73888.8750	5.81
2003-11-30	08:00:00	74477.3333	5.54
2004-04-04	01:00:00	74603.0417	5.50
2005-04-29	18:00:00	74993.7500	6.60
2006-12-04	00:00:00	75577.0000	5.73
2007-04-18	14:00:00	75712.5833	6.17
2008-04-24	16:00:00	76084.6667	6.75
2009-04-04	21:00:00	76429.8750	5.73
2010-10-03	09:00:00	76976.3750	5.35
2011-05-06	15:00:00	77191.6250	6.74
2012-04-24	14:00:00	77545.5833	5.38
2013-05-27	15:00:00	77943.6250	5.82
2014-05-06	17:00:00	78287.7083	6.08
2015-04-23	18:00:00	78639.7500	5.50
2016-04-09	15:00:00	78991.6250	6.03

## I 2 Station de Sorel

1980-04-17 15:00:00	65850.6250	6.18
1981-04-08 19:00:00	66206.7917	6.32
1982-04-29 23:00:00	66592.9583	6.36
1983-05-13 07:00:00	66971.2917	7.04
1984-04-19 03:00:00	67313.1250	6.93
1985-05-04 14:00:00	67693.5833	6.25
1986-04-02 21:00:00	68026.8750	6.50
1987-04-02 15:00:00	68391.6250	6.80
1988-04-08 17:00:00	68763.7083	6.04
1989-04-08 17:00:00	69128.7083	5.80
1990-04-29 18:00:00	69514.7500	6.18
1991-04-12 03:00:00	69862.1250	6.79
1992-04-25 23:00:00	70241.9583	6.25
1993-04-24 15:00:00	70605.6250	7.07
1994-04-18 07:00:00	70964.2917	6.50
1995-11-16 19:00:00	71541.7917	5.33
1996-04-25 22:00:00	71702.9167	6.54
1997-05-03 17:00:00	72075.7083	6.87
1998-04-02 17:00:00	72409.7083	7.63
1999-04-10 23:00:00	72782.9583	5.78
2000-05-13 14:00:00	73181.5833	6.01
2001-04-15 08:00:00	73518.3333	6.34
2002-04-20 22:00:00	73888.9167	6.09
2003-11-30 07:00:00	74477.2917	5.86
2004-04-02 13:00:00	74601.5417	5.78
2005-04-29 20:00:00	74993.8333	6.80
2006-04-05 21:00:00	75334.8750	5.97
2007-04-18 17:00:00	75712.7083	6.39
2008-04-24 17:00:00	76084.7083	6.96
2009-04-08 06:00:00	76433.2500	6.57
2010-10-03 09:00:00	76976.3750	5.67
2011-05-06 18:00:00	77191.7500	6.96
2012-04-24 20:00:00	77545.8333	5.57
2013-05-27 04:00:00	77943.1667	6.04
2014-04-17 09:00:00	78268.3750	6.79
2015-04-23 23:00:00	78639.9583	5.71
2016-04-09 16:00:00	78991.6667	6.30

### I 3 Station de Varennes

1980-04-17	04:00:00	65850.1667	7.26
1981-04-08	20:00:00	66206.8333	7.25
1982-04-29	07:00:00	66592.2917	7.35
1983-05-12	03:00:00	66970.1250	8.05
1984-04-18	21:00:00	67312.8750	7.91
1985-05-03	08:00:00	67692.3333	7.33
1986-04-02	05:00:00	68026.2083	7.36
1987-04-02	17:00:00	68391.7083	7.69
1988-04-08	20:00:00	68763.8333	6.98
1989-04-01	00:00:00	69121.0000	6.61
1990-04-28	23:00:00	69513.9583	7.11
1991-04-22	00:00:00	69872.0000	7.90
1992-04-26	13:00:00	70242.5417	7.23
1993-04-23	09:00:00	70604.3750	8.06
1994-04-18	03:00:00	70964.1250	7.39
1995-11-20	14:00:00	71545.5833	6.23
1996-04-26	00:00:00	71703.0000	7.46
1997-05-03	19:00:00	72075.7917	7.80
1998-04-01	20:00:00	72408.8333	8.44
1999-04-10	10:00:00	72782.4167	6.79
2000-05-13	09:00:00	73181.3750	6.86
2001-04-15	10:00:00	73518.4167	7.21
2002-04-22	00:00:00	73890.0000	7.03
2003-12-01	02:00:00	74478.0833	6.87
2004-04-02	01:00:00	74601.0417	6.66
2005-04-30	21:00:00	74994.8750	7.65
2006-12-03	15:00:00	75576.6250	7.02
2007-04-18	11:00:00	75712.4583	7.32
2008-04-24	19:00:00	76084.7917	7.88
2009-04-08	04:00:00	76433.1667	7.49
2010-10-03	01:00:00	76976.0417	6.54
2011-05-06	20:00:00	77191.8333	7.76
2012-04-01	00:00:00	77522.0000	6.36
2013-04-29	05:00:00	77915.2083	6.85
2014-04-17	05:00:00	78268.2083	7.65
2015-04-24	00:00:00	78640.0000	6.51
2016-04-09	08:00:00	78991.3333	7.27





# ANNEXE

**J**

RELATIONS NIVEAU-NIVEAU ET  
COTES DE CRUES LE LONG  
DES RIVES POUR LA MRC DE  
D'AUTRAY



# ANNEXE J

## Cotes de crues du fleuve Saint-Laurent le long des rives de la MRC de D'Autray

### TABLE DES MATIÈRES

<b>J 1</b>	<b>RELATIONS NIVEAU-NIVEAU LE LONG DES PARCOURS POUR LA MRC DE D'AUTRAY .....</b>	<b>5</b>
<b>J 2</b>	<b>POINTS D'EXTRACTION DES RÉSULTATS DE LA MODÉLISATION POUR LA MRC DE D'AUTRAY .....</b>	<b>5</b>
<b>J 3</b>	<b>PARCOURS POUR LA MRC DE D'AUTRAY .....</b>	<b>6</b>
<b>J 4</b>	<b>AJUSTEMENT DE FONCTIONS QUADRATIQUES AUX RELATIONS NIVEAU-NIVEAU.....</b>	<b>22</b>
J 4.1	DÉTERMINATION DES NIVEAUX D'EAU DE RÉCURRENCE DE 2, DE 20 ET DE 100 ANS ....	26
<b>J 5</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-01, RIVE GAUCHE DU FLEUVE SAINT-LAURENT</b>	<b>28</b>
J 5.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS .....	28
J 5.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	33
J 5.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	38
<b>J 6</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-02 ET AUTRAY-03, LE NID D'AIGLE ET L'ÎLE À LA GRENOUILLE .....</b>	<b>43</b>
J 6.1	RÉCURRENCE 2 ANS .....	43
J 6.2	RÉCURRENCE 20 ANS .....	43
J 6.3	RÉCURRENCE 100 ANS .....	44
<b>J 7</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-04, AUTRAY-05 ET AUTRAY-06, ÎLES DE LA GIRODEAU, CARDIN ET LA GRANDE ÎLE .....</b>	<b>45</b>
J 7.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	45
J 7.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	46
J 7.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	47
<b>J 8</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-07 ET AUTRAY-08, ÎLES AUX SABLES ET AUX LIARDS .....</b>	<b>48</b>
J 8.1	RÉCURRENCE 2 ANS .....	48

J 8.2	RÉCURRENCE 20 ANS .....	48
J 8.3	RÉCURRENCE 100 ANS .....	49
<b>J 9</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-09 ET AUTRAY10, ÎLE PLATE .....</b>	<b>50</b>
J 9.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS .....	50
J 9.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	50
J 9.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	51
<b>J 10</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-11 ET AUTRAY-12, ÎLE DUPAS.....</b>	<b>52</b>
J 10.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	52
J 10.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	54
J 10.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	57
<b>J 11</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-13 ET AUTRAY-14, ÎLES AUX CASTORS ET DU MITAN.....</b>	<b>60</b>
J 11.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	60
J 11.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	62
J 11.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	64
<b>J 12</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-15 ET AUTRAY-16, ÎLES À LA CAVALE, LAMARCHE, AUX NOYERS ET AUX OURS .....</b>	<b>66</b>
J 12.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	66
J 12.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	67
J 12.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	69
<b>J 13</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-17 ET AUTRAY-18, ÎLE DUCHARME .....</b>	<b>71</b>
J 13.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	71
J 13.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	71
J 13.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	72
<b>J 14</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-18 ET AUTRAY-19, ÎLES MADAME ET SAINT-IGNACE.....</b>	<b>73</b>
J 14.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	73
J 14.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	75
J 14.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	77
<b>J 15</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-21 ET AUTRAY-22, ÎLE RONDE.....</b>	<b>79</b>
J 15.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	79
J 15.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	79
J 15.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	80

<b>J 16</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-23 À AUTRAY-26, ÎLES DU SABLÉ ET AUX COCHONS .....</b>	<b>81</b>
J 16.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	81
J 16.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	81
J 16.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	82
<b>J 17</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-27 ET AUTRAY-28, ÎLE AUX FOINS .....</b>	<b>83</b>
J 17.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	83
J 17.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	83
J 17.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	84
<b>J 18</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-29 ET AUTRAY-30, ÎLE HERVIEUX.....</b>	<b>85</b>
J 18.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	85
J 18.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	85
J 18.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	86
<b>J 19</b>	<b>PARCOURS AUTRAY-31 ET AUTRAY-32, ILE MOUSSEAU.....</b>	<b>87</b>
J 19.1	RÉCURRENCE DE 2 ANS.....	87
J 19.2	RÉCURRENCE DE 20 ANS.....	87
J 19.3	RÉCURRENCE DE 100 ANS.....	88
<b>J 20</b>	<b>TABLEAUX DES COTES .....</b>	<b>89</b>
J 20.1	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-01 .....	89
J 20.2	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-02 .....	96
J 20.3	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-03 .....	97
J 20.4	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-04 .....	98
J 20.5	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-05 .....	99
J 20.6	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-06 .....	101
J 20.7	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-07 .....	102
J 20.8	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-08 .....	103
J 20.9	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-09 .....	104
J 20.10	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-10 .....	105
J 20.11	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-11 .....	106
J 20.12	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-12 .....	108
J 20.13	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-13 .....	111
J 20.14	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-14 .....	113
J 20.15	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-15 .....	115
J 20.16	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-16 .....	117
J 20.17	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-17 .....	119

J 20.18	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-18 .....	120
J 20.19	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-19 .....	121
J 20.20	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-20 .....	124
J 20.21	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-21 .....	126
J 20.22	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-22 .....	127
J 20.23	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-23 .....	127
J 20.24	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-24 .....	128
J 20.25	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-25 .....	128
J 20.26	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-26 .....	129
J 20.27	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-27 .....	130
J 20.28	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-28 .....	131
J 20.29	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-29 .....	131
J 20.30	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-30 .....	132
J 20.31	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-31 .....	132
J 20.32	COTES POUR LE PARCOURS AUTRAY-32 .....	133

## J 1 Relations niveau-niveau le long des parcours pour la MRC de D'Autray

Nous disposons des résultats de cinq simulations réalisées par Environnement Canada. Les deux premiers cas sont ceux qui correspondent aux conditions hydrologiques des 11 et 18 novembre 2016, dates auxquelles des relevés de niveaux d'eau ont été réalisés le long des rives du fleuve Saint-Laurent à Saint-Barthélemy. Les trois derniers cas s'avèrent être des scénarios typiques de crues de printemps qui ont été établis par Environnement Canada (consulter l'annexe L). Les cinq cas sont présentés au Tableau 1-1.

Tableau 1-1 Cas simulés obtenus d'Environnement Canada

Cas	Date ou scénario	Débit du fleuve à Sorel (m <sup>3</sup> /s)	Cote du lac Saint-Pierre à la courbe #2 (m)	Cote à la station de Varennes (m)
1	2016-11-11	8 626	3,65	4,82
2	2016-11-18	8 534	4,14	5,13
3	Scénario 6P	14 500	5,95	7,23
4	Scénario 7P	17 500	6,67	8,05
5	Scénario 8P	20 500	7,74	9,05

## J 2 Points d'extraction des résultats de la modélisation pour la MRC de d'Autray

Trente-deux parcours (32) ont été définis pour extraire les cotes d'élévation de la surface de l'eau obtenues des cinq simulations numériques. Ces cotes vont en augmentant lorsqu'on remonte le fleuve de l'aval vers l'amont. Ils sont tracés sur la carte à l'échelle du 20 000<sup>e</sup> (Figure 2-1).

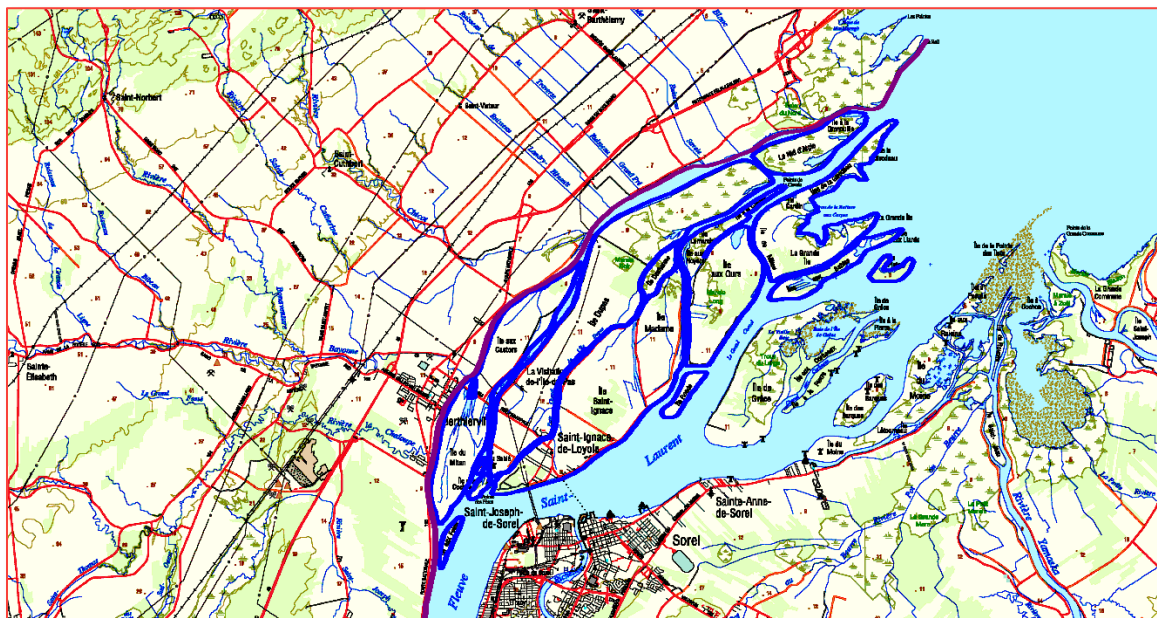


Figure 2-1 Localisation des parcours le long des rives pour l'extraction de la cote de la surface de l'eau dans la région de Saint-Barthélemy

Ces parcours sont formés de points, espacés au maximum de 200 m, et ils longent les rives. L'espacement entre les points est illustré à la Figure 4-1. Chaque parcours est identifié, Autray-01 à Autray-32. Chaque parcours est présenté aux figures qui suivent sous forme d'un trait bleu large. La distance maximale entre les points est d'au plus 200 mètres. Donc chaque parcours est formé de plusieurs dizaines sinon centaines de points.

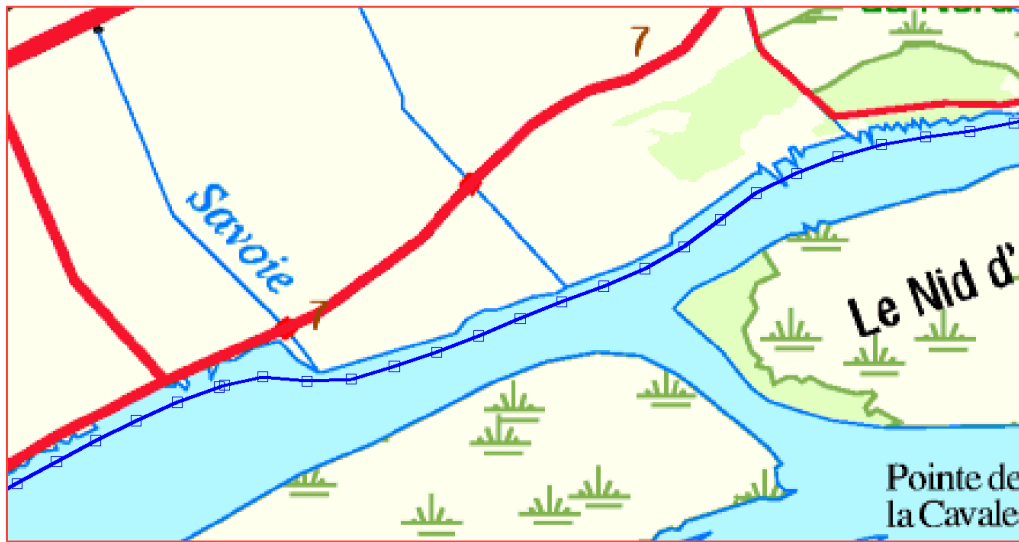


Figure 2-2 Points du parcours pour lesquels la surface de l'élévation est extraite des résultats de modélisation.

### J 3 Parcours pour la MRC de d'Autray

C 1 Les figures qui suivent présentent chacun des parcours tracés pour réaliser l'extraction des élévations de la surface.

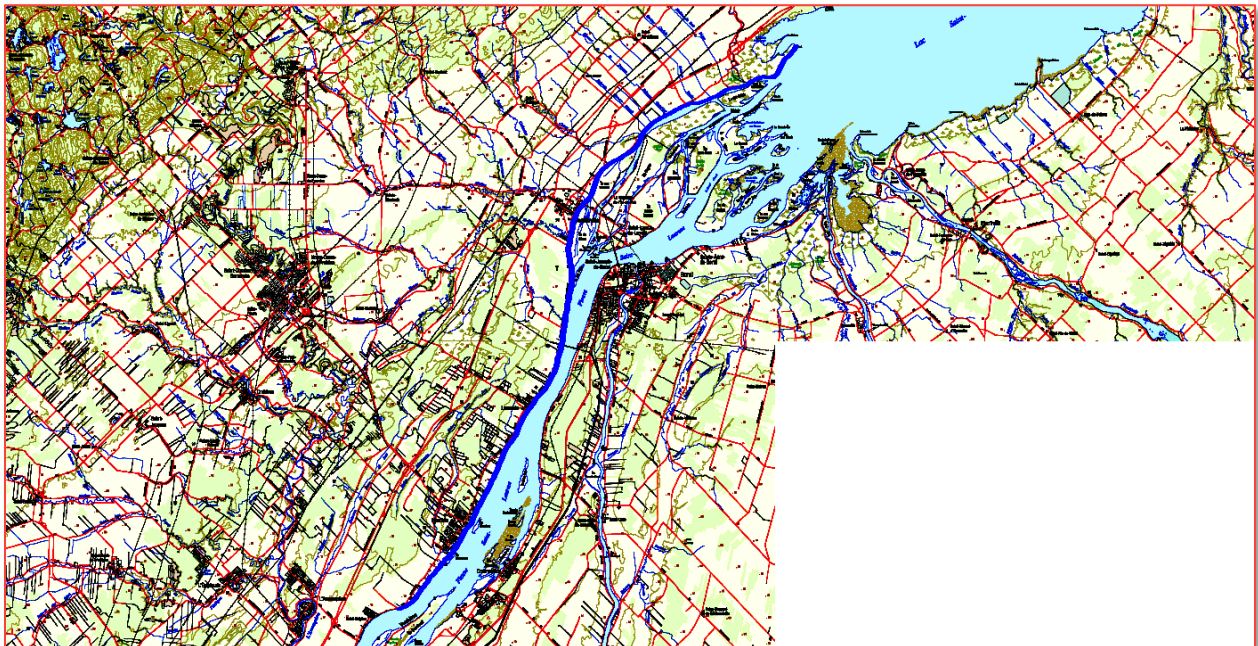


Figure 3-1 Parcours Autray\_01, Rive gauche du fleuve Saint-Laurent, Chenal Nord





Figure 3-2 Parcours Autray-02, Le Nid d'Aigle, Île de Grenouille



Figure 3-3 Parcours Autray-04, Le Nid d'Aigle, Île de Grenouille



Figure 3-4 Parcours Autray-04, La Grande Île, Île de la Girodeau



Figure 3-5 Parcours Autray-05, La Grande Île, Île de la Girodeau



Figure 3-6 Parcours Autray-06, La Grande Île



Figure 3-7 Parcours Autray-07, Îles aux Sables Nord



Figure 3-8 Parcours Autray-08, Îles aux Sables Sud



Figure 3-9 Parcours Autray-09, Île Plate Nord



Figure 3-10 Parcours Autray-10, Île Plate Sud



Figure 3-11 Parcours Autray-11, Île Dupas Nord



Figure 3-12 Parcours Autray-12, Île Dupas Sud



Figure 3-13 Parcours Autray-13, Île du Mitan et Île aux Castors Nord



Figure 3-14 Parcours Autray-14, Île du Mitan et Île aux Castors Sud



Figure 3-15 Parcours Autray-15, Île aux Ours, Île Lamarche Ouest



Figure 3-16 Parcours Autray-16, Île aux Ours, Île Lamarche Est

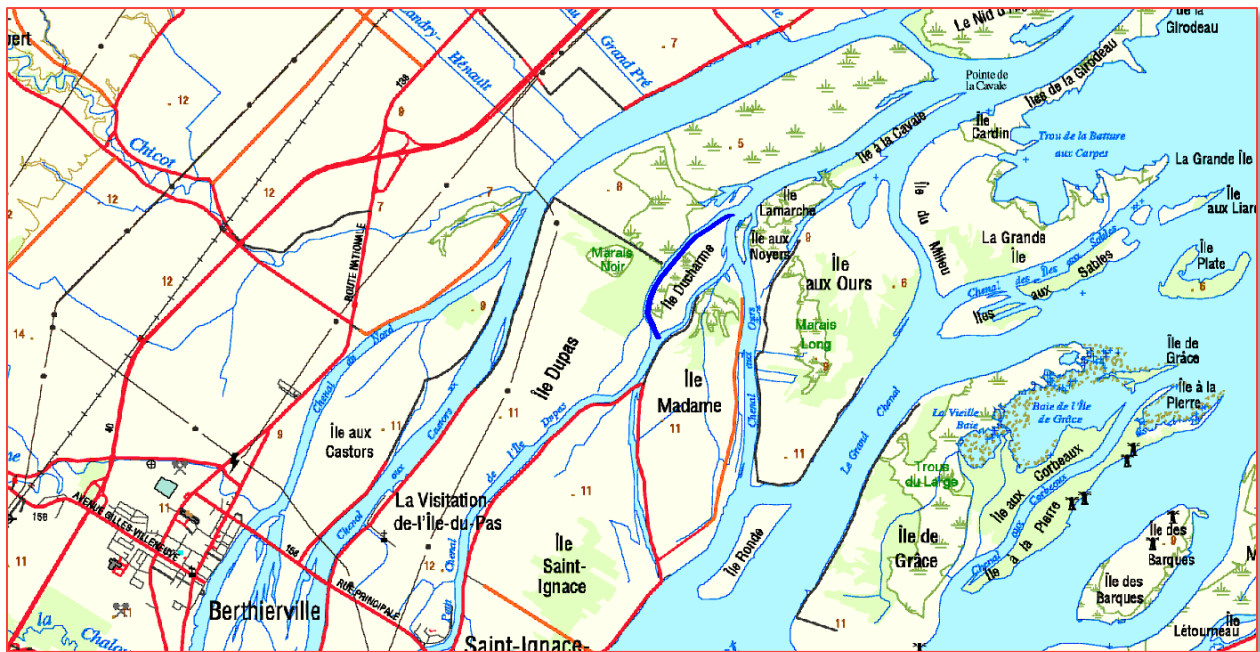


Figure 3-17 Parcours Autray-17, Île Ducharme Ouest



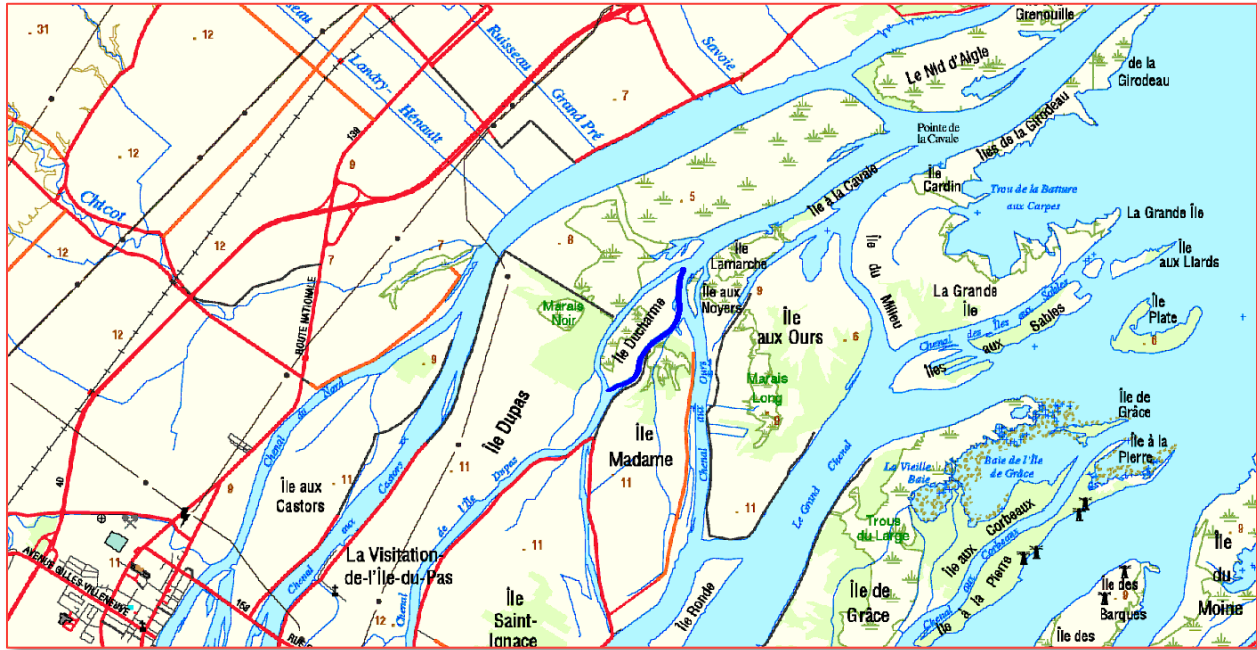


Figure 3-18 Parcours Autray-18, Île Ducharme Est

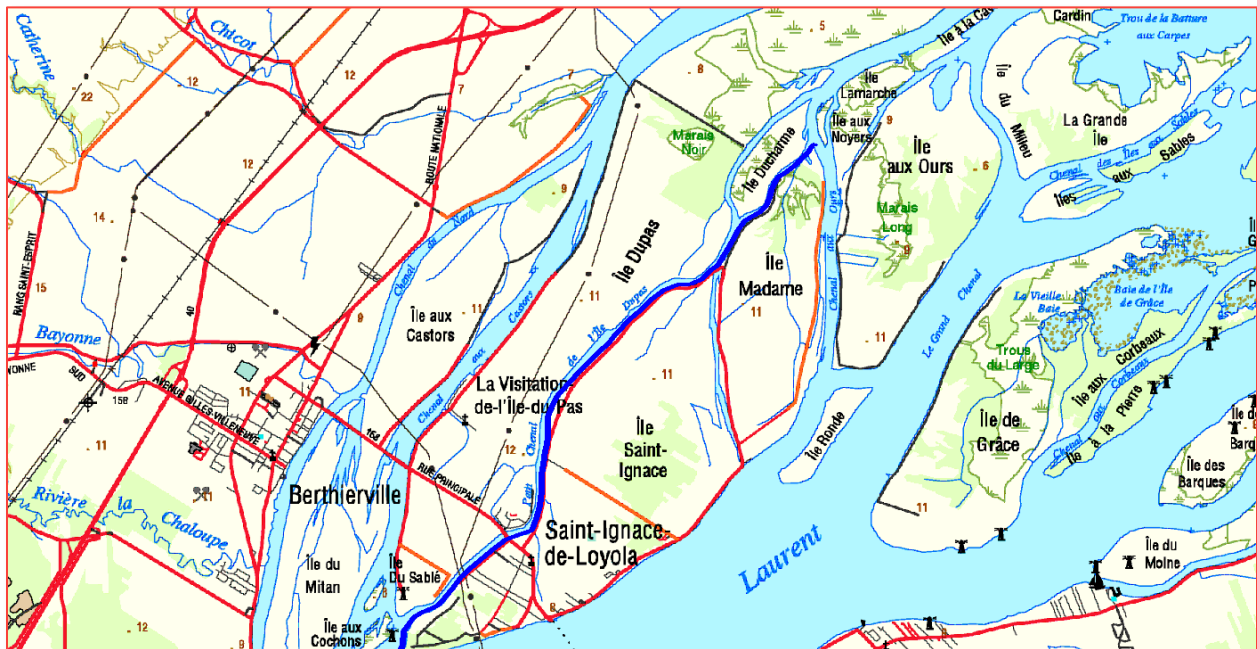


Figure 3-19 Parcours Autray-19, Île Dupas Est, Île Ducharme Est

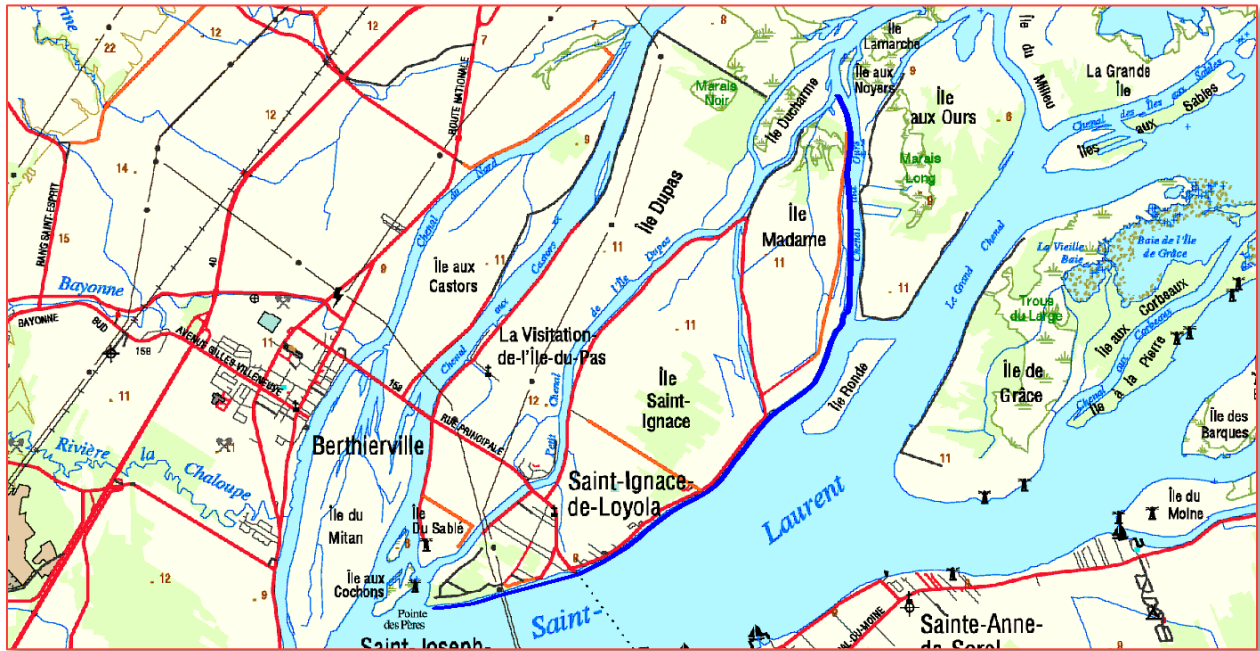


Figure 3-20 Parcours Atray-20, Île Saint-Ignace Est et Île Madame Est



Figure 3-21 Parcours Atray-21, Île Ronde Nord

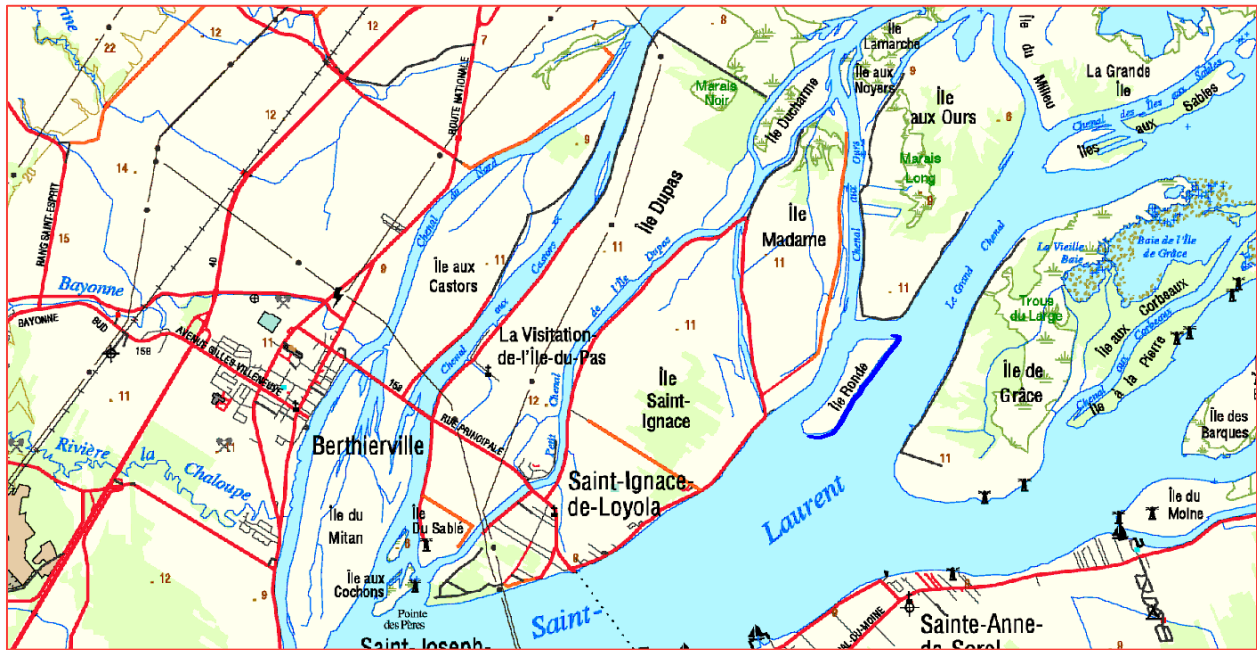


Figure 3-22 Parcours Autray-22, Île Ronde Sud

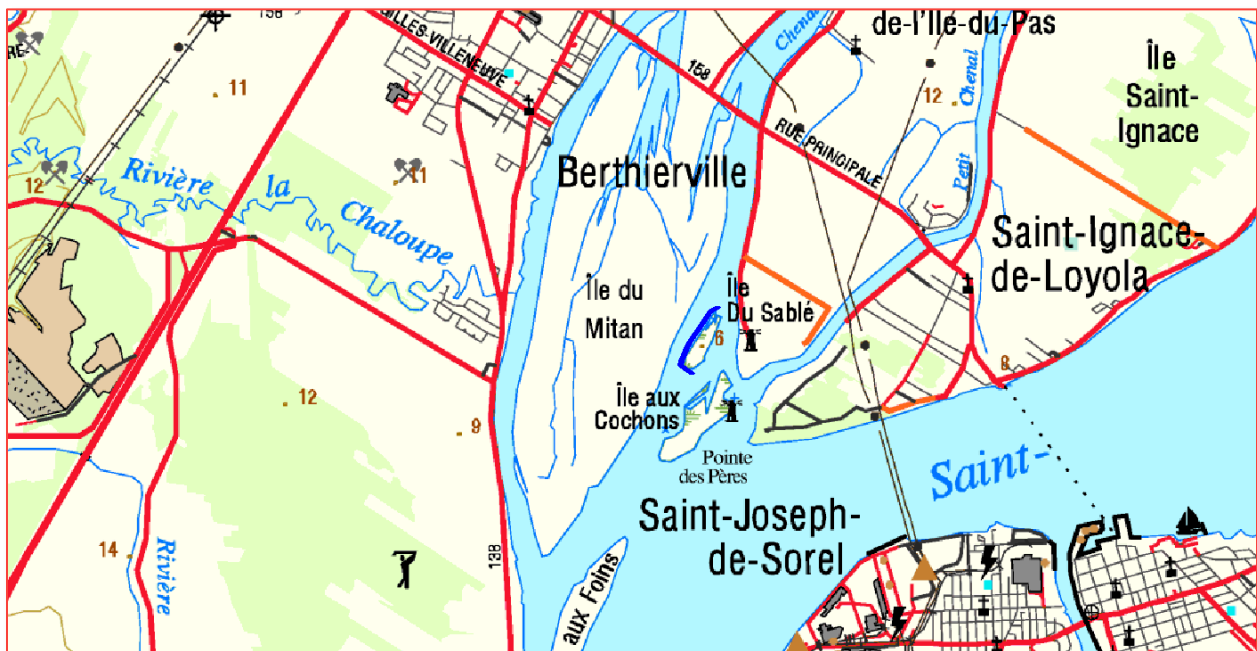


Figure 3-23 Parcours Autray-23, Île du Sablé Ouest

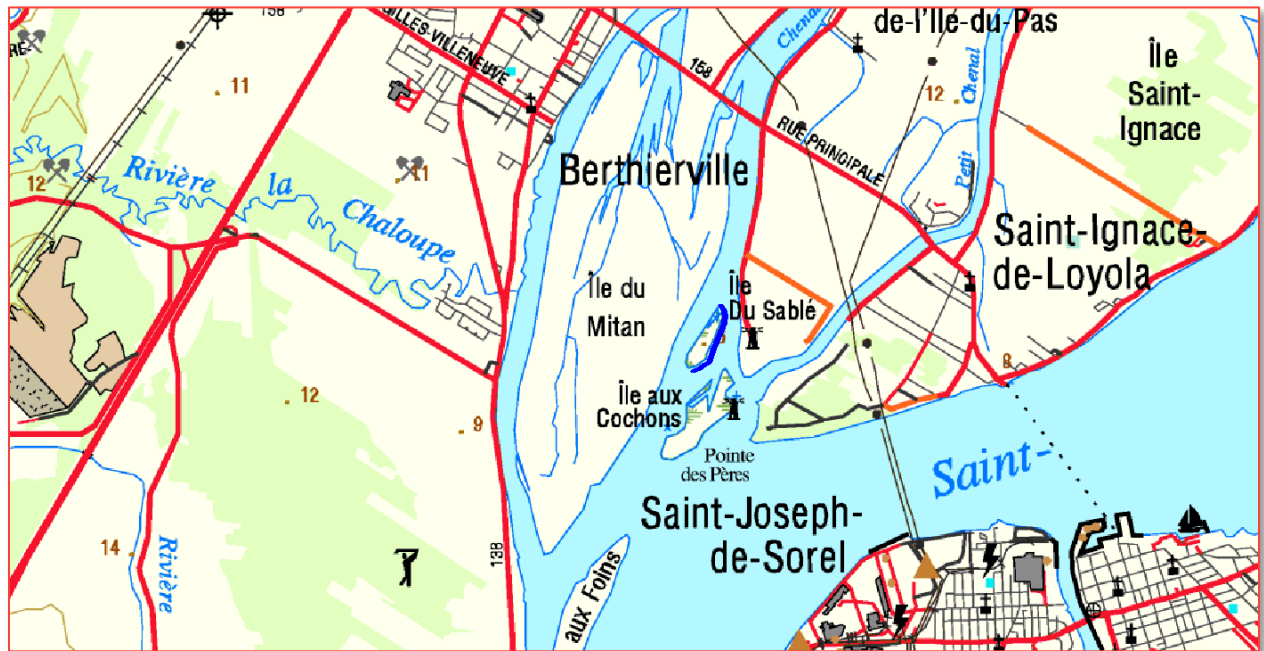


Figure 3-24 Parcours Autray-24, Île du Sablé Est

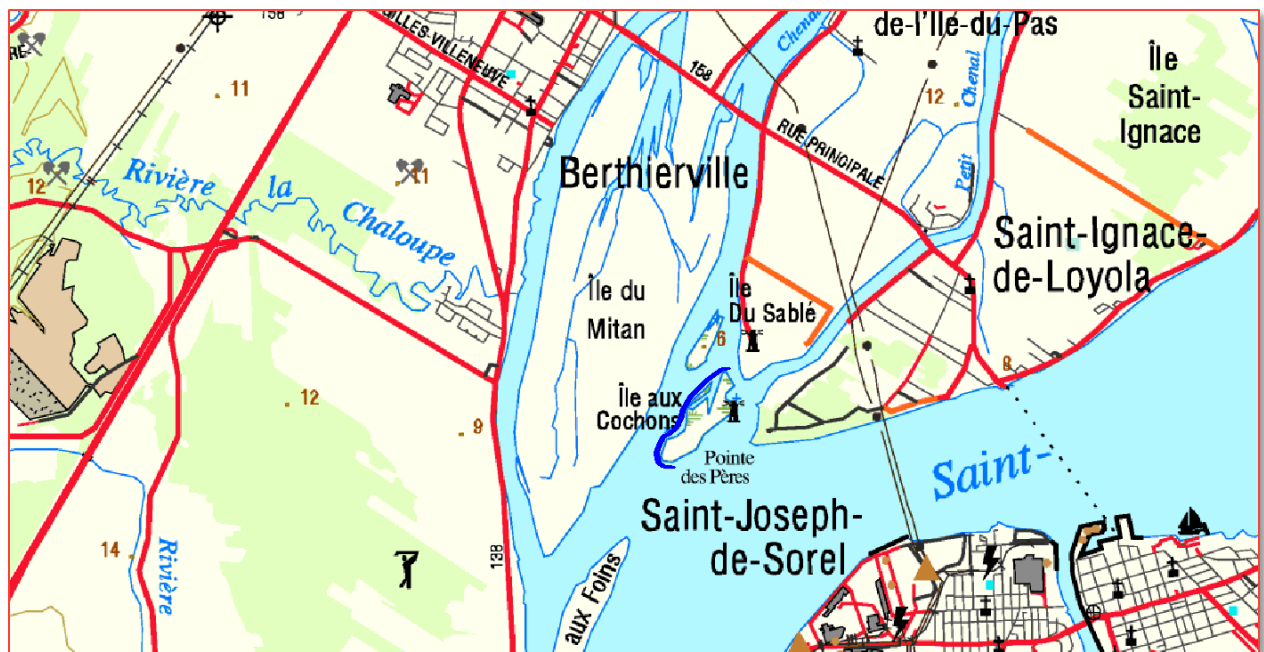


Figure 3-25 Parcours Autray-25, Île aux Cochons, Ouest

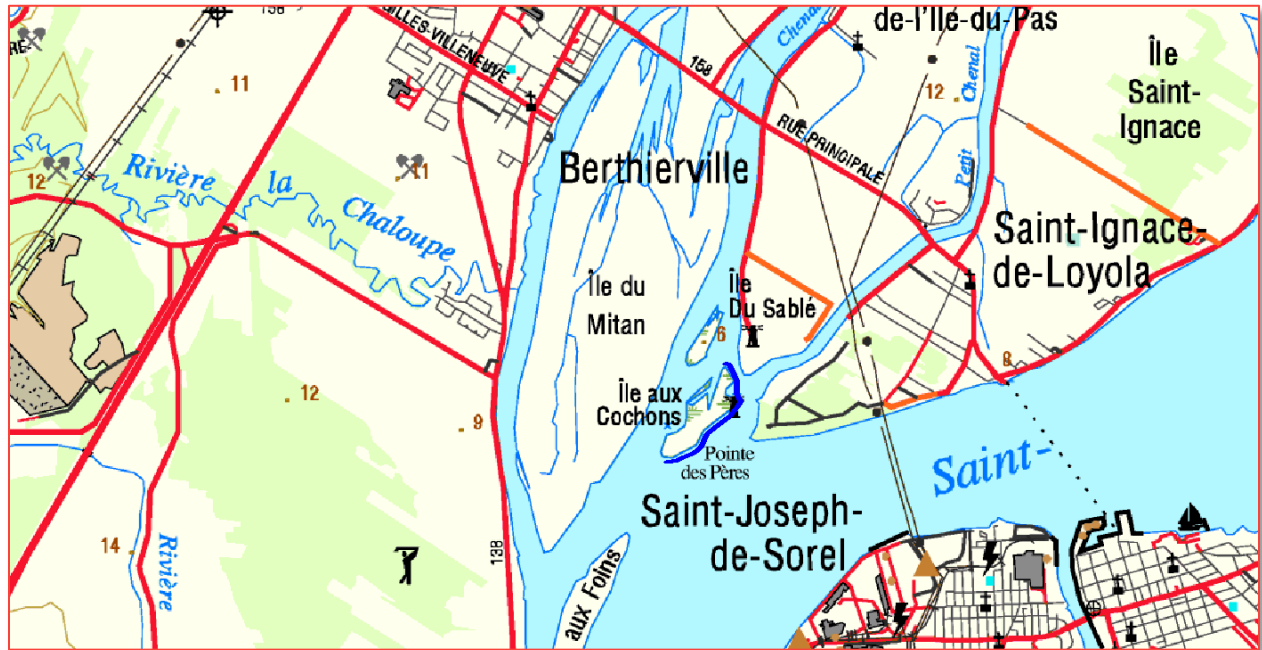


Figure 3-26 Parcours Autray-26, Île aux Cochons Est

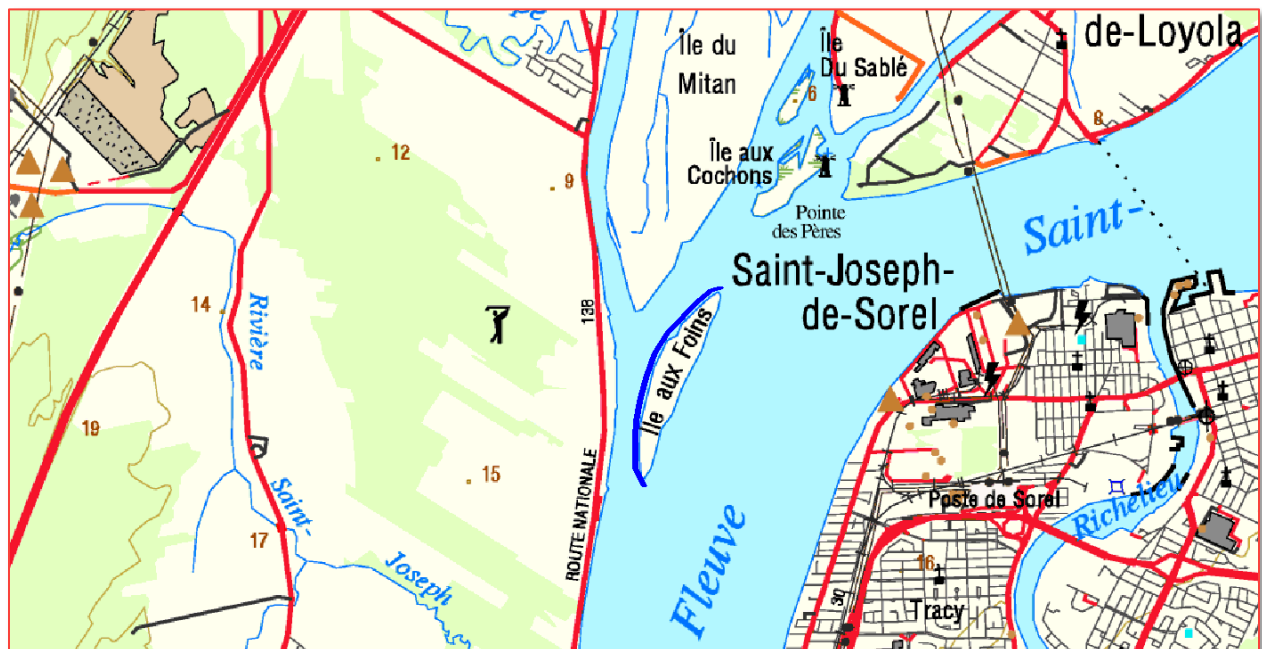


Figure 3-27 Parcours Autray-27, Île aux Foins Ouest

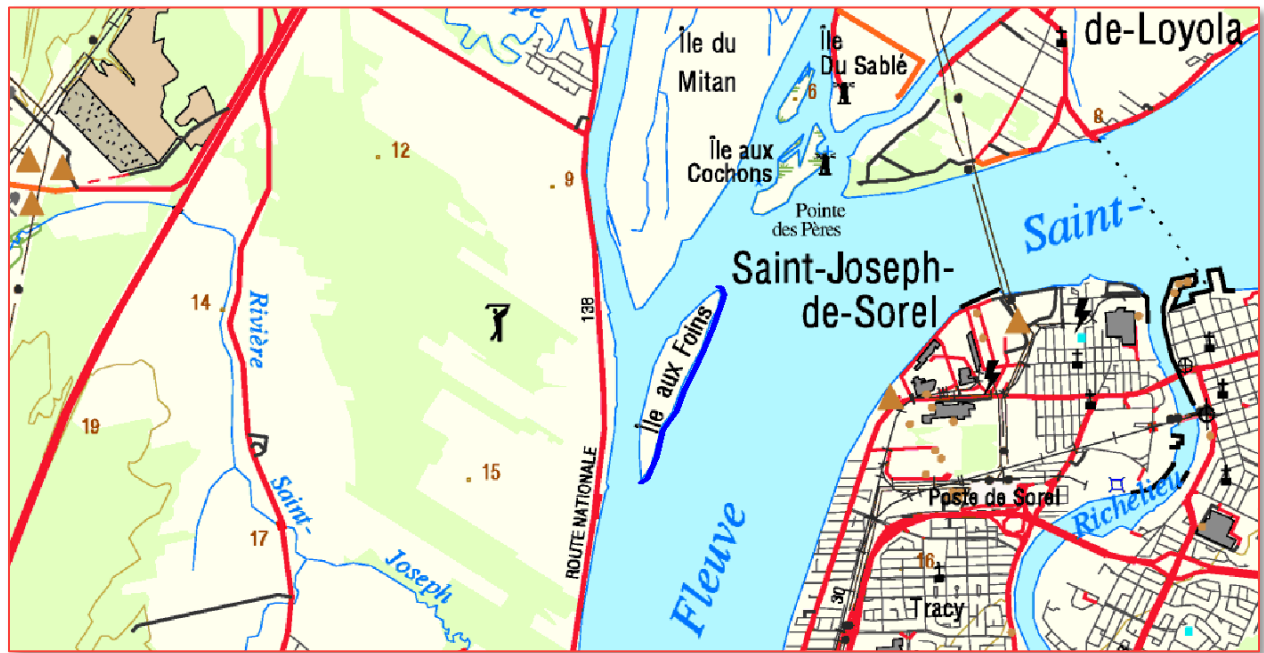


Figure 3-28 Parcours Autray-28, Île aux Foins Est



Figure 3-29 Parcours Autray-29, Île Hervieux Ouest



Figure 3-30 Parcours Autray-30, Île Hervieux Est



Figure 3-31 Parcours Autray-31, Île Mousseau Ouest

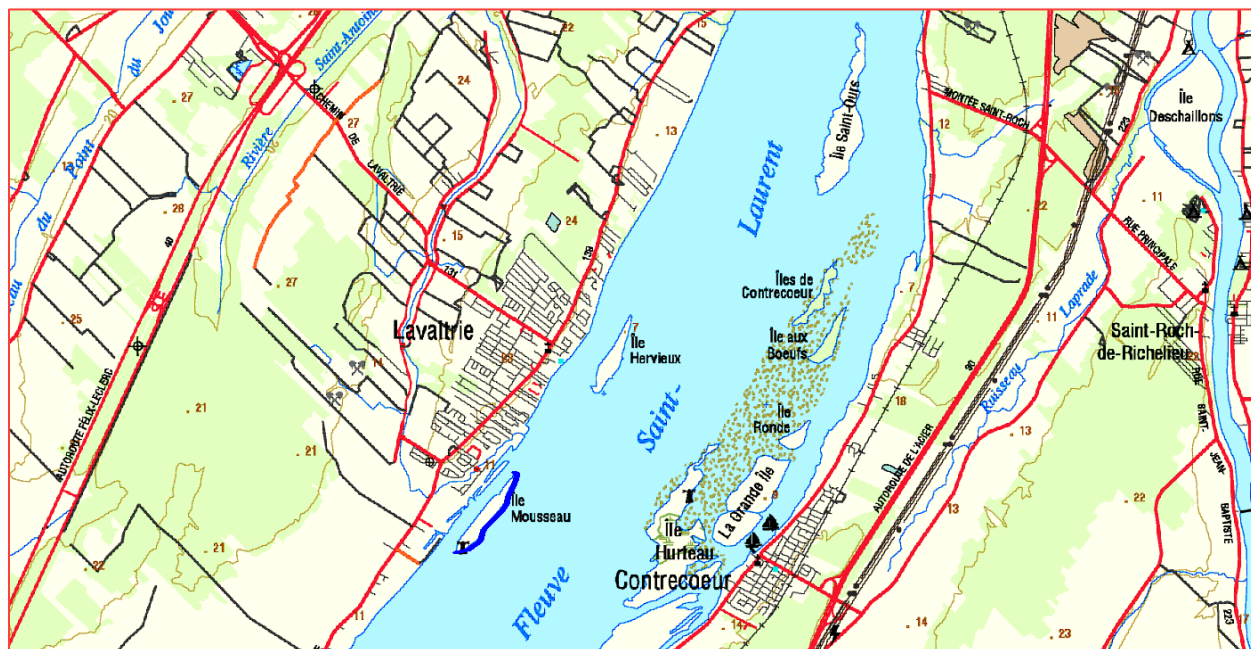


Figure 3-32 Parcours Autray-32

## J 4 Ajustement de fonctions quadratiques aux relations niveau-niveau

On doit tenir compte de la pente d'écoulement du fleuve Saint-Laurent pour établir quelles sont les cotes de crues près des rives de la MRC de D'Autray, à savoir en rive gauche du fleuve et dans les îles de Sorel. Les simulations réalisées par Environnement Canada permettent d'évaluer quelle sont les valeurs du rehaussement à ajouter aux valeurs établies à la courbe #2 du lac Saint-Pierre ou les valeurs à soustraire à partir de la station de Varennes. Rappelons que les cotes de crues pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans ont été établies au chapitre 5 pour ces deux stations.





Figure 4-1 Points formant une partie du parcours Autray-01 desquels la cote de la surface de l'eau est extraite

Pour chaque point d'un parcours on dispose de cinq (5) valeurs d'élévation, chaque valeur tirée de l'une des simulations numériques produite par Environnement Canada (Section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Ces valeurs sont mises en relation avec celles tirées des résultats de modélisation au site de la station de la courbe #2 ainsi qu'au site de la station de Varennes. Les cinq doublets ainsi formés pour chaque station de référence permettent d'établir une relation entre le niveau d'eau à la station (courbe #2 ou Varennes) et le niveau d'eau au point considéré. Pour illustrer le propos, les cinq doublets pour le premier point du parcours Autray-01 sont affichés à la Figure 4-2 en lien avec la station de la courbe #2 et ceux en liens avec la station de Varennes sont affichés à la Figure 4-3.

Une fonction quadratique est ensuite ajustée à ces cinq doublets par la méthode des moindres carrés. Cette fonction permet de calculer la cote de la surface de l'eau au point considéré si la cote de la surface de l'eau est connue à la station de la courbe #2. On sait que les niveaux de crue pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans sont connus à la courbe #2. On peut donc établir quelles sont les cotes de crues de récurrence de 2, de 20 et de 100 ans aux points des parcours. Comme il y a des dizaines de points formant chacun des parcours, les calculs sont réalisés avec l'aide d'une procédure informatique. Pour le premier point du parcours Autray-01, le résultat est présenté ci-dessous. Le tableau présente les coordonnées du point, les cinq valeurs de cote de la surface de l'eau, les valeurs *a*, *b* et *c* des coefficients d'ajustement de la fonction quadratique, et les cotes de crues au point considéré pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans. Pour tous les parcours, on procède de l'aval vers l'amont. Les coordonnées des points sont relatives à la projection SCoPQ fuseau 8. Des conditions hydrologiques différentes font que la cote calculée en un point donné diffère selon que l'on retient la station de la courbe #2 ou celle de Varennes. Ceci s'explique par le fait que la variation des niveaux du lac Saint-Pierre dépend plus fortement des apports provenant des rivières Richelieu, Yamaska, Saint-François et que la variation à Varennes est plus influencée par les débits provenant de la rivière des Outaouais et du fleuve Saint-Laurent à Montréal.

Autray-01	Eastng	Northng	S01	S02	S03	S04	S05	Ajust. A	Ajust. B	Ajust. C	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m	m	m				m	m	m

<b>Courbe #2</b>	351457	5117408	3,647	4,138	5,952	6,666	7,737				5,95	6,94	7,42
<b>Point 1</b>	345485	5116307	3,692	4,158	5,969	6,681	7,746	1,897325E-03	9,720326E-01	1,140357E-01	5,96	6,95	7,43

Autray-01	Easting	Northing	S01	S02	S03	S04	S05	Ajust. A	Ajust B	Ajust. C	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m	m	m				m	m	m
Varennes	308720	5060460	4.820	5.130	7.230	8.050	9,050				7.27	8.13	8.47
Point 1	345485	5116307	3.692	4.158	5.969	6.681	7,746	1.540377E-02	7.166990E-01	-3.013974E-02	5,99	6,81	7,15

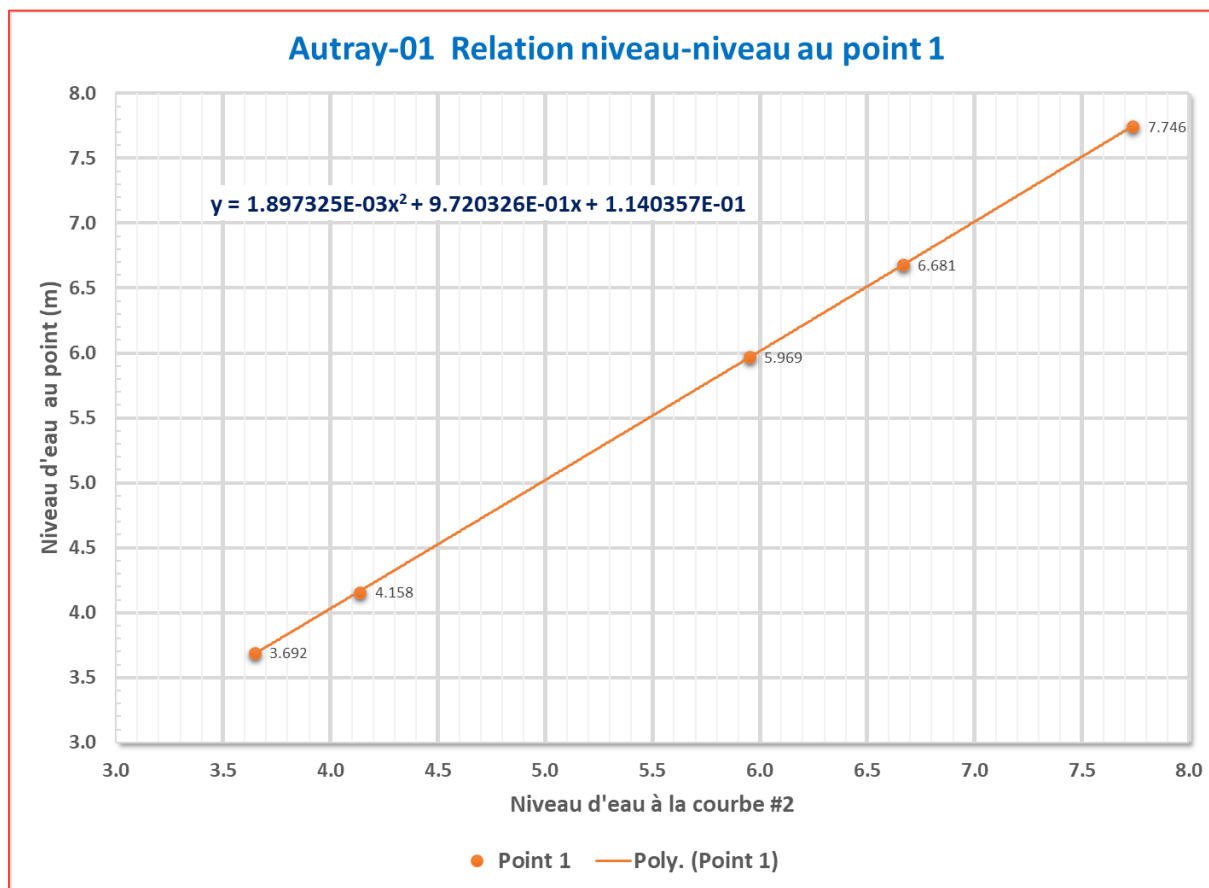


Figure 4-2 Ajustement d'une fonction quadratique aux cinq doublets tirés des simulations numériques d'Environnement Canada en retenant la station de la courbe #2

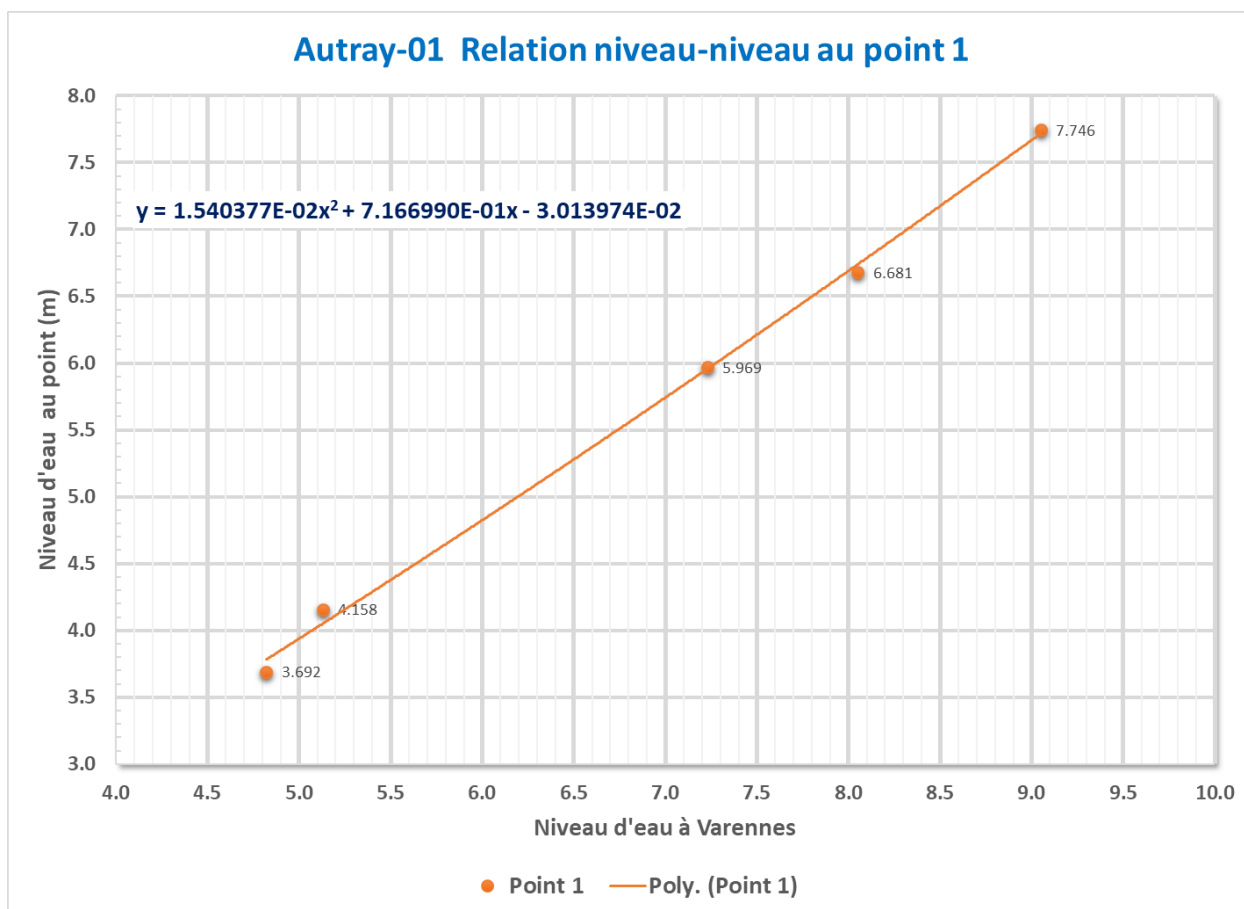


Figure 4-3 Ajustement d'une fonction quadratique aux cinq doublets tirés des simulations numériques d'Environnement Canada en retenant la station de Varennes

Nous présentons au Tableau 4-1 les cotes de crues en certains points le long de la rive gauche du fleuve pour la MRC de D'Autray qui seraient établies en retenant la station de la courbe #2 comme station de référence. Au Tableau 4-2 ces mêmes cotes sont affichées mais en utilisant la station de Varennes comme référence. On constate une différence appréciable entre les cotes. Ainsi, les calculs réalisés avec la station de Varennes donnent des valeurs de cotes de crues inférieures à celles établies avec la station de la courbe #2. Pour assurer une transition gentille et uniforme des cotes de crues de long des rives de la MRC, une correction est appliquée, établie en fonction de la distance du point considéré par rapport aux deux stations de référence. La méthode est présentée à la section suivante.

Tableau 4-1 Cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans à certains points du parcours Autray-01 établies avec la station de la Courbe #2 (note : à ne pas utiliser car il s'agit d'un résultat intermédiaire)

POINT	2 ans	20 ans	100 ans	Localisation approximative
1	5,96	6,95	7,43	La Rail
21	5,99	6,97	7,45	Baie du Nord
41	6,03	7,01	7,49	Ruisseau Savoie
61	6,07	7,05	7,52	Ruisseau Grand Pré
81	6,14	7,11	7,58	Pointe aval de l'île aux Castors
101	6,22	7,19	7,64	Berthierville, amont de l'île aux Castors
121	6,31	7,29	7,75	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	6,37	7,35	7,82	Îles aux Foins
161	6,41	7,39	7,86	Ligne électrique
181	6,49	7,48	7,96	Lanoraie Nord
201	6,59	7,60	8,09	Lanoraie Sud
221	6,65	7,66	8,15	Lavaltrie Nord
241	6,71	7,72	8,21	Lavaltrie Sud
261	6,78	7,79	8,28	Saint-Sulpice
271	6,81	7,82	8,31	Fin du parcours

Tableau 4-2 Cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans à certains points du parcours Autray-01 établies avec la station de Varennes (note : à ne pas utiliser car il s'agit d'un résultat intermédiaire)

POINT	2 ans	20 ans	100 ans	Localisation approximative
1	5,99	6,81	7,15	La Rail
21	6,02	6,83	7,16	Baie du Nord
41	6,06	6,88	7,21	Ruisseau Savoie
61	6,10	6,92	7,24	Ruisseau Grand Pré
81	6,17	6,98	7,30	Pointe aval de l'île aux Castors
101	6,25	7,06	7,37	Berthierville, amont de l'île aux Castors
121	6,34	7,15	7,48	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	6,41	7,22	7,54	Îles aux Foins
161	6,44	7,26	7,58	Ligne électrique
181	6,53	7,35	7,68	Lanoraie Nord
201	6,63	7,47	7,80	Lanoraie Sud
221	6,69	7,53	7,86	Lavaltrie Nord
241	6,75	7,59	7,92	Lavaltrie Sud
261	6,82	7,66	7,99	Saint-Sulpice
271	6,85	7,69	8,02	Fin du parcours

#### J 4.1 Détermination des niveaux d'eau de récurrence de 2, de 20 et de 100 ans

Pour concilier ces différences de niveau d'eau, on pondère les deux résultats en fonction de la distance entre le point considéré et les deux stations retenues. Ainsi, plus on s'approche de l'une des stations et plus la valeur obtenue s'approche de celle obtenue à la station. La méthode suivante permet de pondérer

la cote finale en un point donné. La cote en un point donné du domaine est calculée avec la relation niveau à Varennes – niveau point donné (cote<sub>1</sub>). Le calcul est à nouveau réalisé avec la relation niveau à la Courbe #2 et le niveau au point donné (cote<sub>2</sub>). La distance à vol d'oiseau est calculée entre ce point de calcul et les stations de Varennes (d<sub>1</sub>) et de la courbe #2 (d<sub>2</sub>). La valeur d'élévation finale retenue est la valeur pondérée selon la distance du point par rapport aux deux stations selon la formule suivante :

$$\text{Cote} = \text{cote}_1 * \alpha + \text{cote}_2 * \beta$$

$$\text{Avec :} \quad \alpha = d_2 / (d_1 + d_2) \quad \beta = d_1 / (d_1 + d_2)$$

Tous les résultats sont présentés à l'annexe J sous forme de figures et de tableaux. Les cotes de crues à certains points du parcours Autray-01 sont affichées au Tableau 4-3. Ils sont également fournis sous forme de tableaux dans des chiffriers Excels. Certains résultats sont affichés aux sections qui suivent sans autre commentaire.

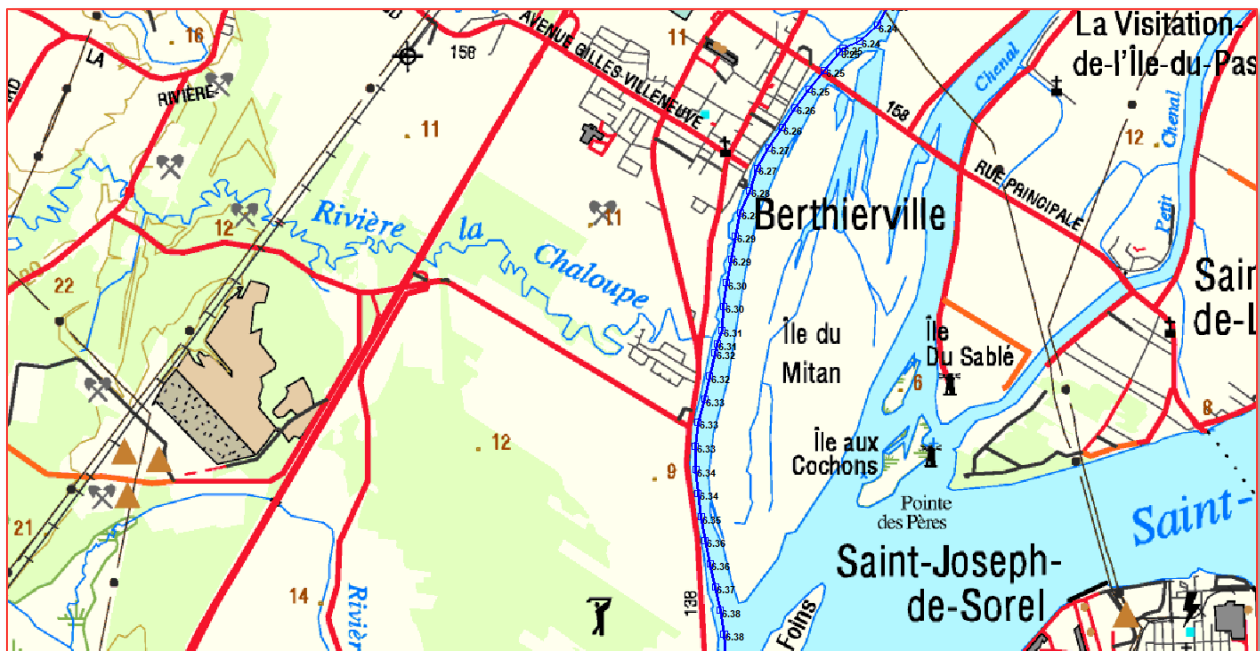
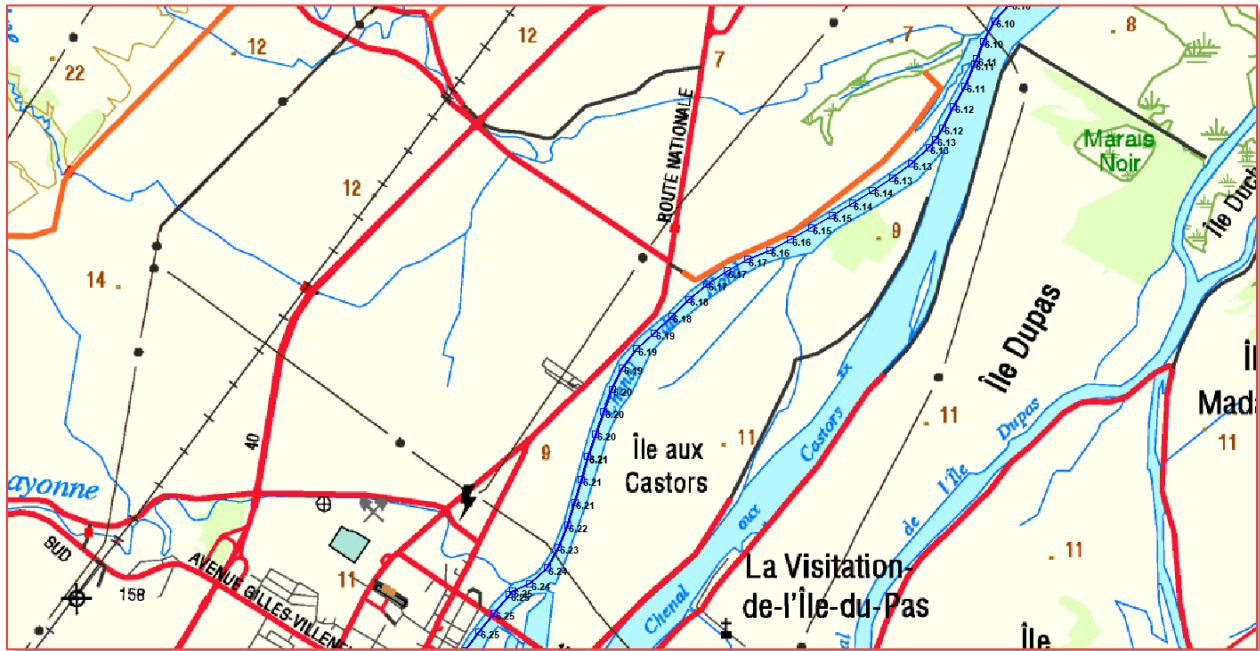
Tableau 4-3 Cotes de crues de récurrences de 2, de 20 et de 100 ans à certains points du parcours Autray-01 obtenues suite à la pondération spatiale entre les stations de la courbe #2 et de Varennes (valeurs finales)

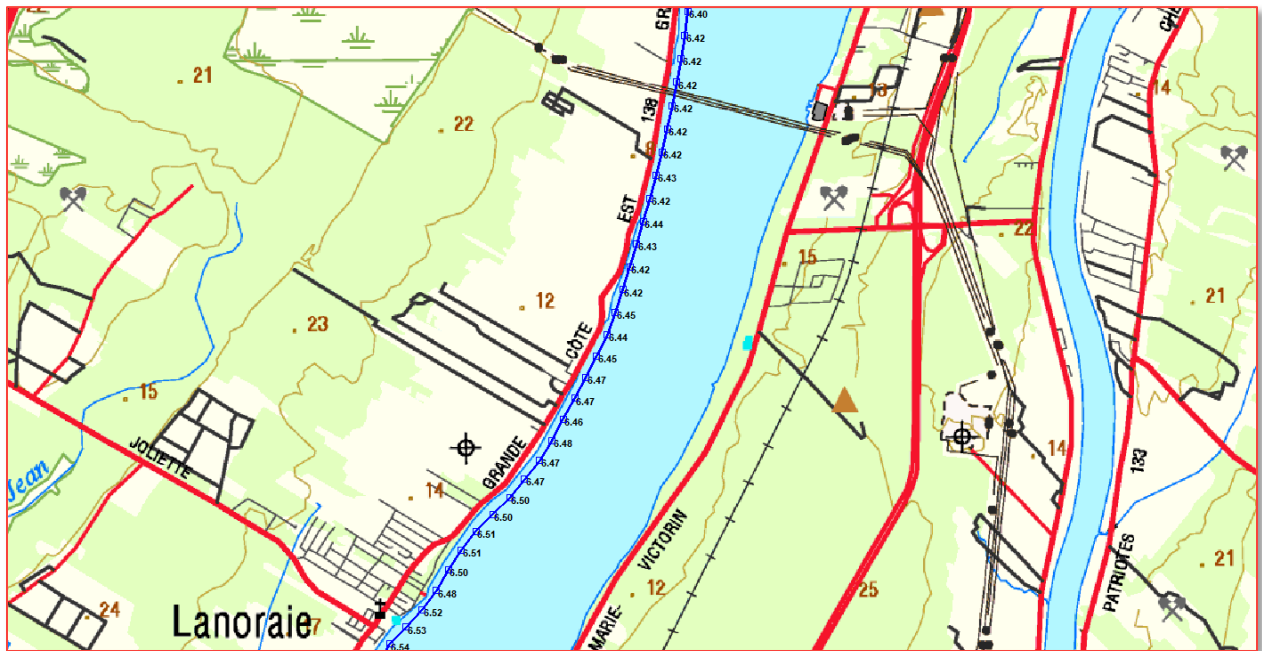
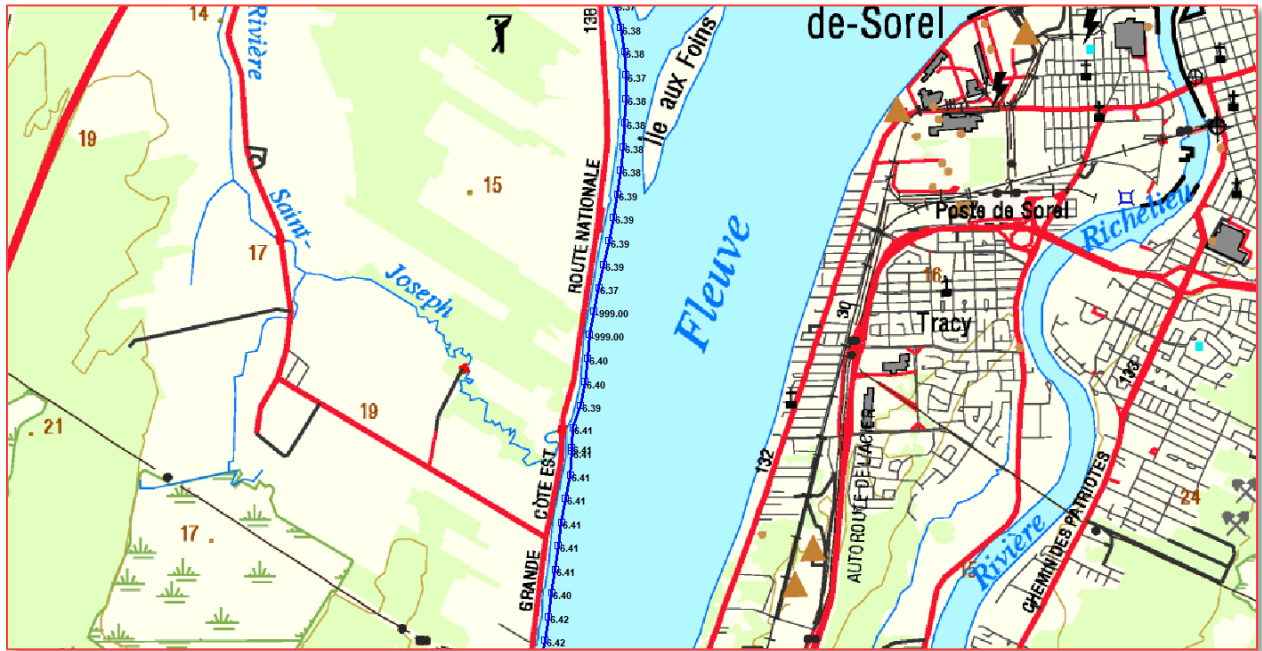
POINT	2 ans	20 ans	100 ans	Localisation approximative
1	5,97	6,94	7,41	La Rail
21	5,99	6,95	7,41	Baie du Nord
41	6,04	6,99	7,44	Ruisseau Savoie
61	6,08	7,02	7,46	Ruisseau Grand Pré
81	6,15	7,08	7,50	Pointe aval de l'Île aux Castors
101	6,23	7,14	7,56	Berthierville, amont de l'Île aux Castors
121	6,32	7,24	7,65	Berthierville, rivière La Chaloupe
141	6,39	7,30	7,71	Îles aux Foins
161	6,42	7,33	7,73	Ligne électrique
181	6,51	7,42	7,82	Lanoraie Nord
201	6,61	7,53	7,93	Lanoraie Sud
221	6,67	7,58	7,97	Lavaltrie Nord
241	6,73	7,63	8,02	Lavaltrie Sud
261	6,81	7,7	8,07	Saint-Sulpice
271	6,84	7,72	8,09	Fin du parcours

## J 5 Parcours Autray-01, Rive gauche du fleuve Saint-Laurent

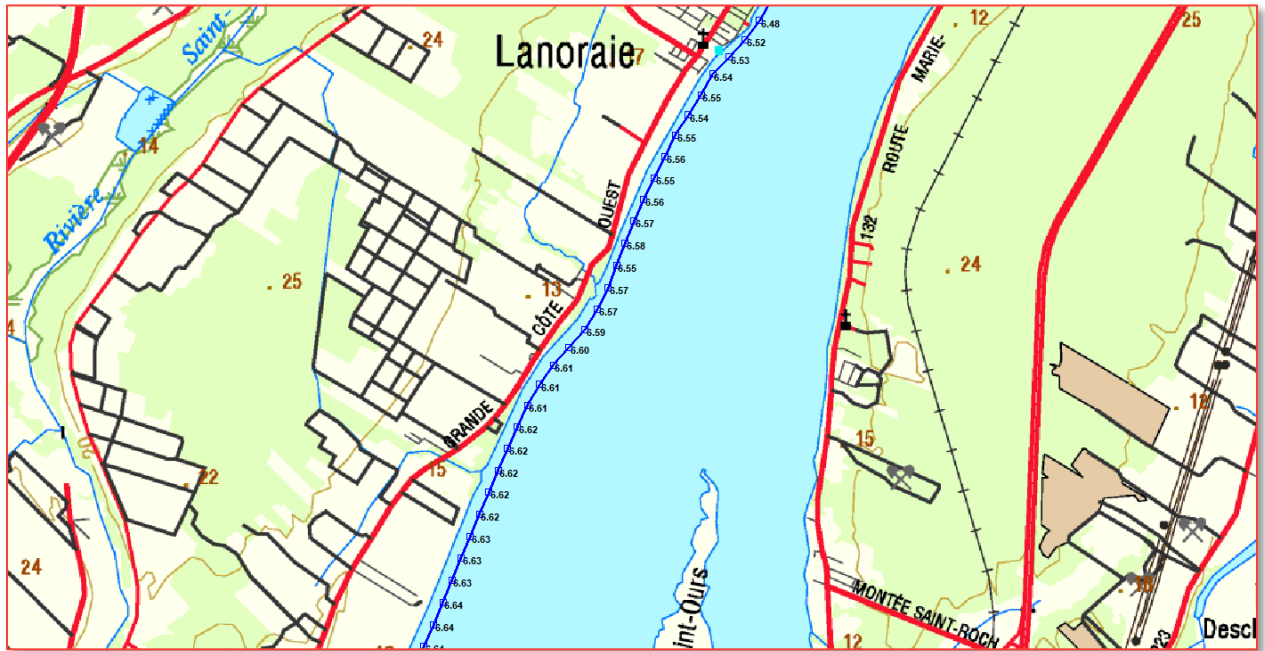
### J 5.1 Récurrence de 2 ans

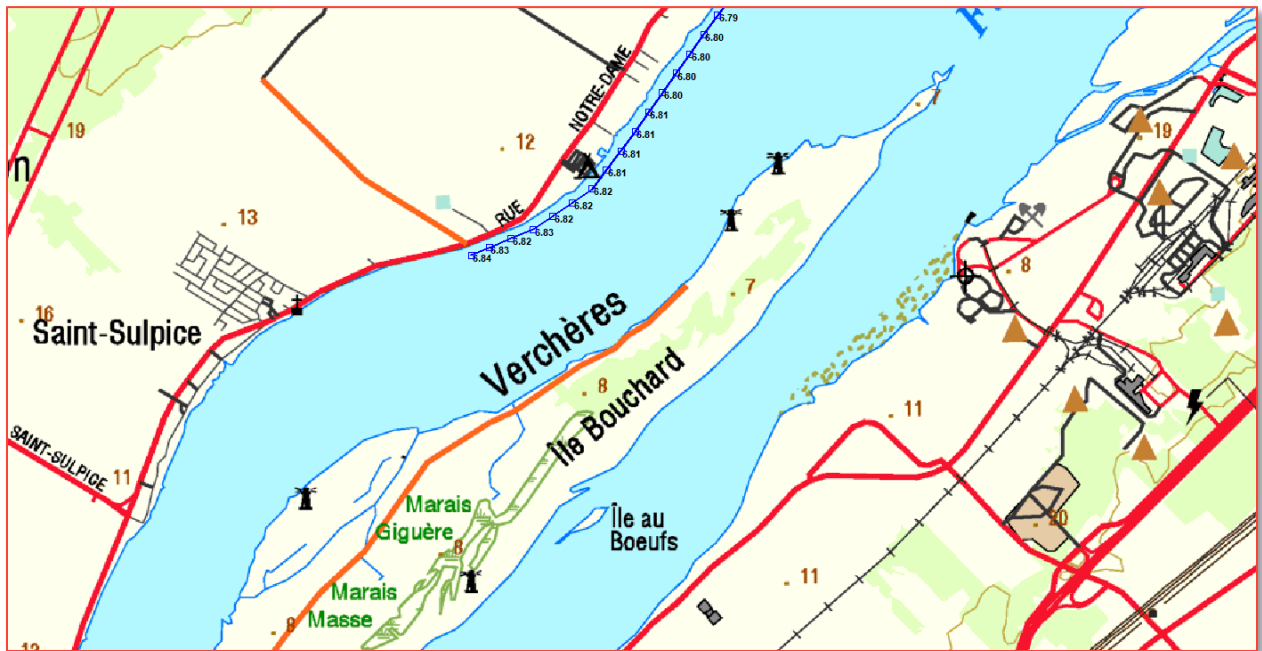
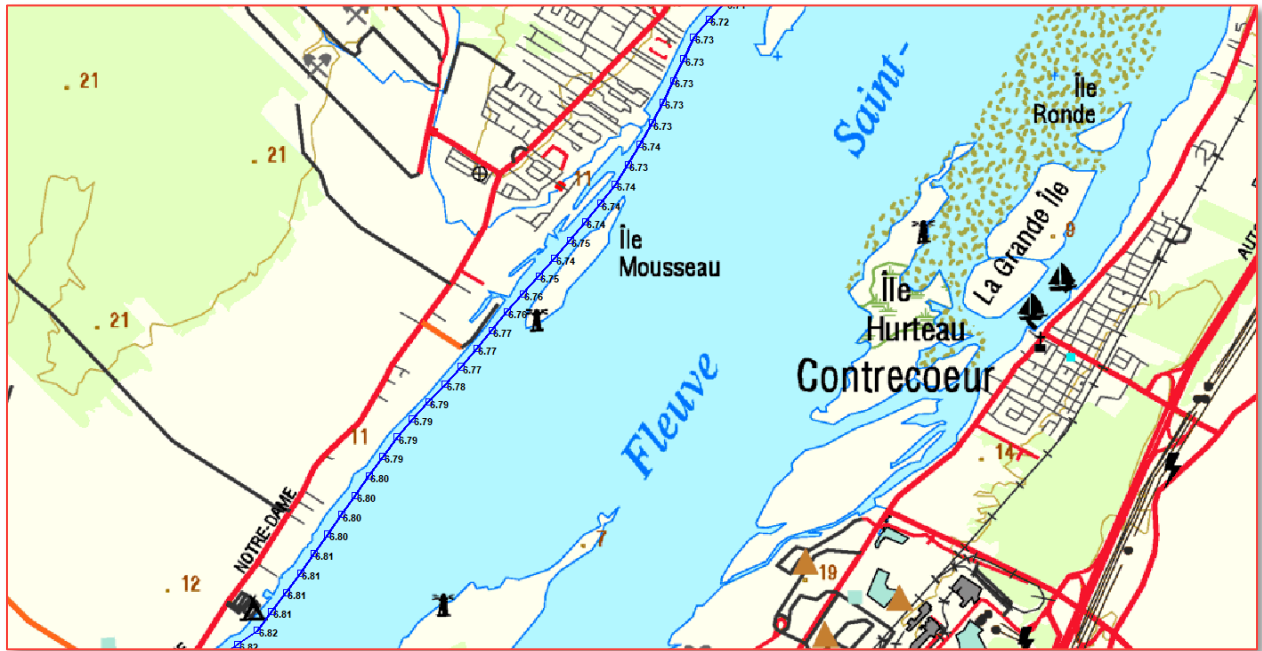




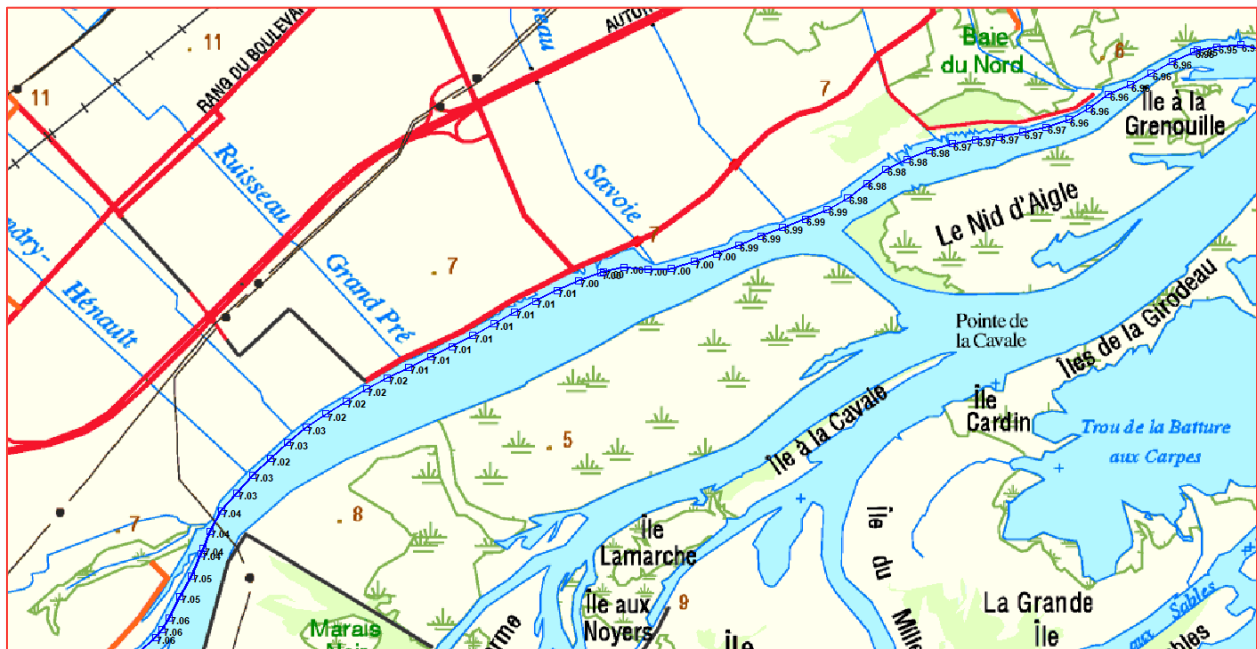


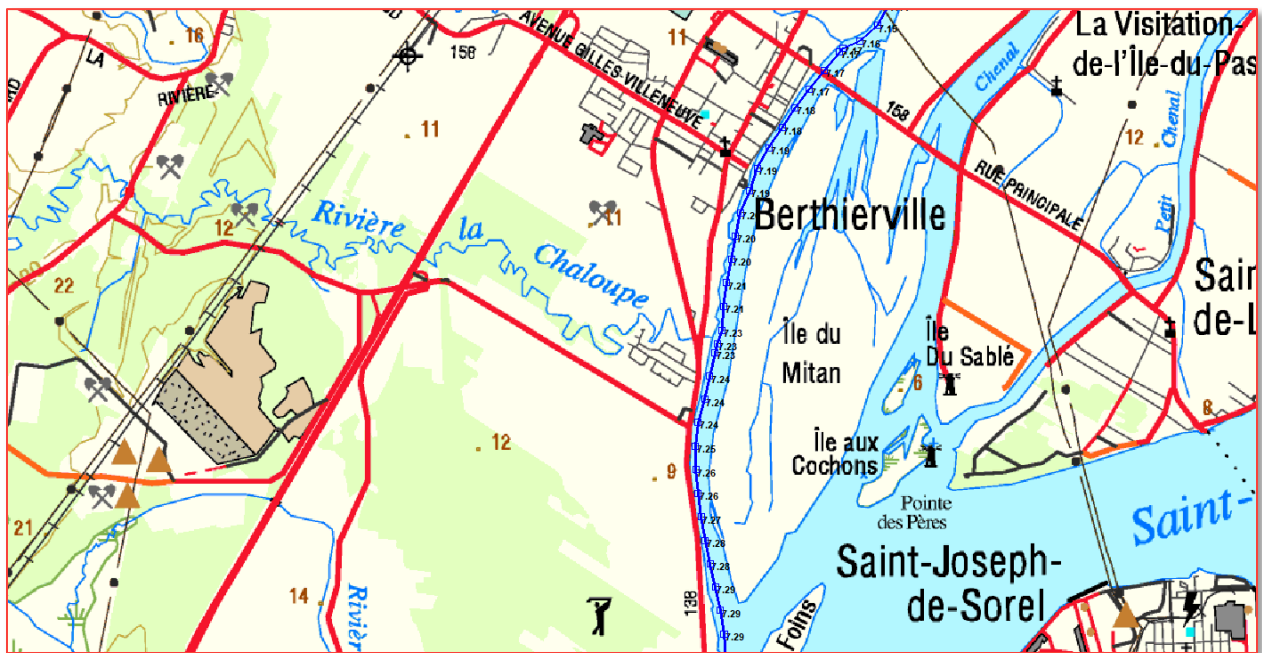
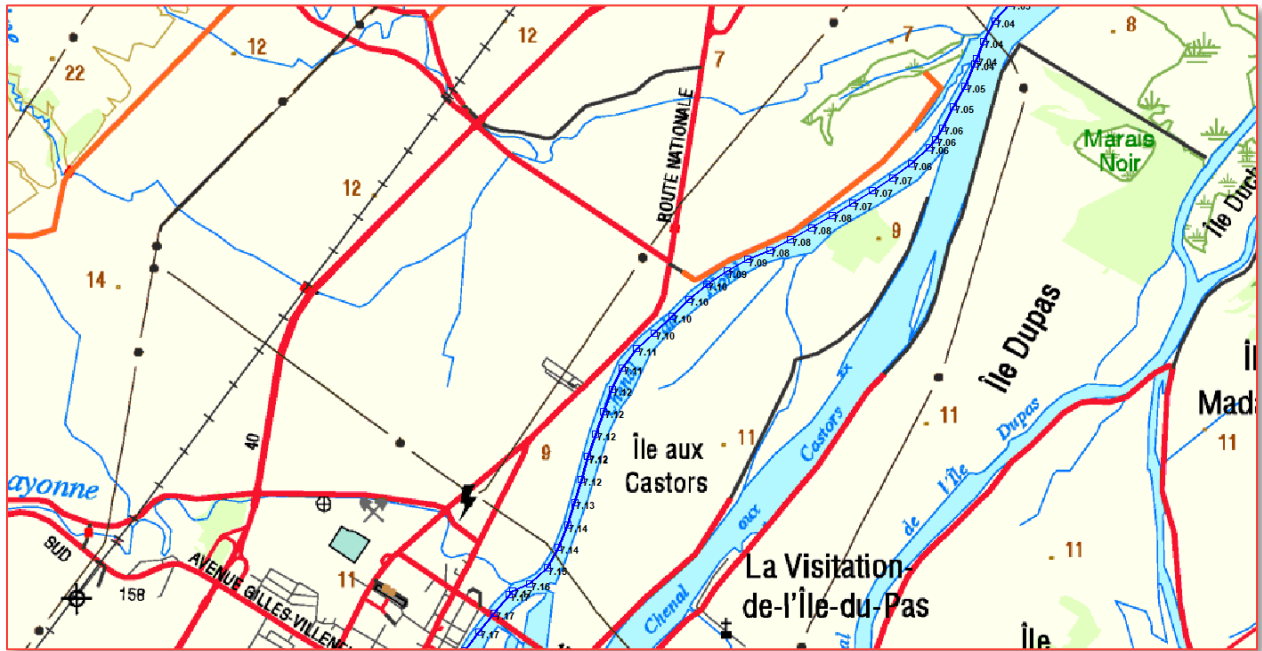


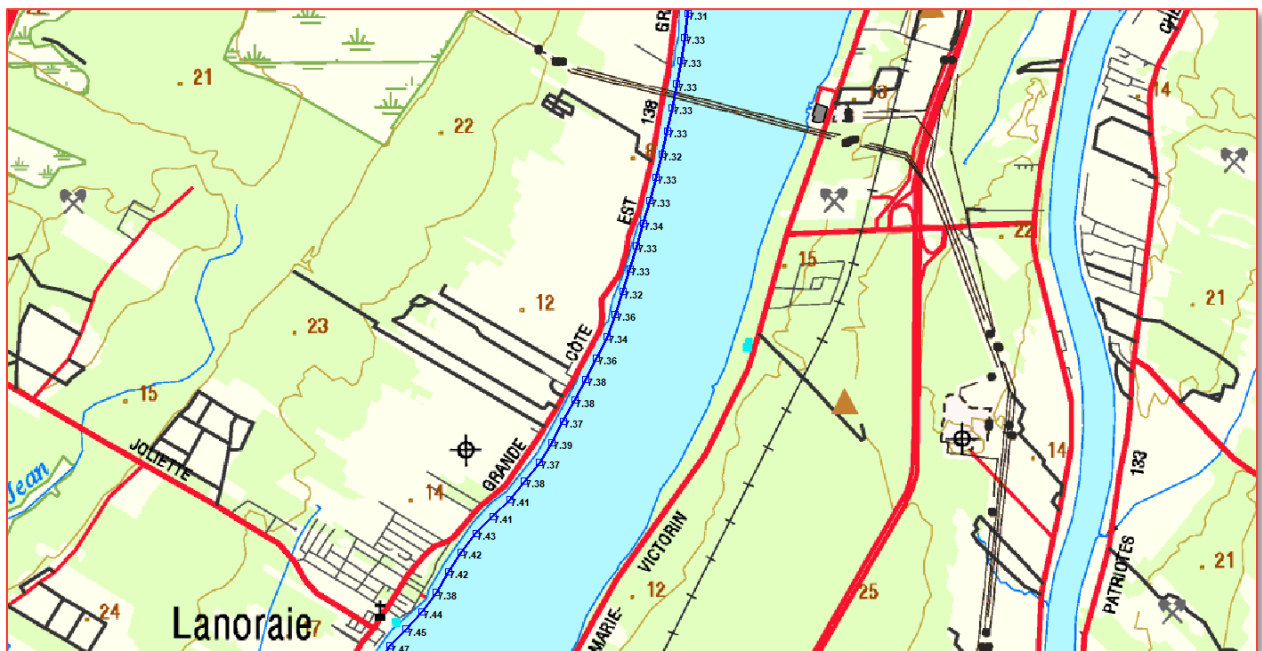
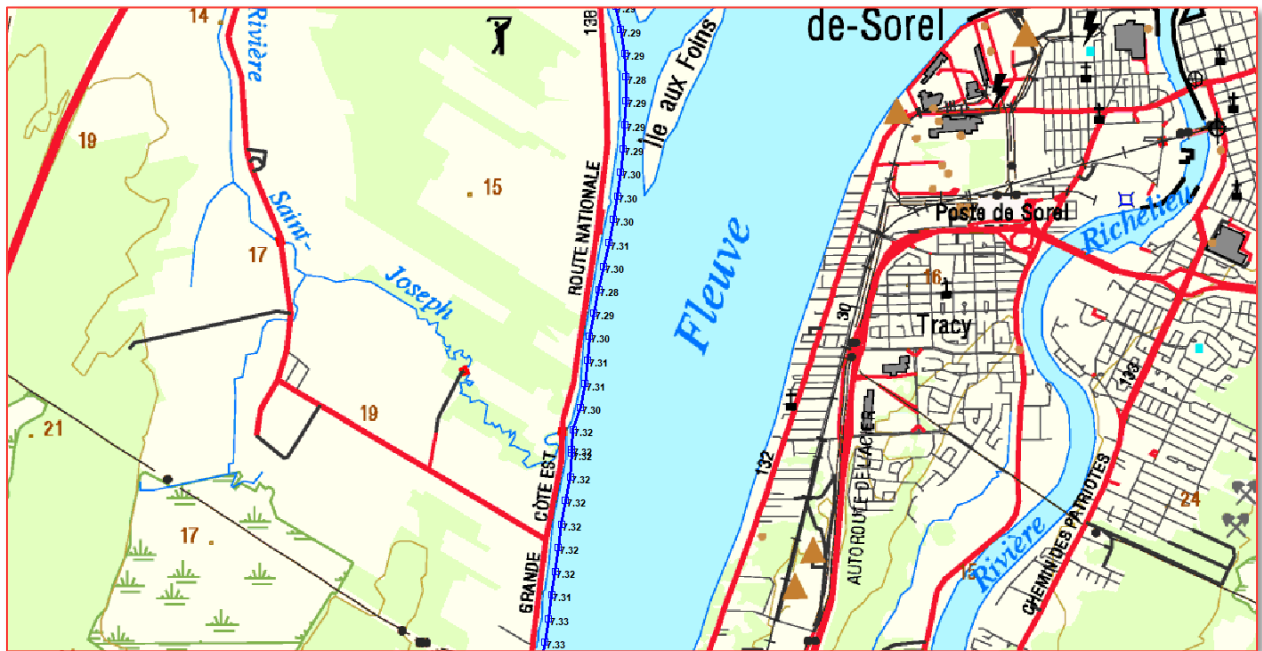


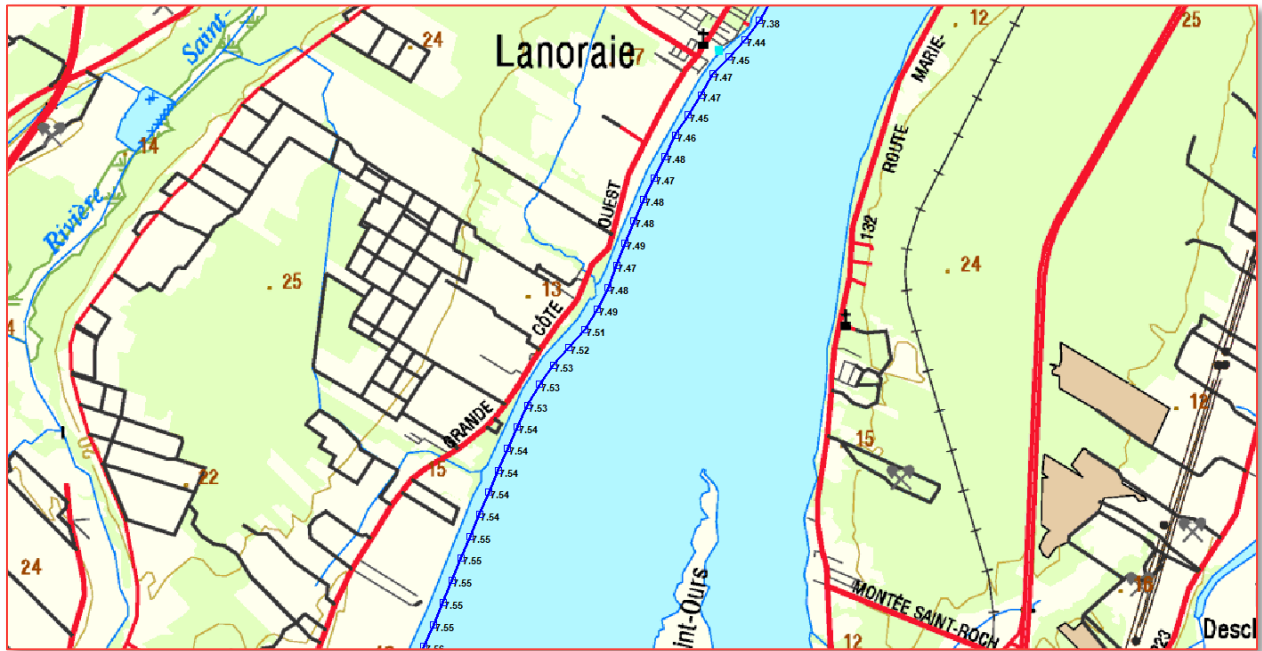


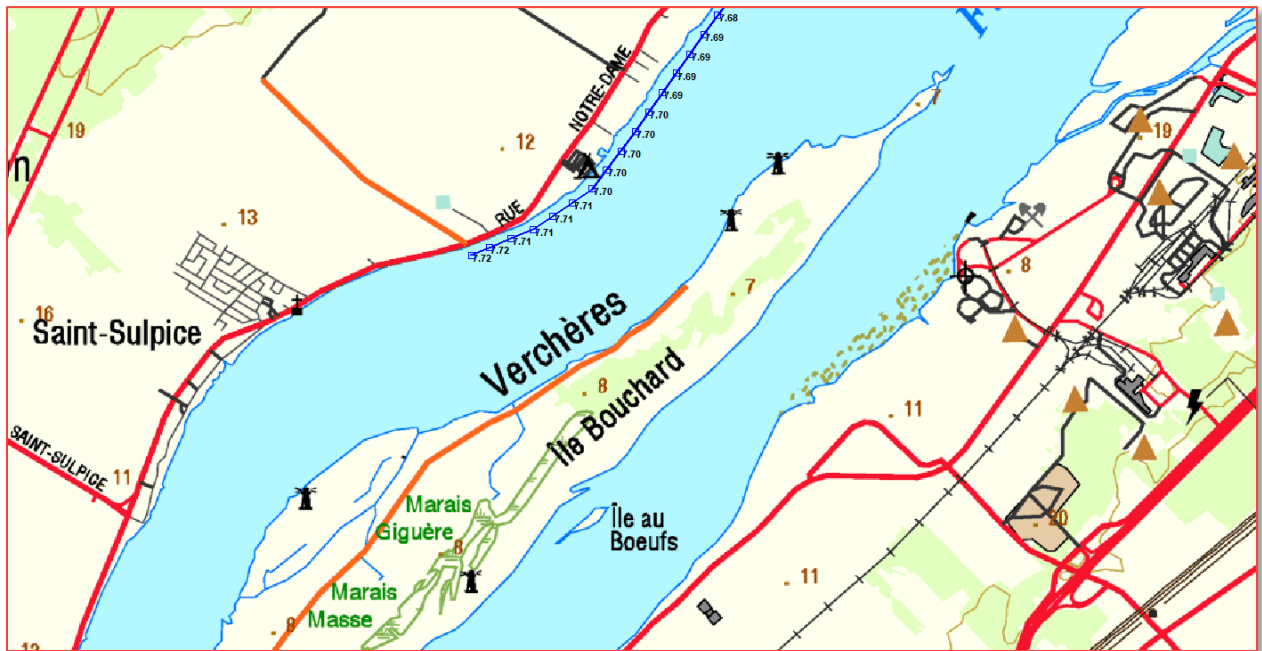
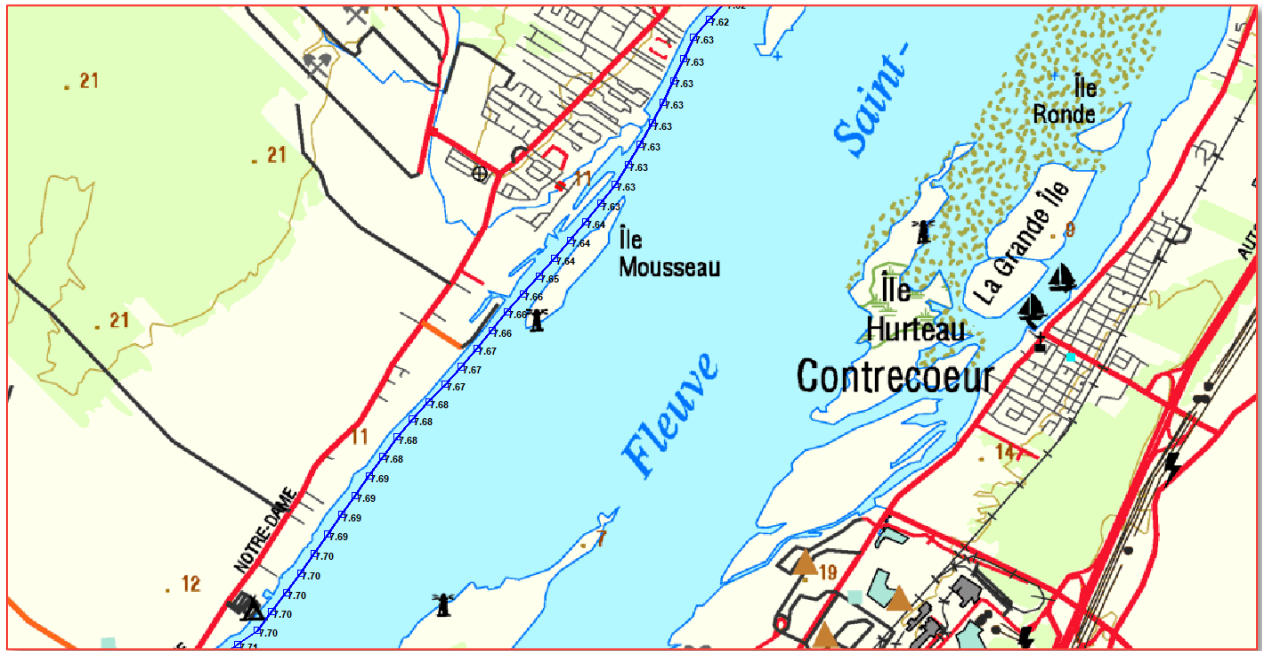
J 5.2 Récurrence de 20 ans



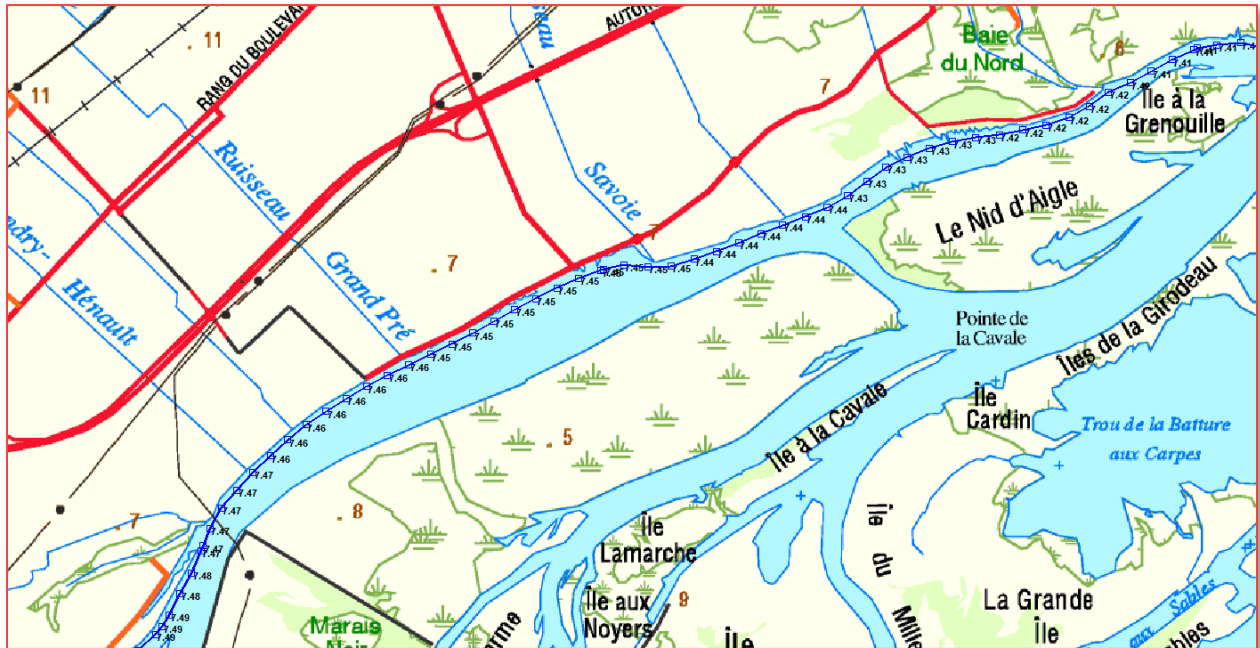




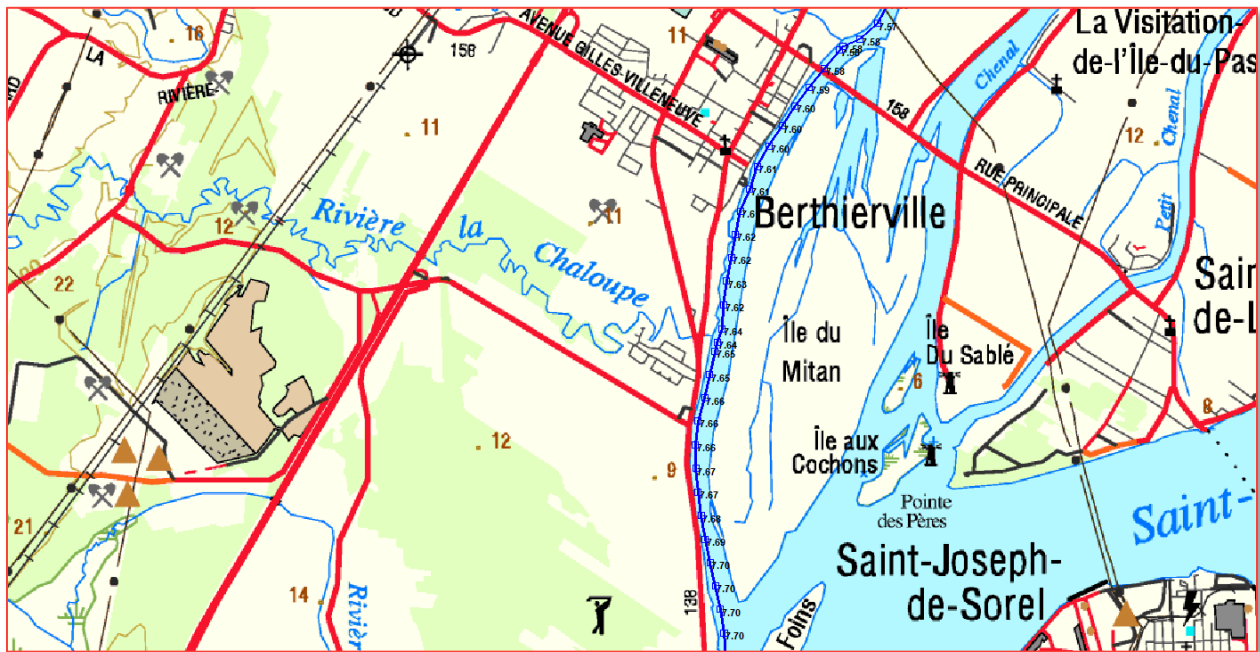
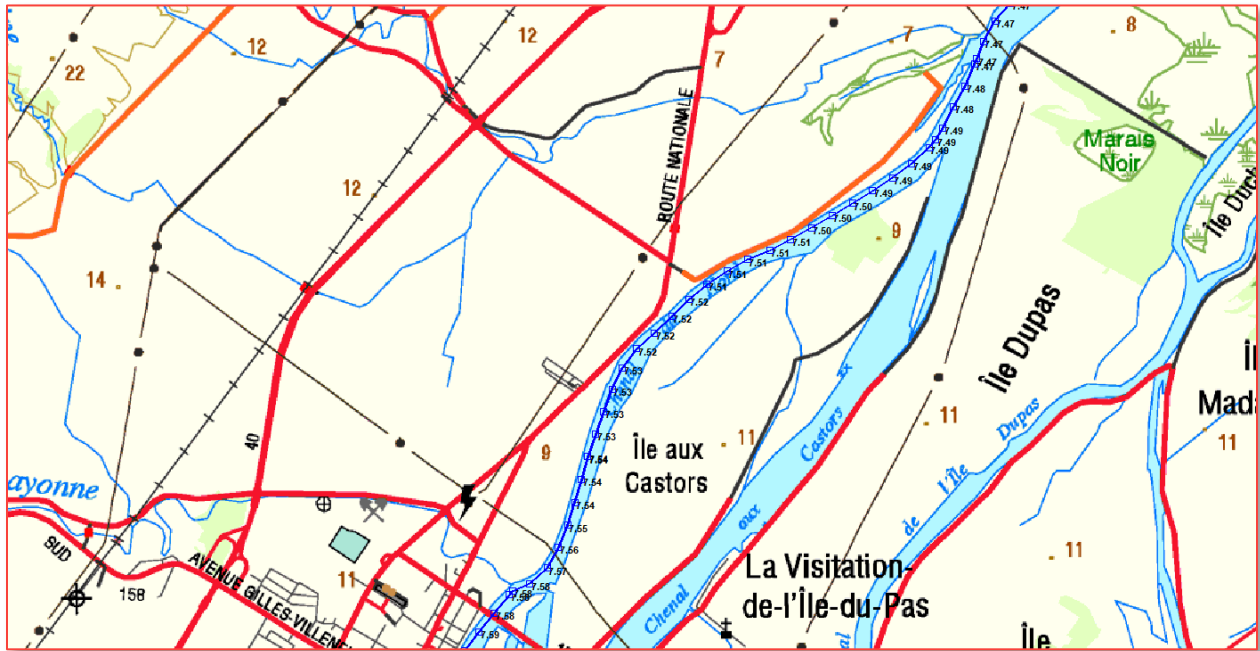


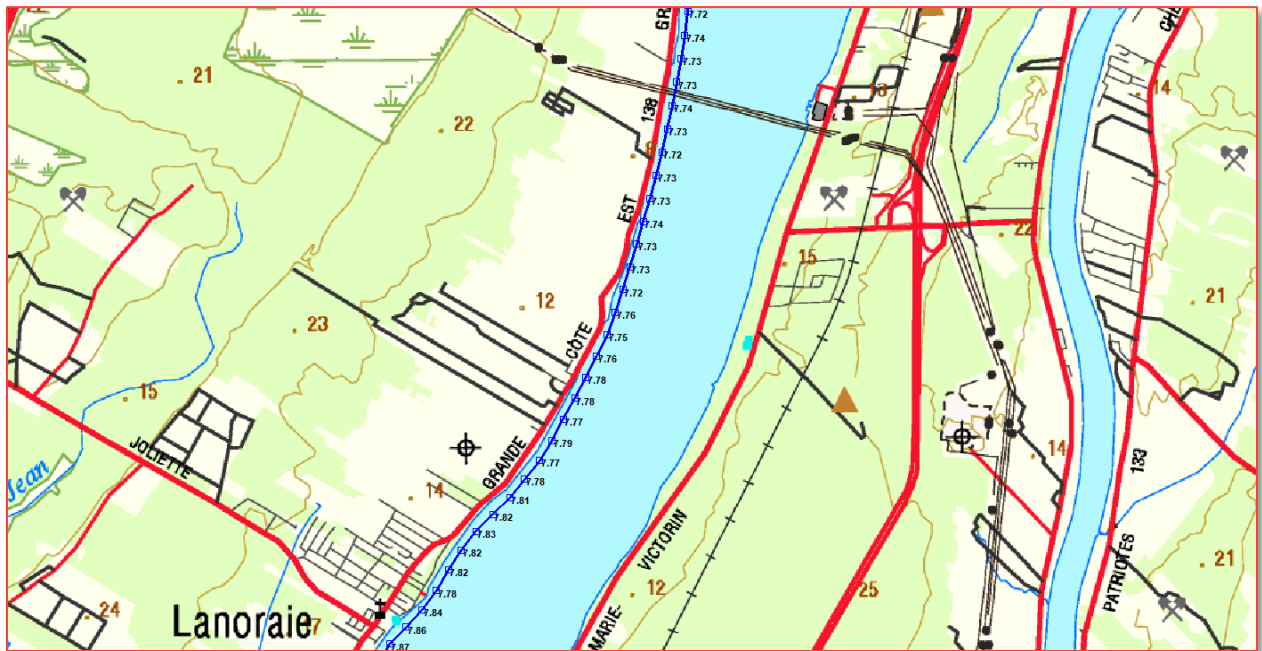
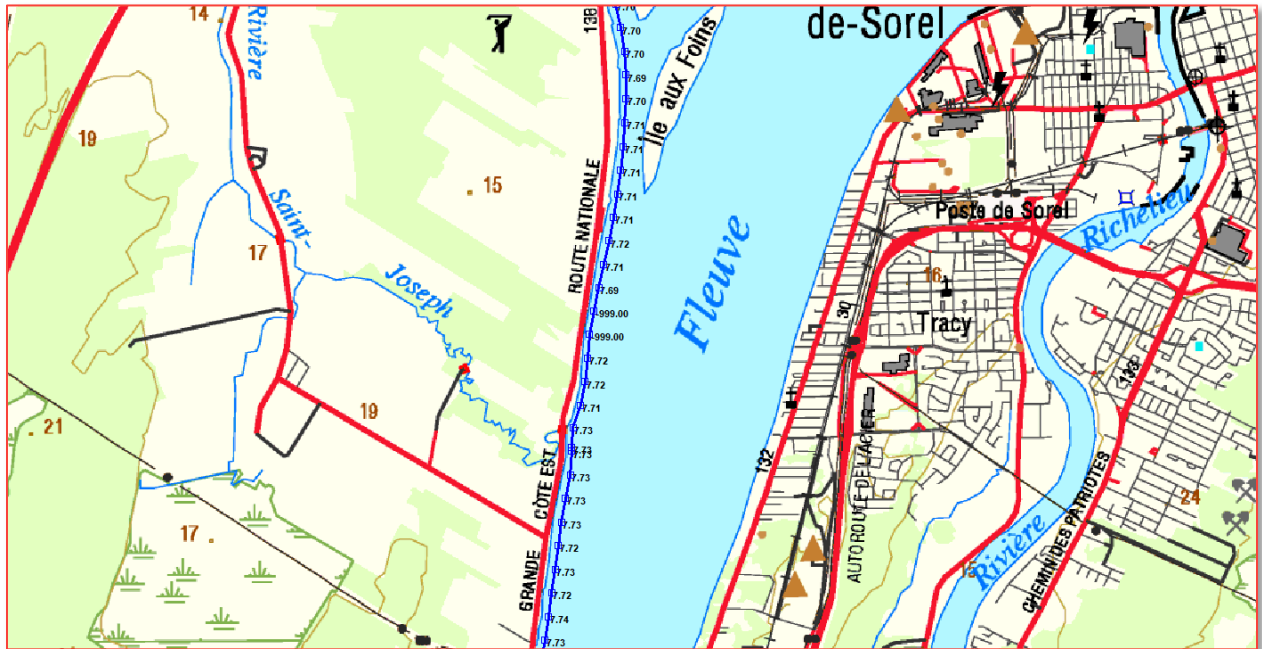


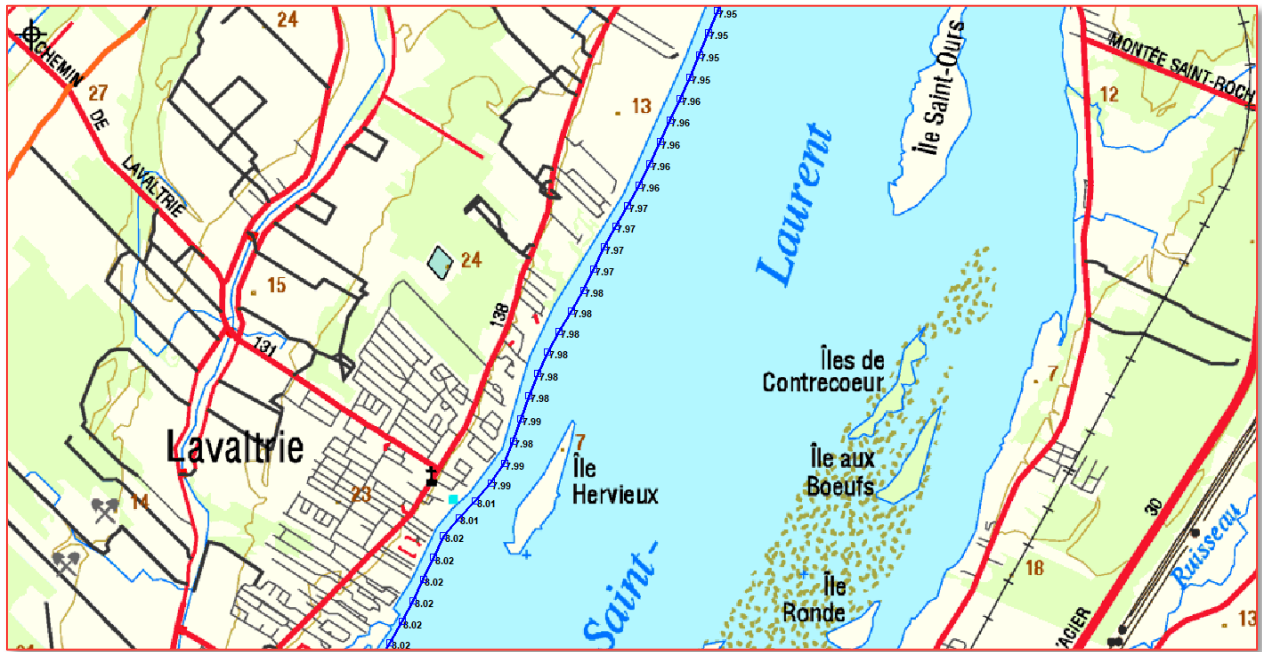
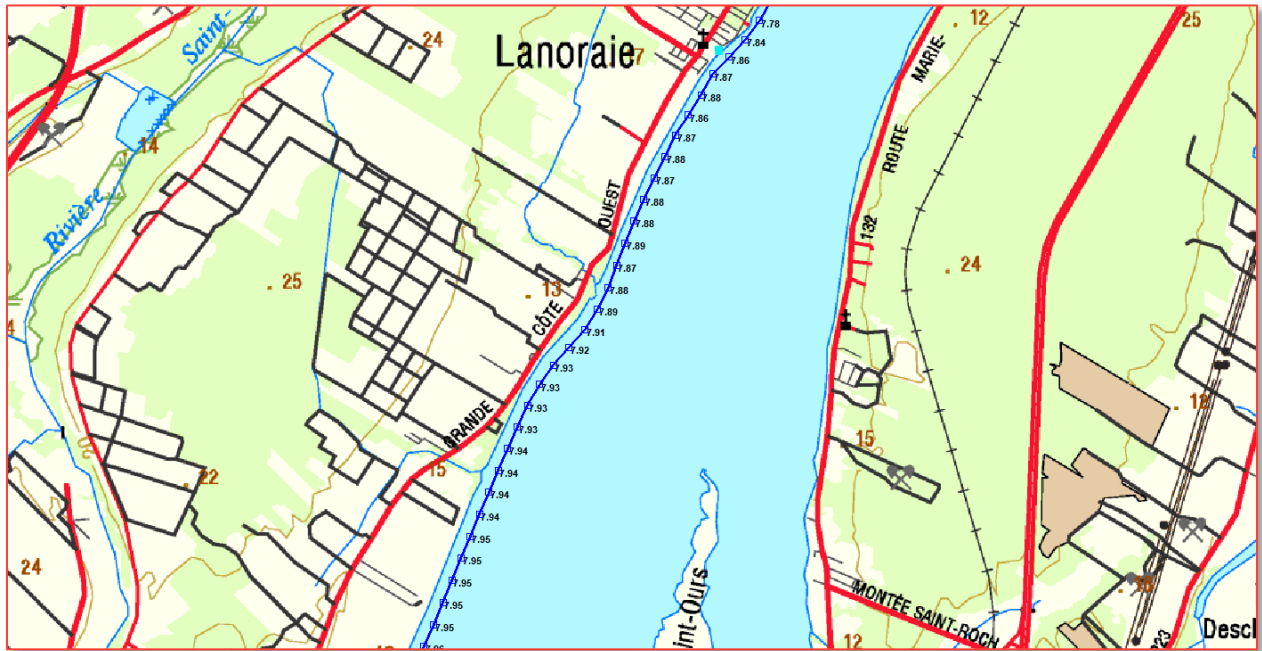
### J 5.3 Récurrence de 100 ans

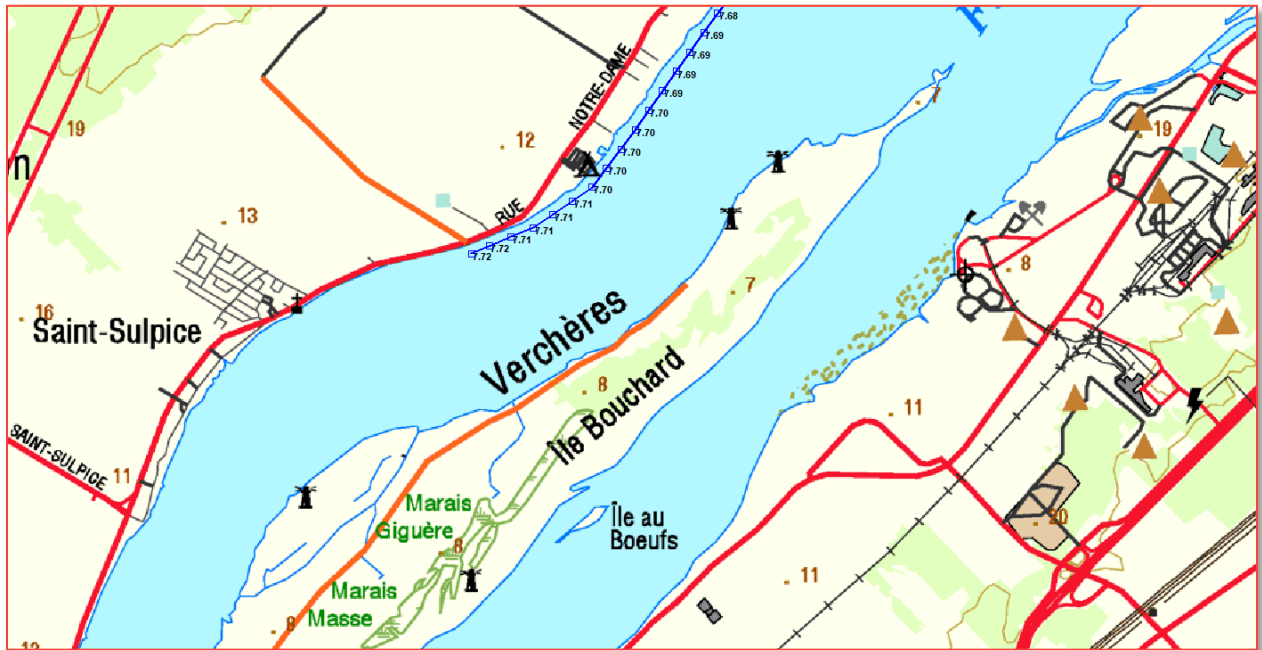
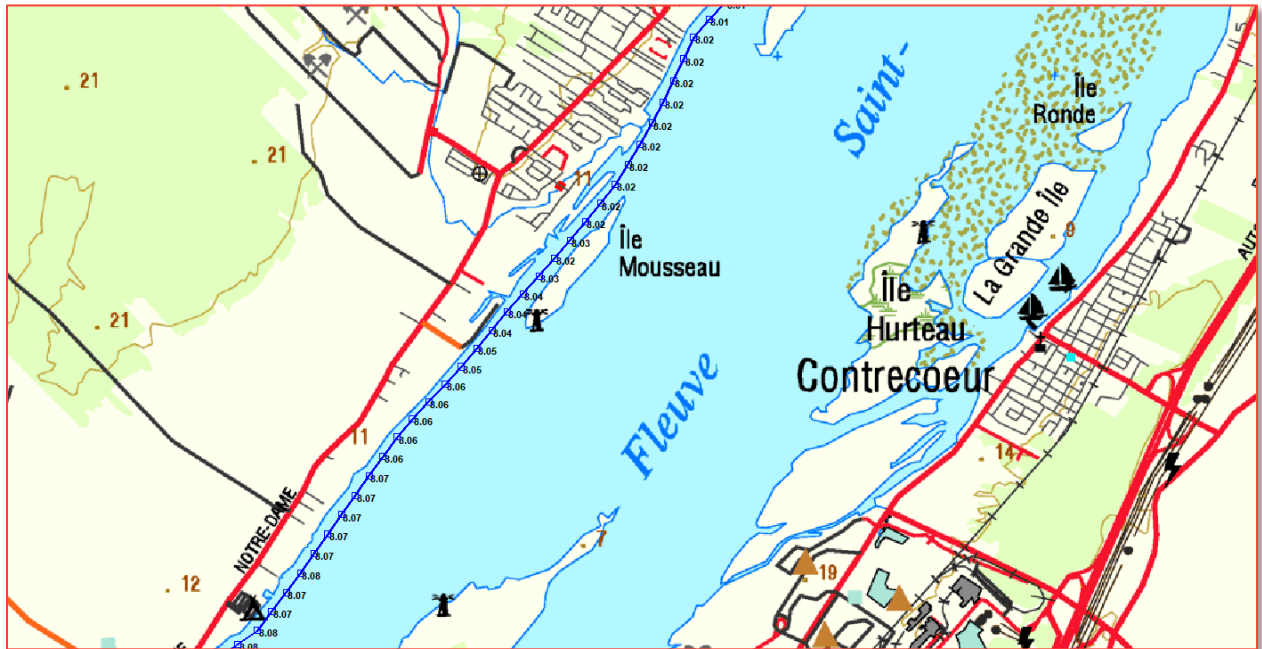












## J 6 Parcours Autray-02 et Autray-03, Le Nid d'Aigle et l'île à la Grenouille

### J 6.1 Récurrence 2 ans



### J 6.2 Récurrence 20 ans



### J 6.3 Récurrence 100 ans



# J 7 Parcours Autray-04, Autray-05 et Autray-06, Îles de la Girodeau, Cardin et La Grande Île

## J 7.1 Récurrence de 2 ans



J 7.2 Récurrence de 20 ans





J 7.3 Récurrence de 100 ans



## J 8 Parcours Autray-07 et Autray-08, Îles aux Sables et aux Liards

### J 8.1 Récurrence 2 ans



### J 8.2 Récurrence 20 ans



### J 8.3 Récurrence 100 ans

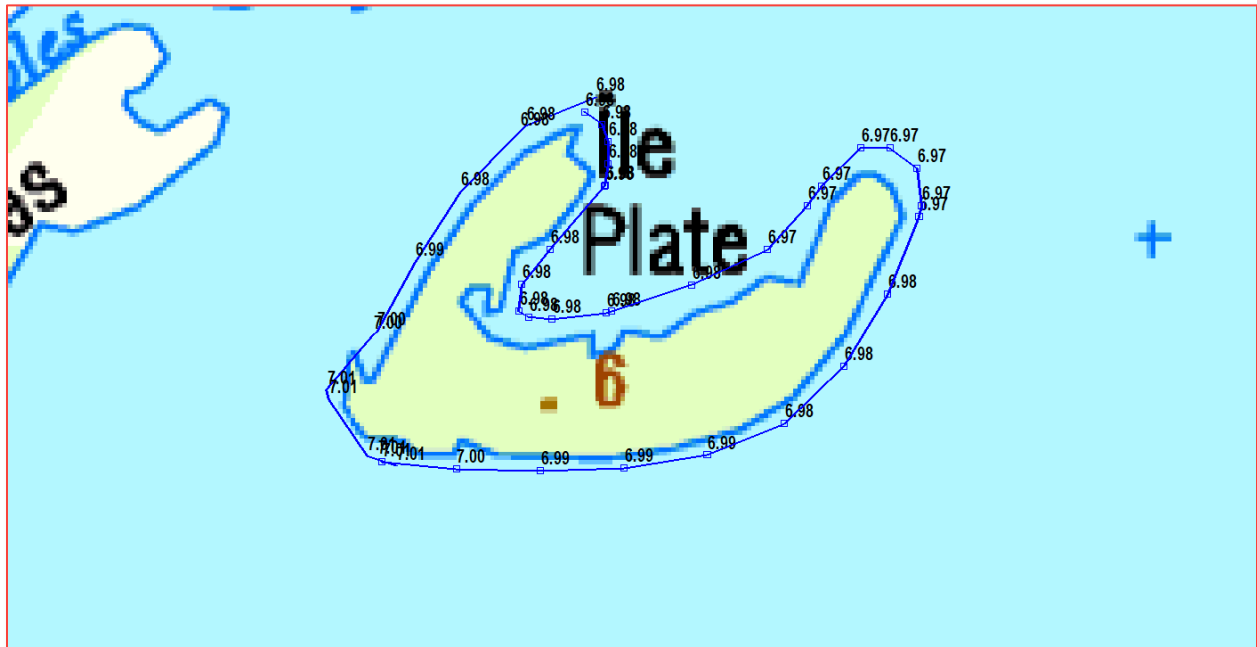


# J 9 Parcours Autray-09 et Autray10, Île Plate

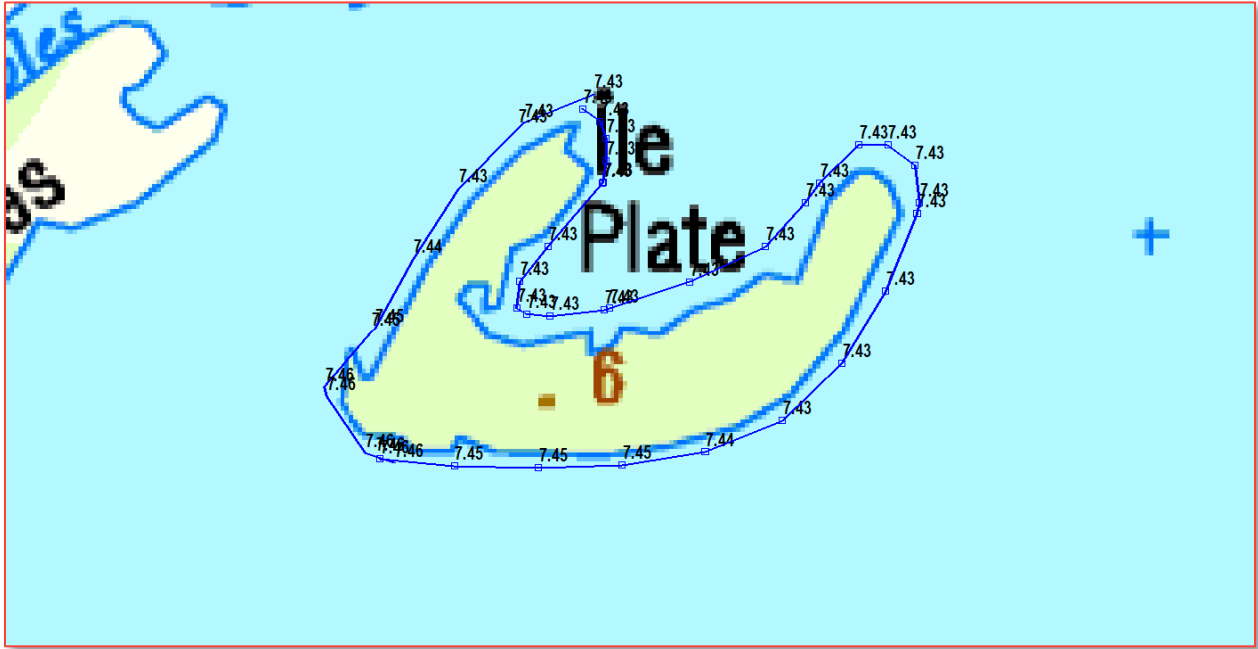
## J 9.1 Récurrence de 2 ans



## J 9.2 Récurrence de 20 ans

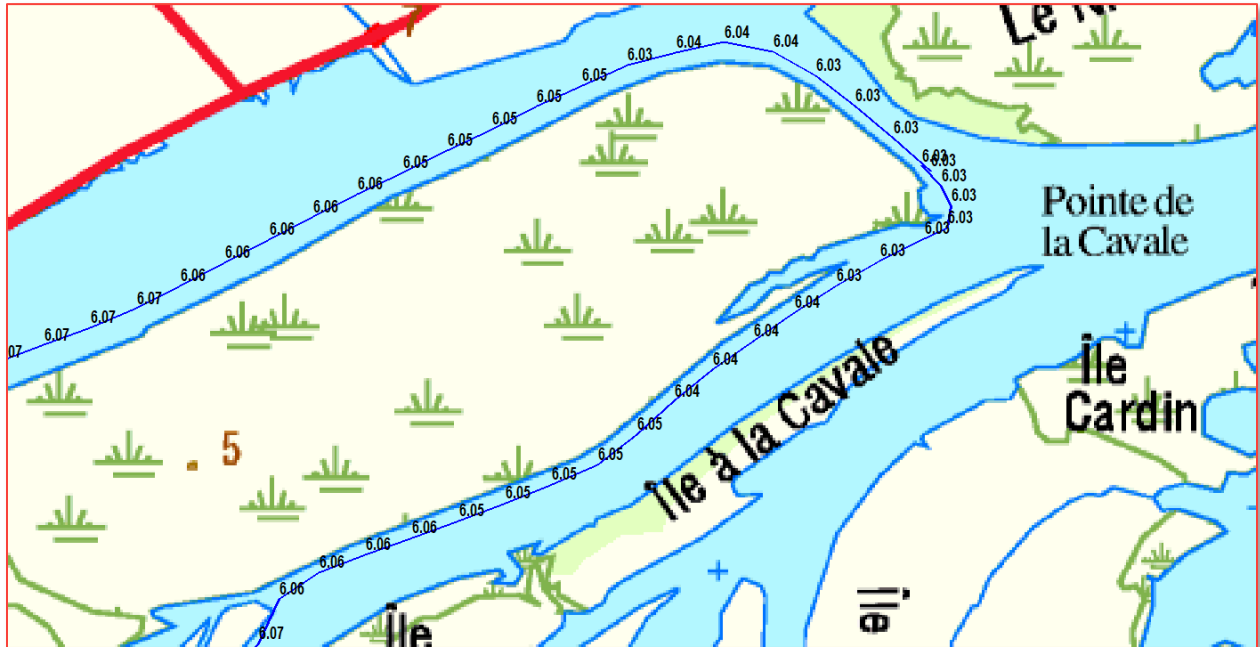


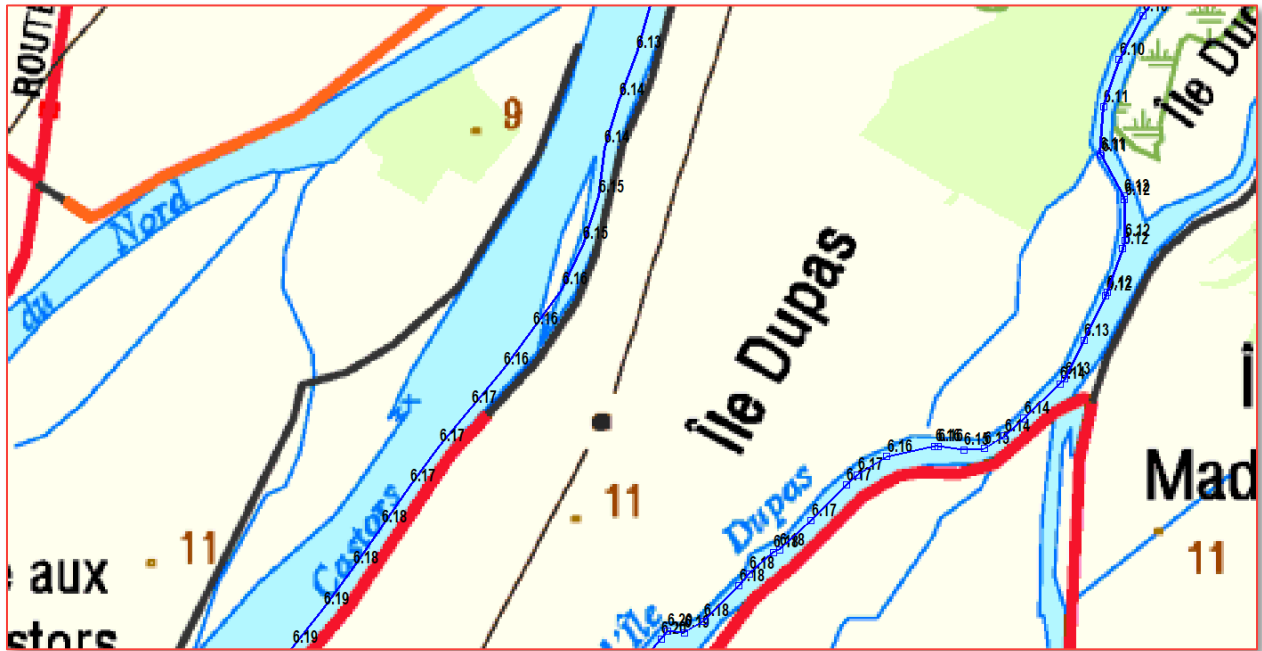
### J 9.3 Récurrence de 100 ans

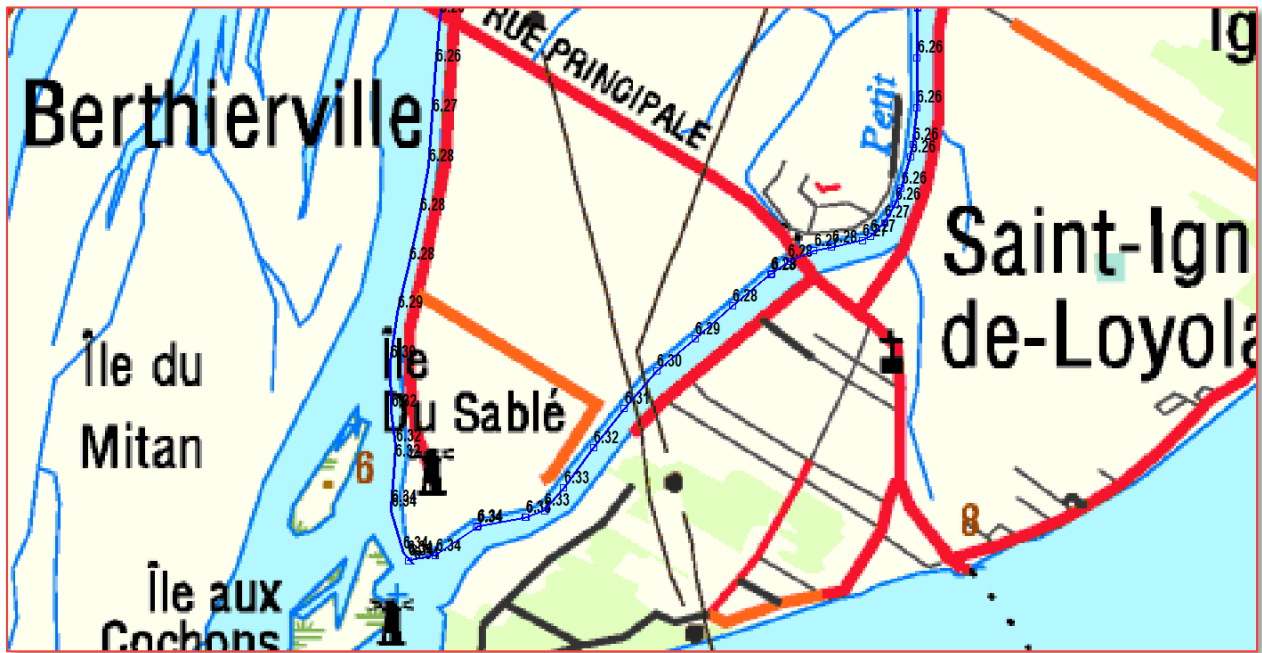


# J 10 Parcours Autray-11 et Autray-12, Île Dupas

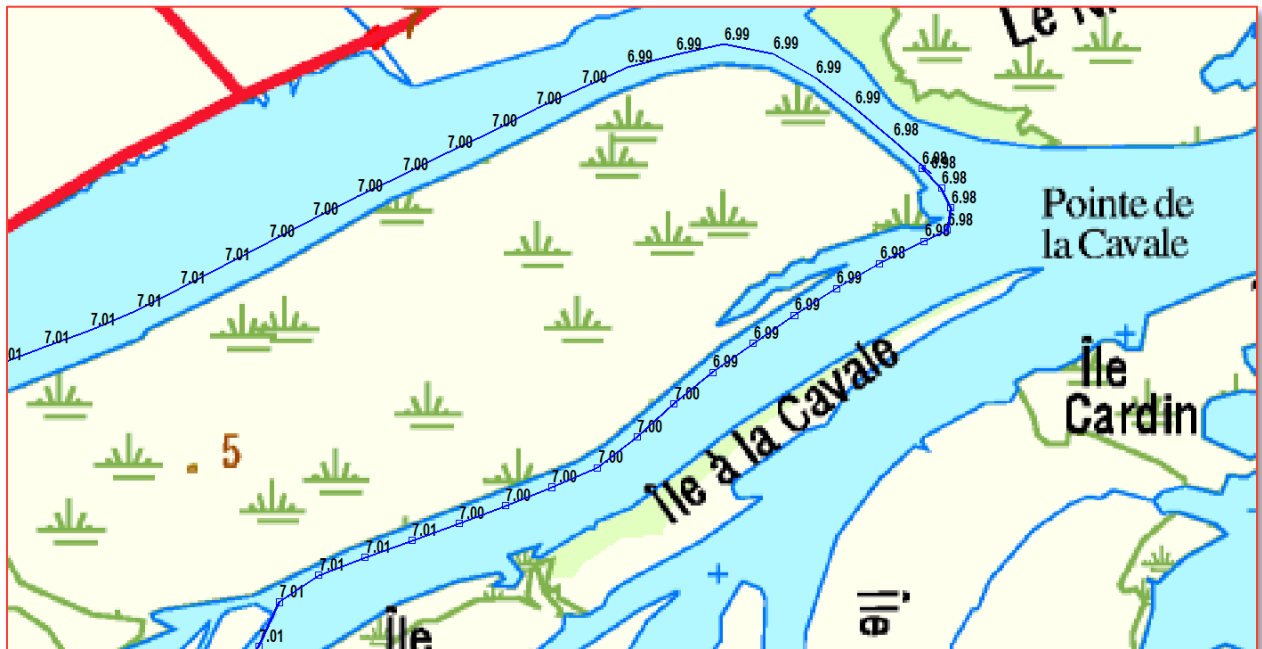
## J 10.1 Récurrence de 2 ans



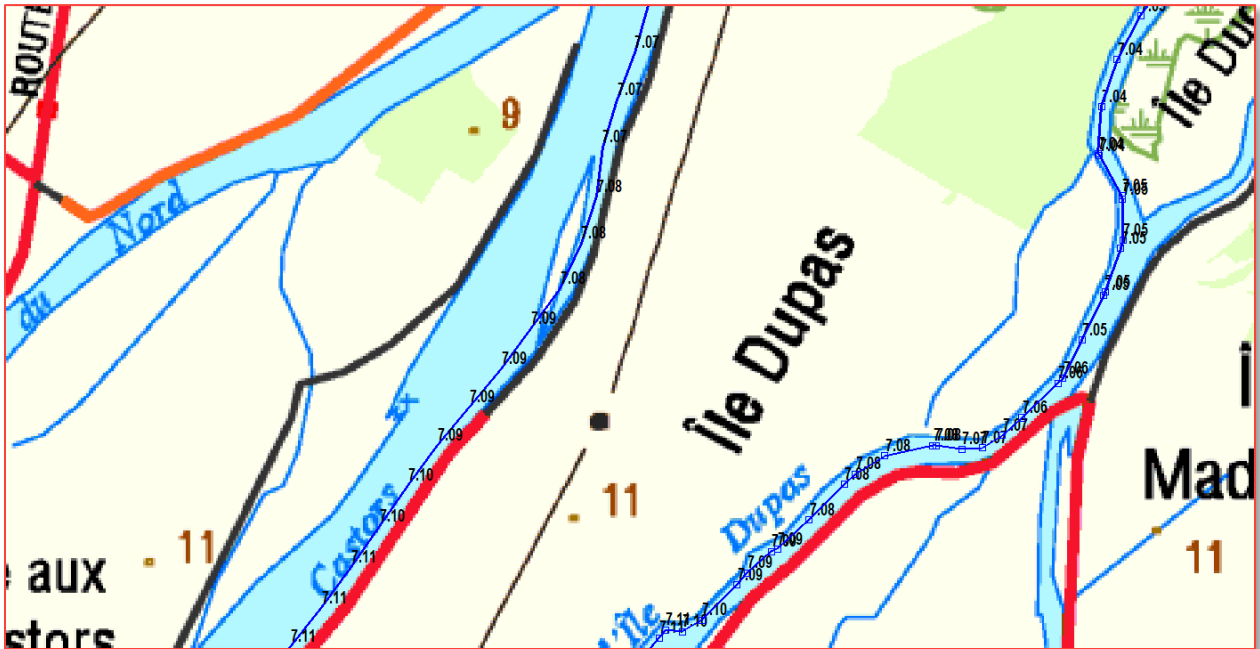
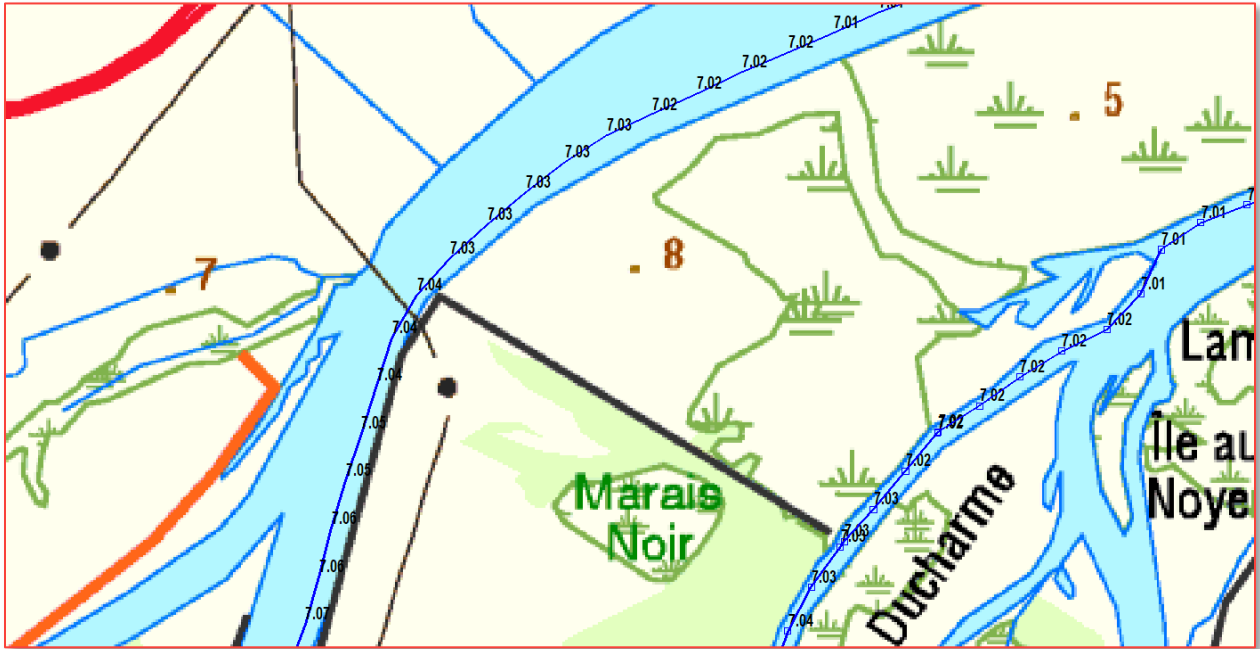


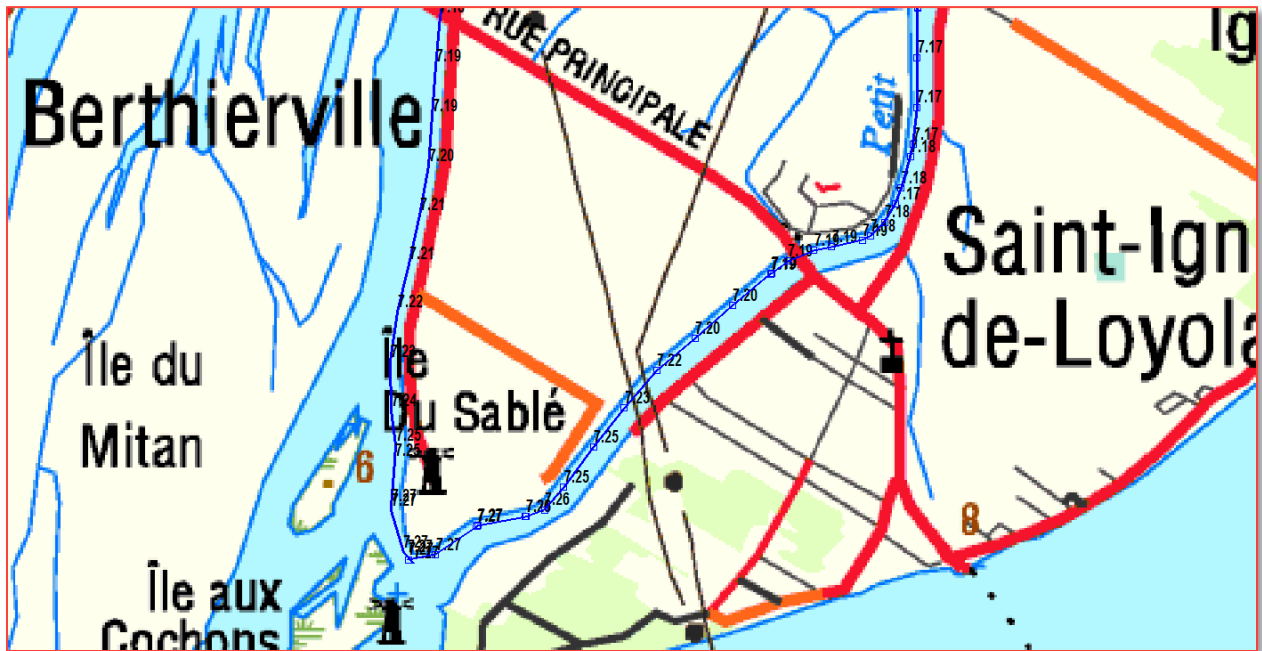


J 10.2 Récurrence de 20 ans

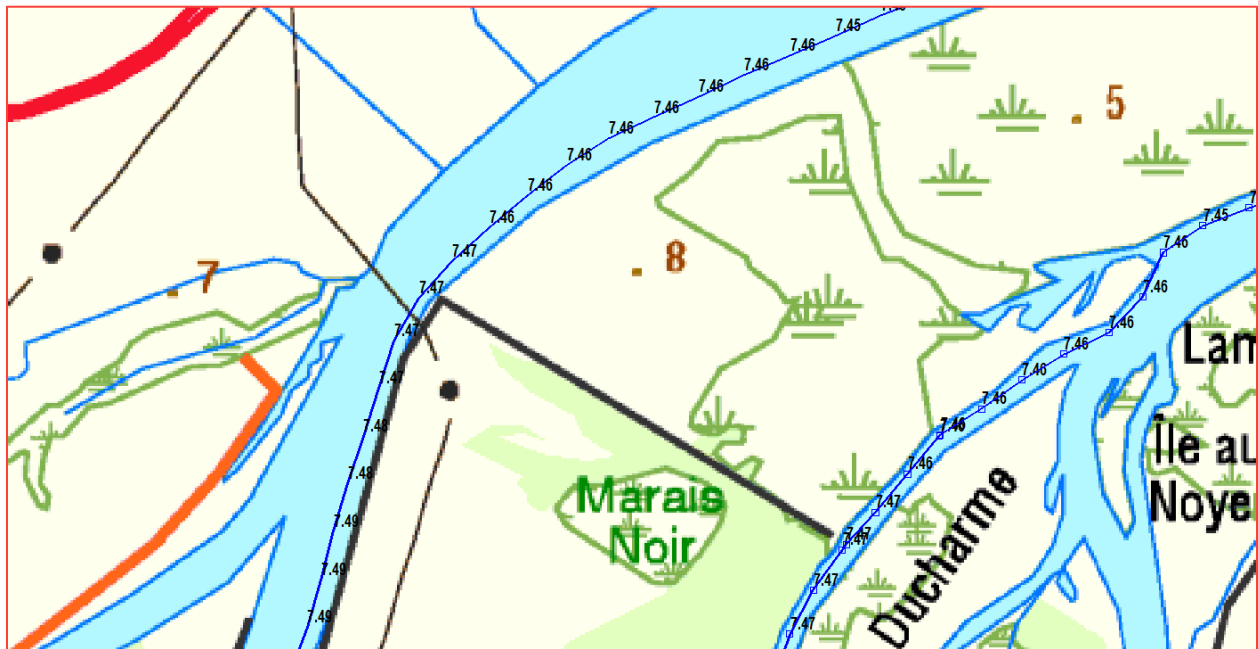
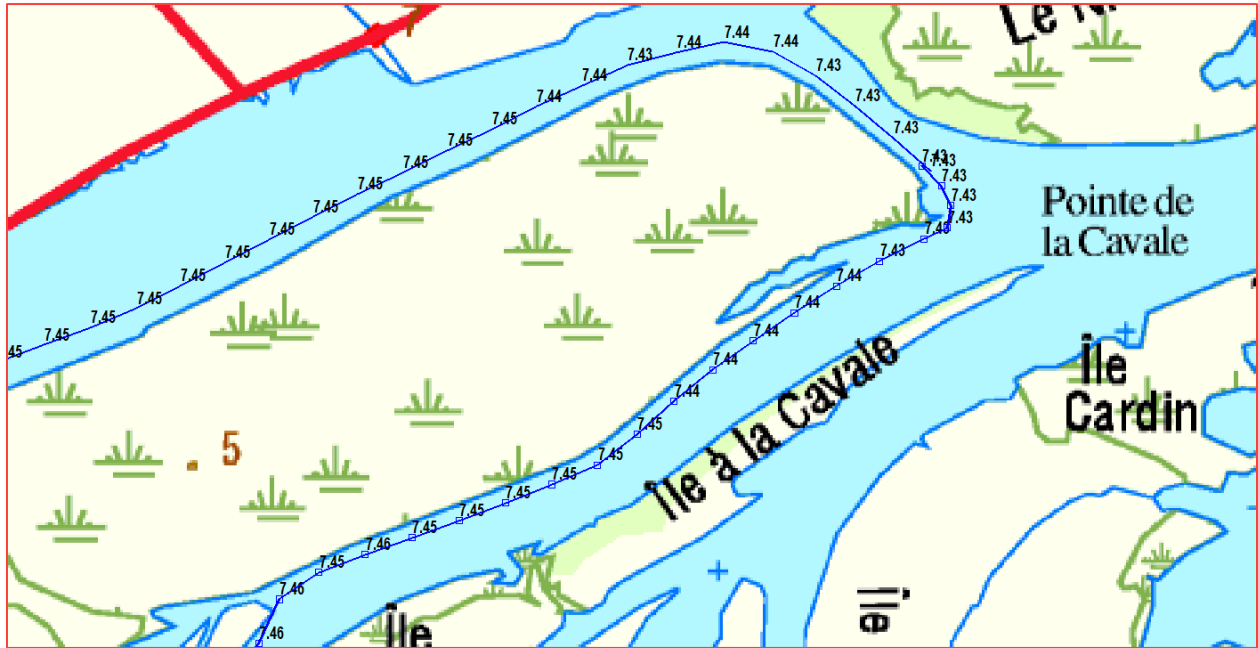


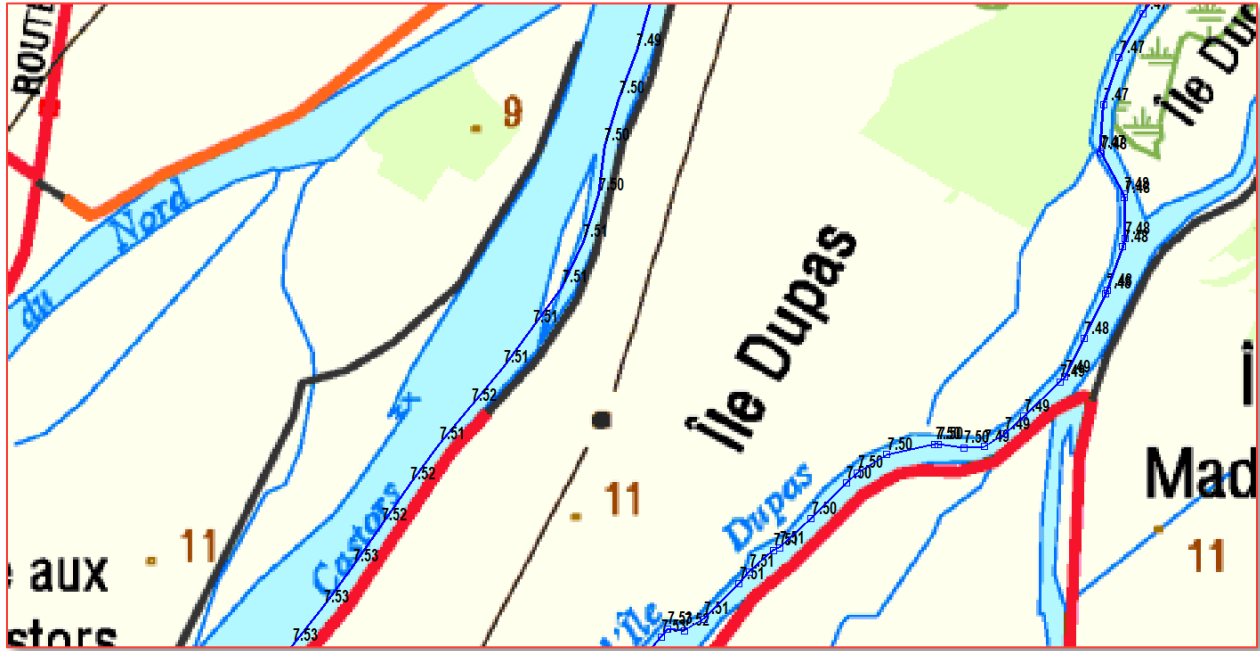


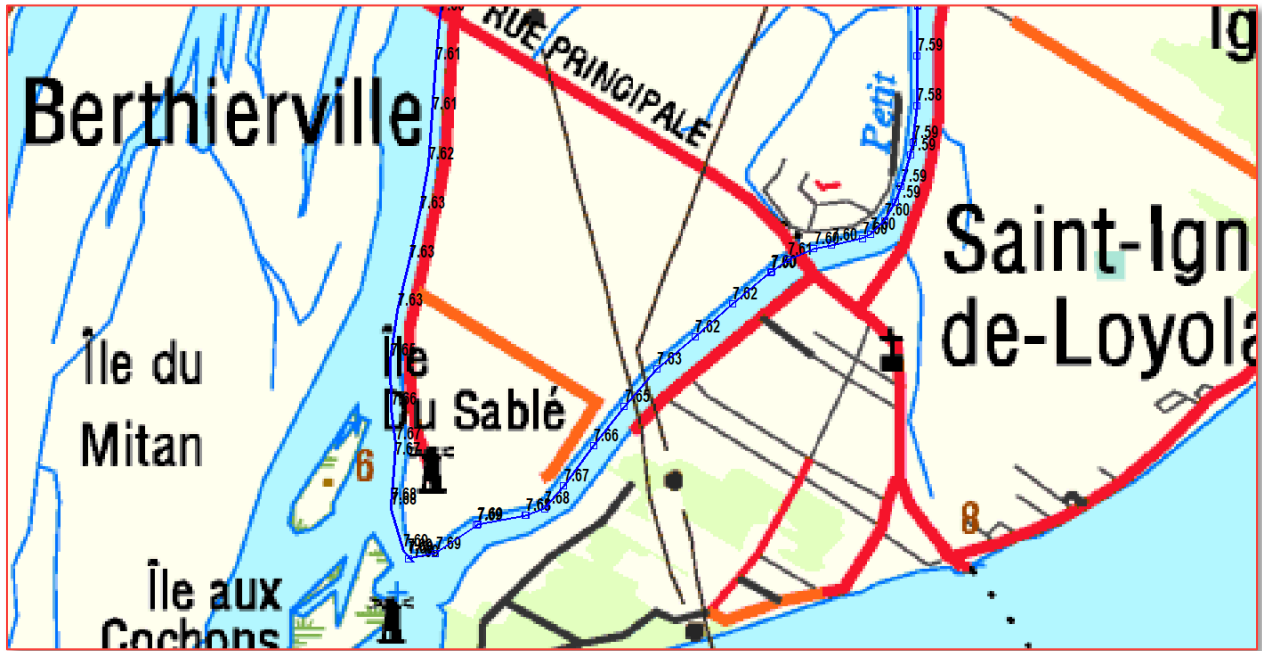




### J 10.3 Récurrence de 100 ans

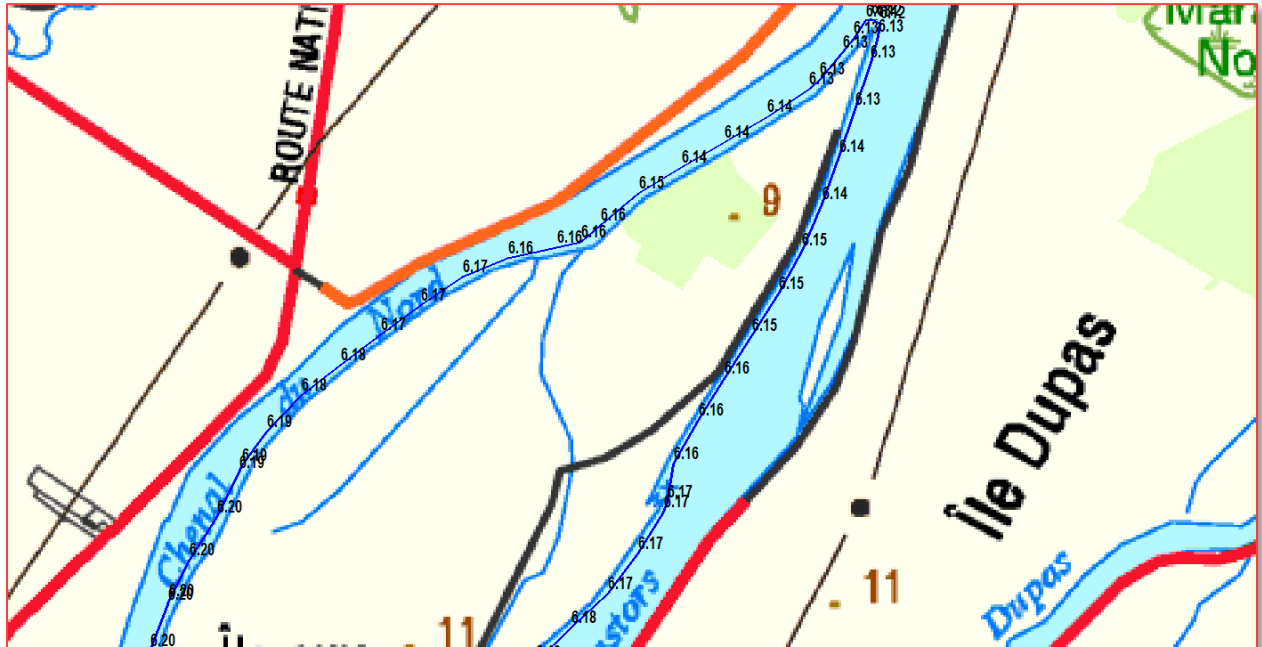


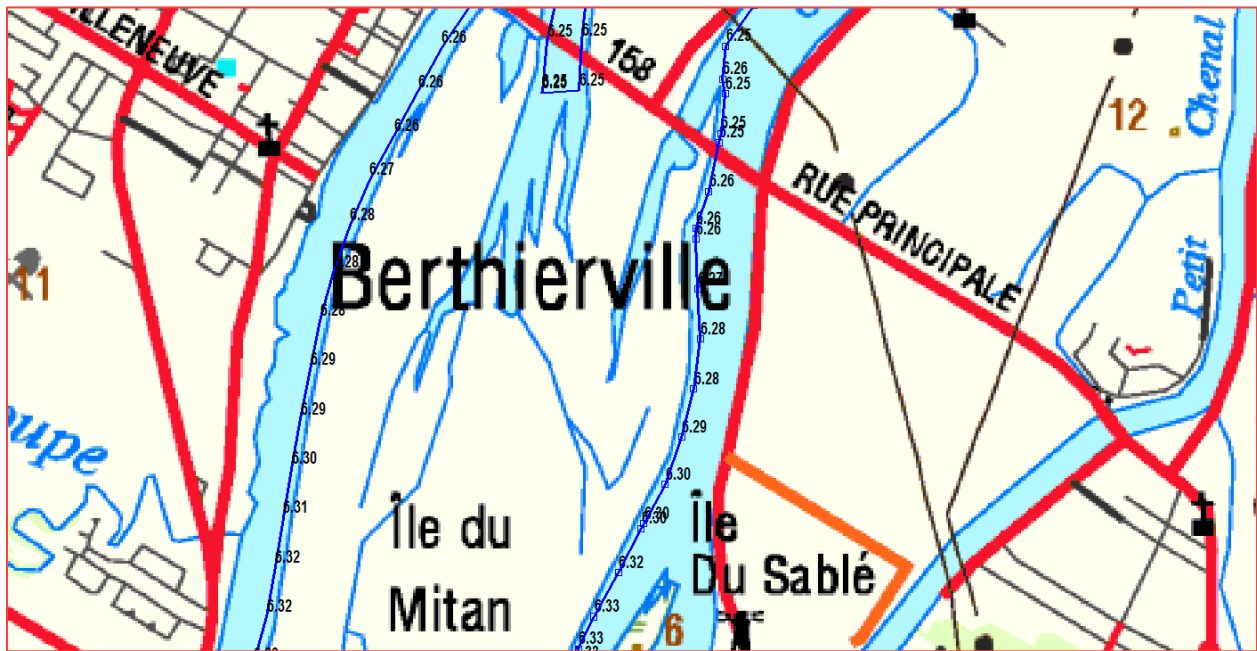




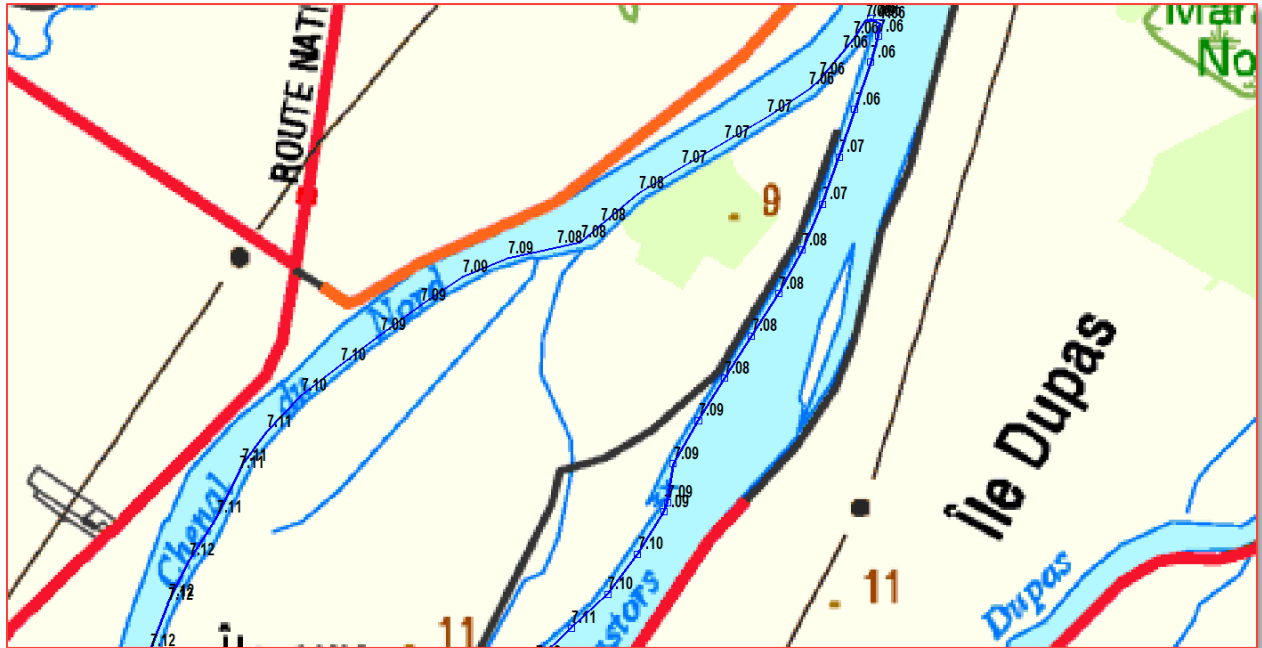
# J 11 Parcours Autray-13 et Autray-14, Îles aux Castors et du Mitan

## J 11.1 Récurrence de 2 ans

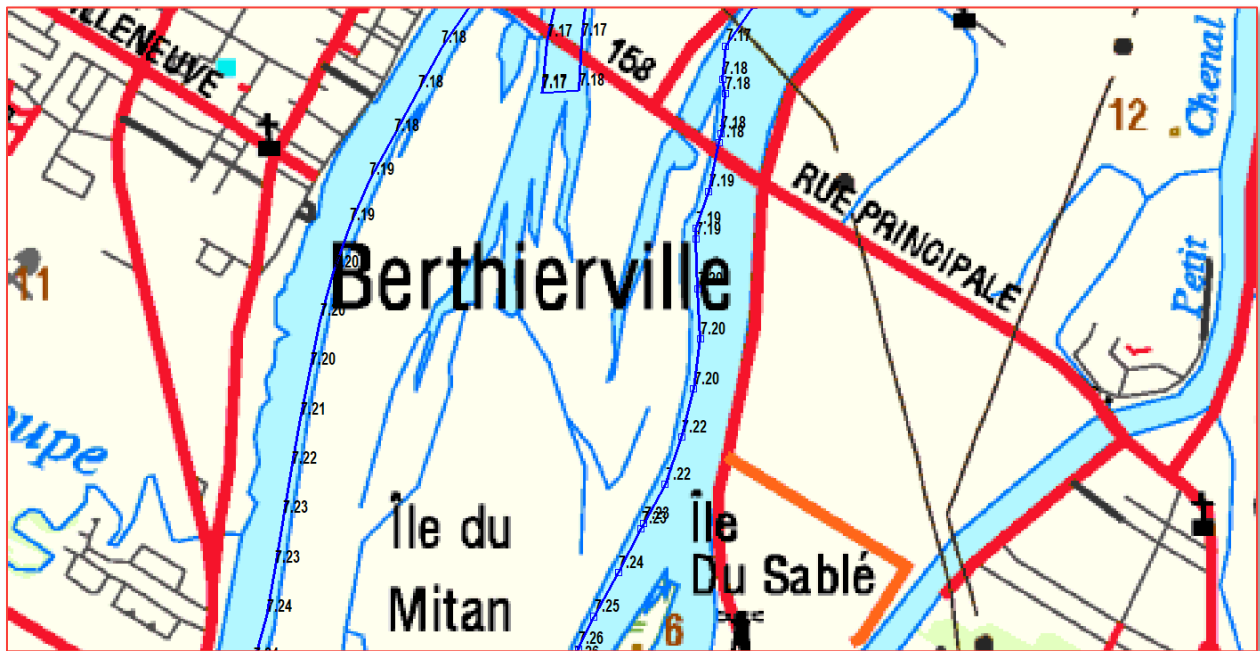




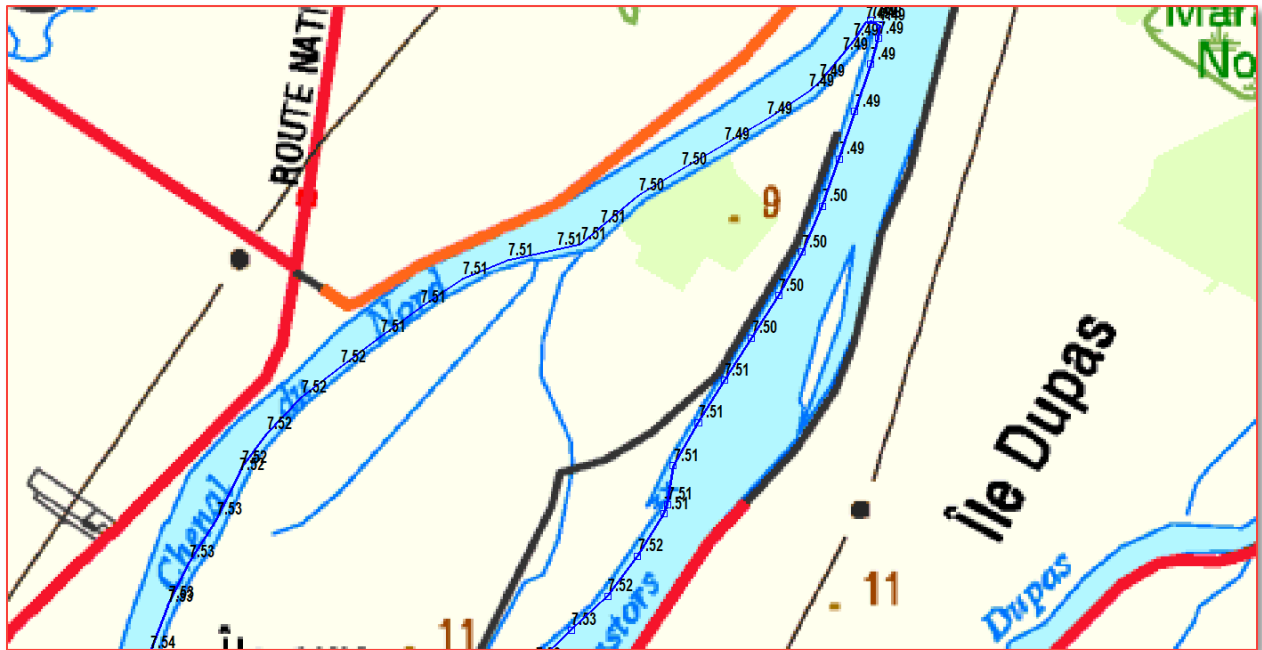
### J 11.2 Récurrence de 20 ans

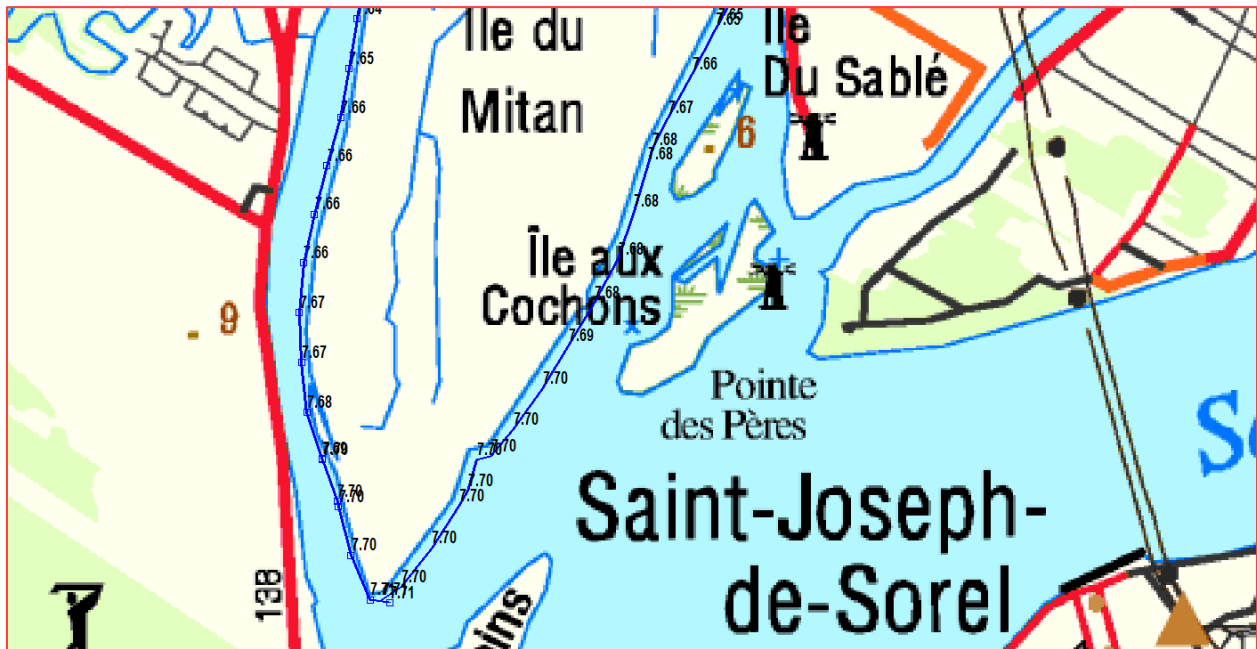
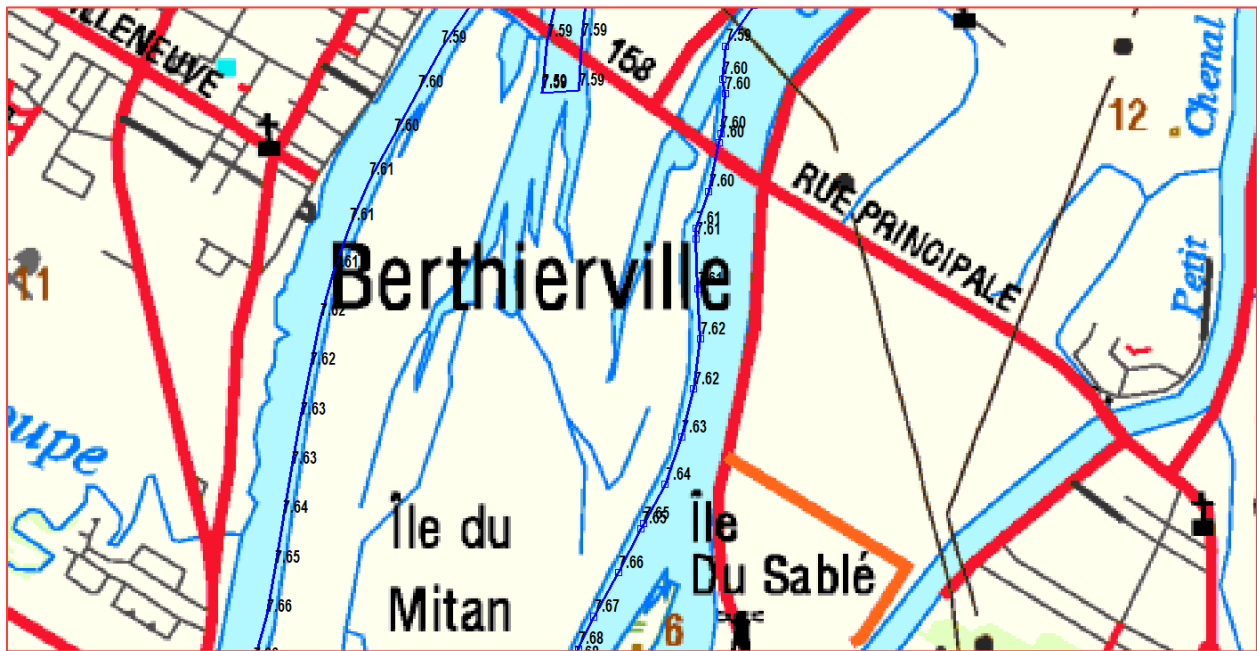






### J 11.3 Récurrence de 100 ans

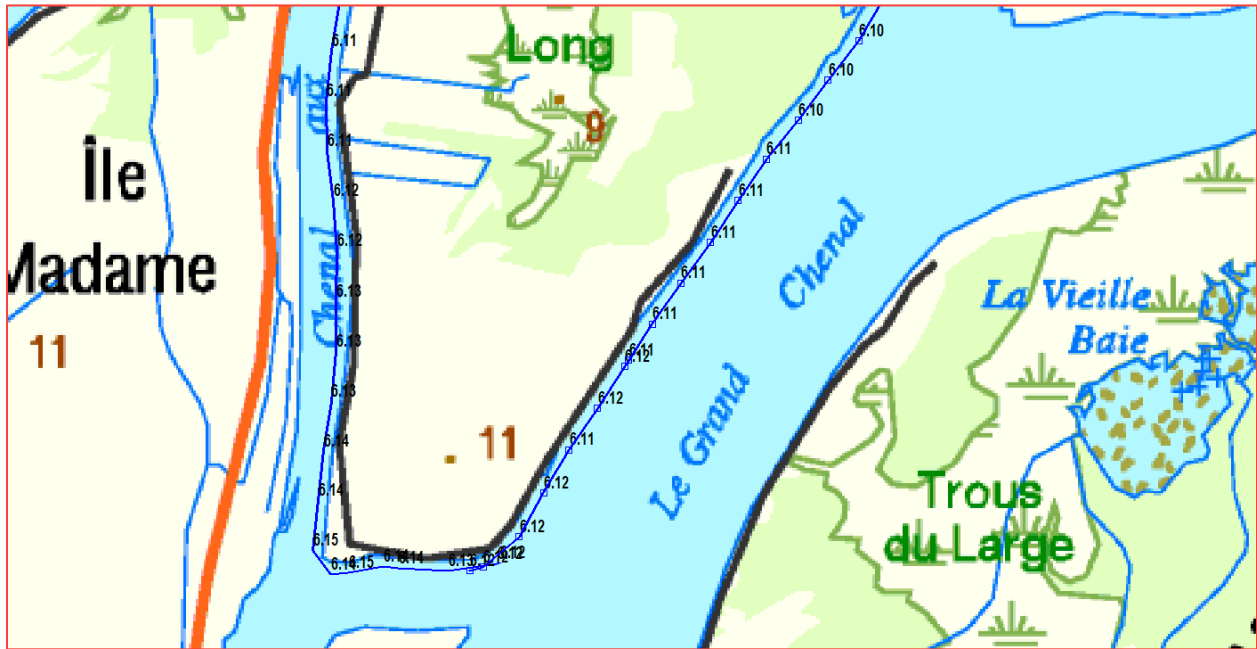




# J 12 Parcours Autray-15 et Autray-16, Îles à la Cavale, Lamarche, aux Noyers et aux Ours

## J 12.1 Récurrence de 2 ans





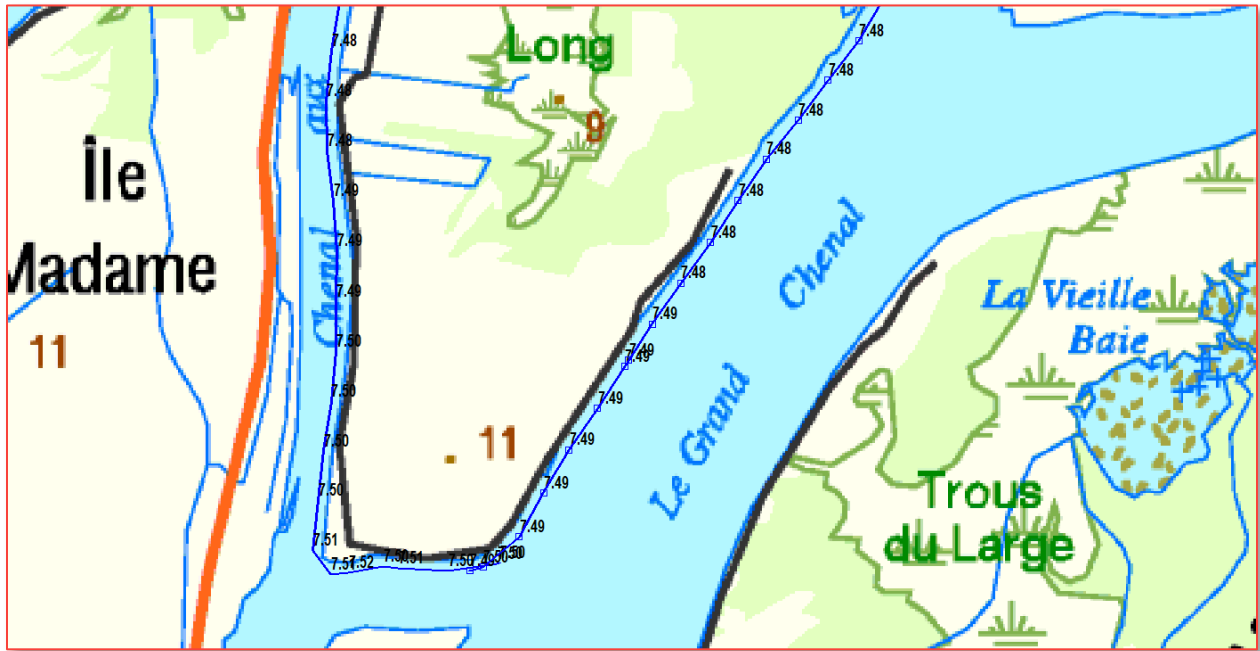
J 12.2 Récurrence de 20 ans





### J 12.3 Récurrence de 100 ans







## J 13 Parcours Autray-17 et Autray-18, Île Ducharme

### J 13.1 Récurrence de 2 ans



### J 13.2 Récurrence de 20 ans

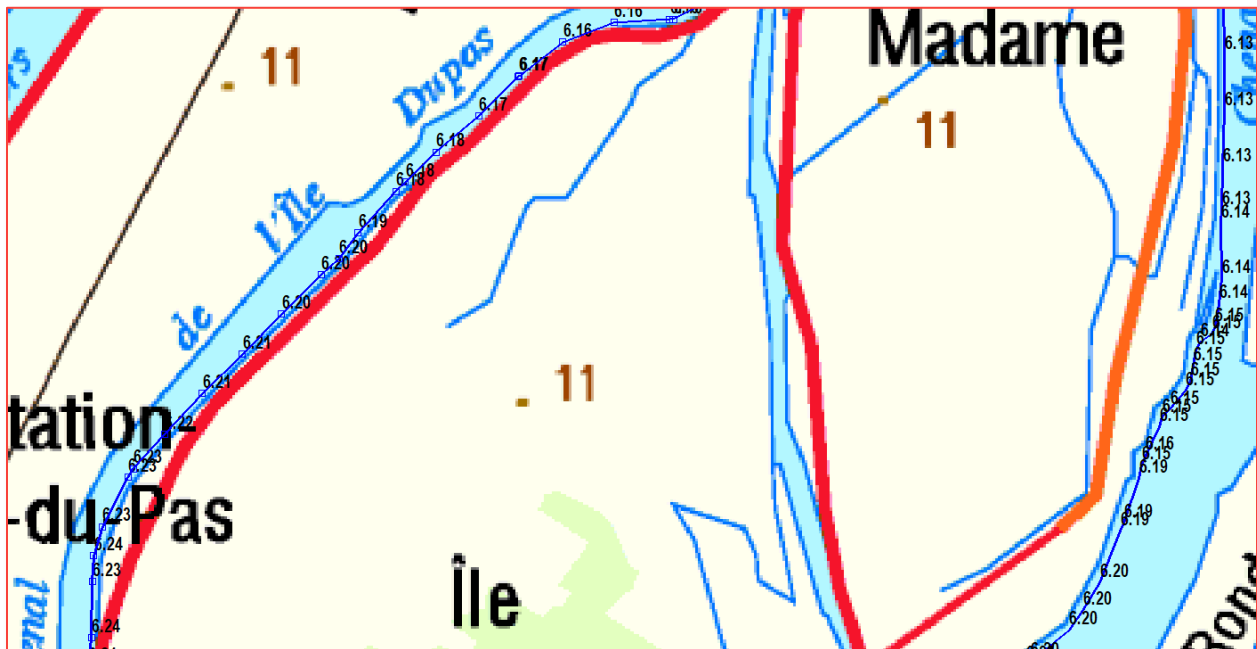


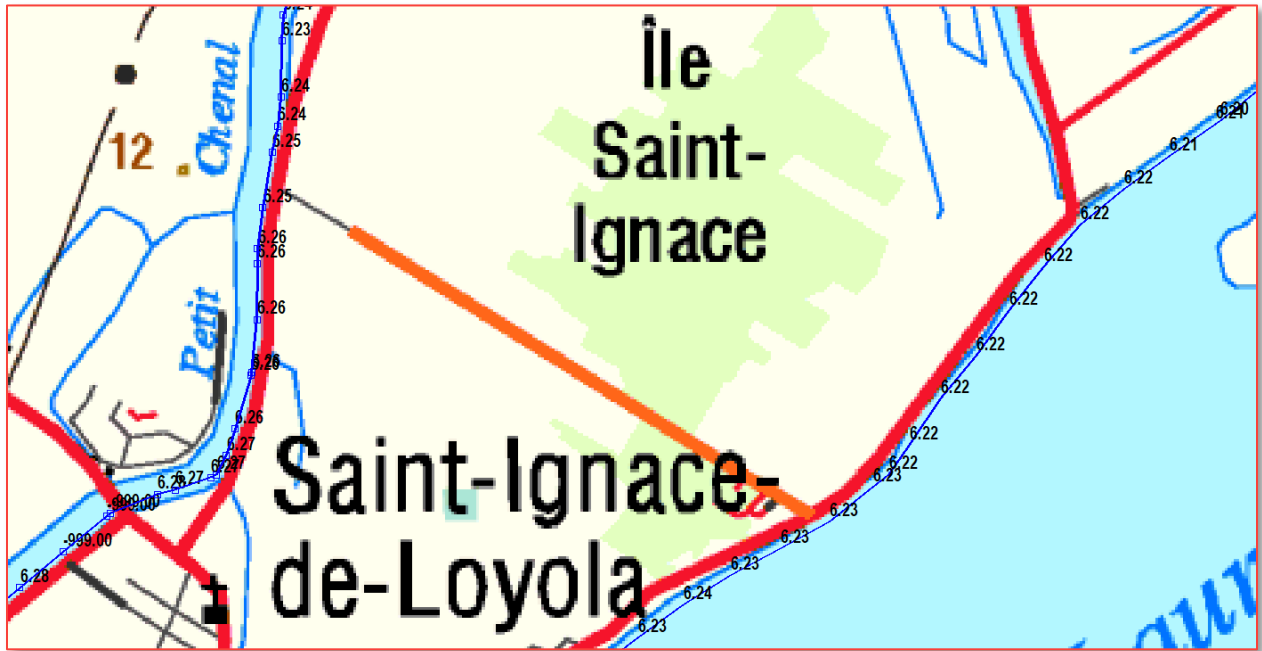
J 13.3 Récurrence de 100 ans



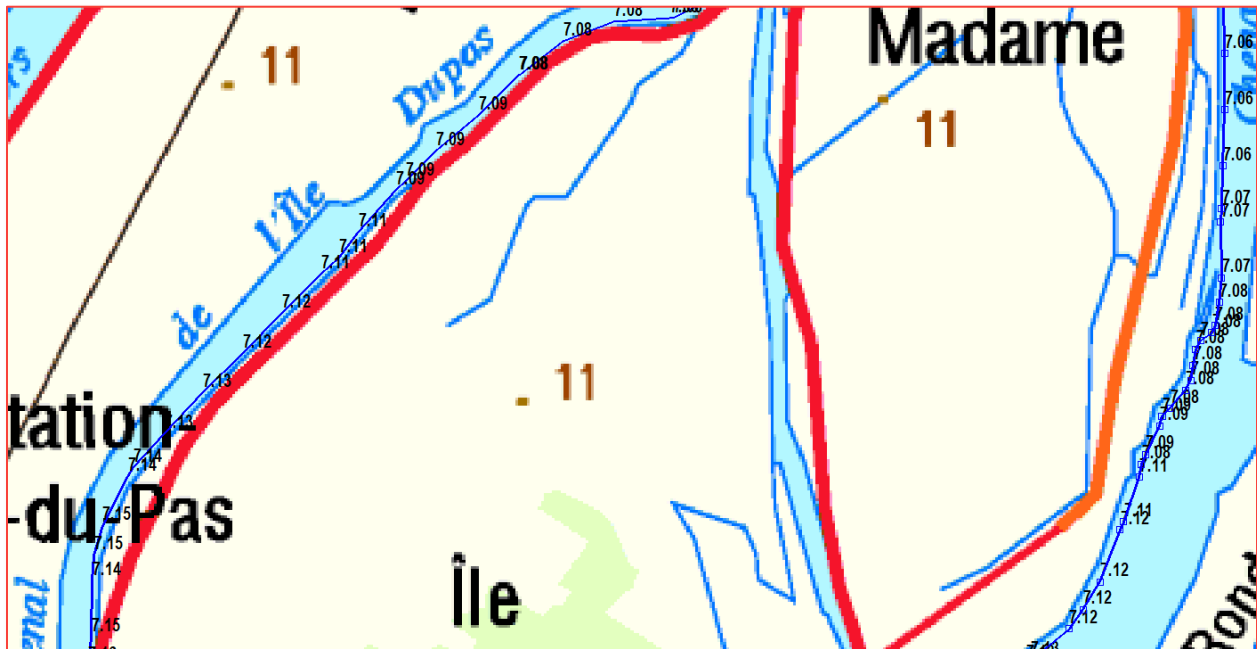
# J 14 Parcours Autray-18 et Autray-19, Îles Madame et Saint-Ignace

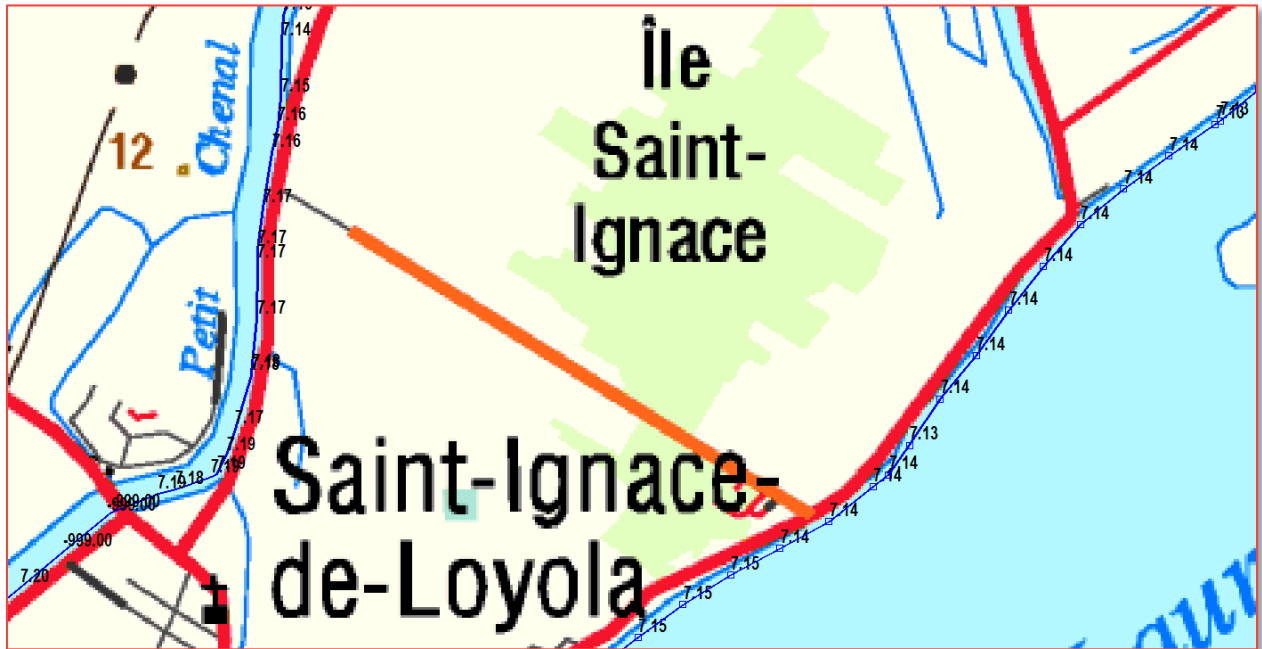
## J 14.1 Récurrence de 2 ans



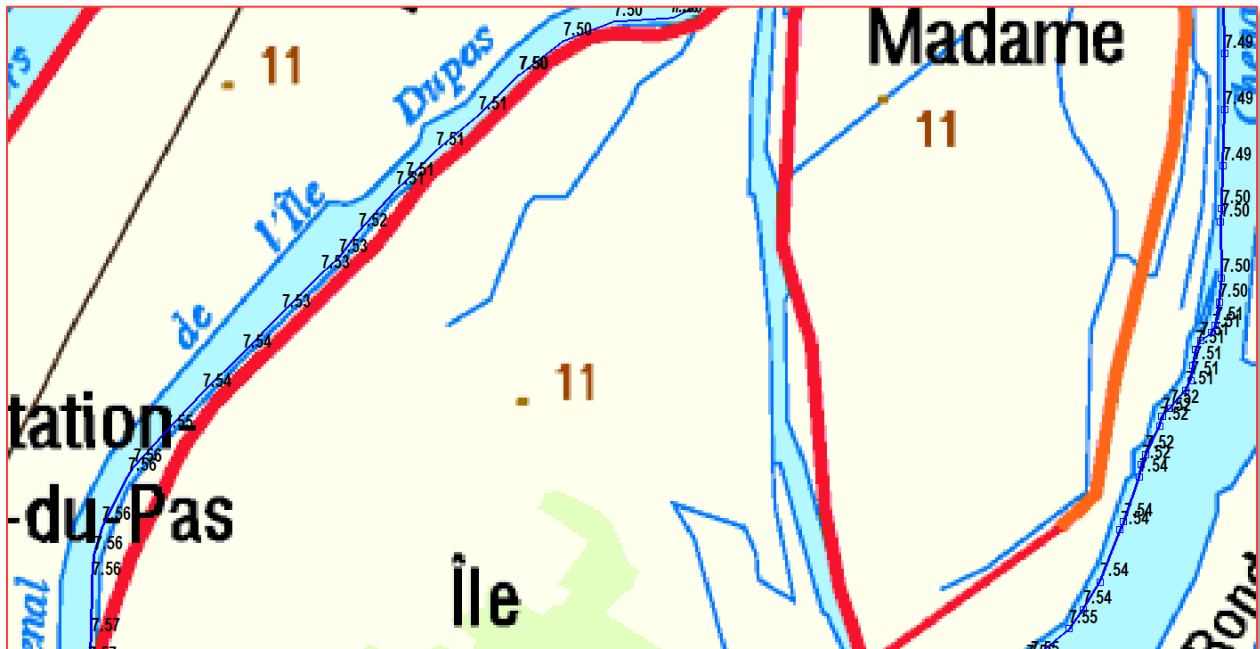
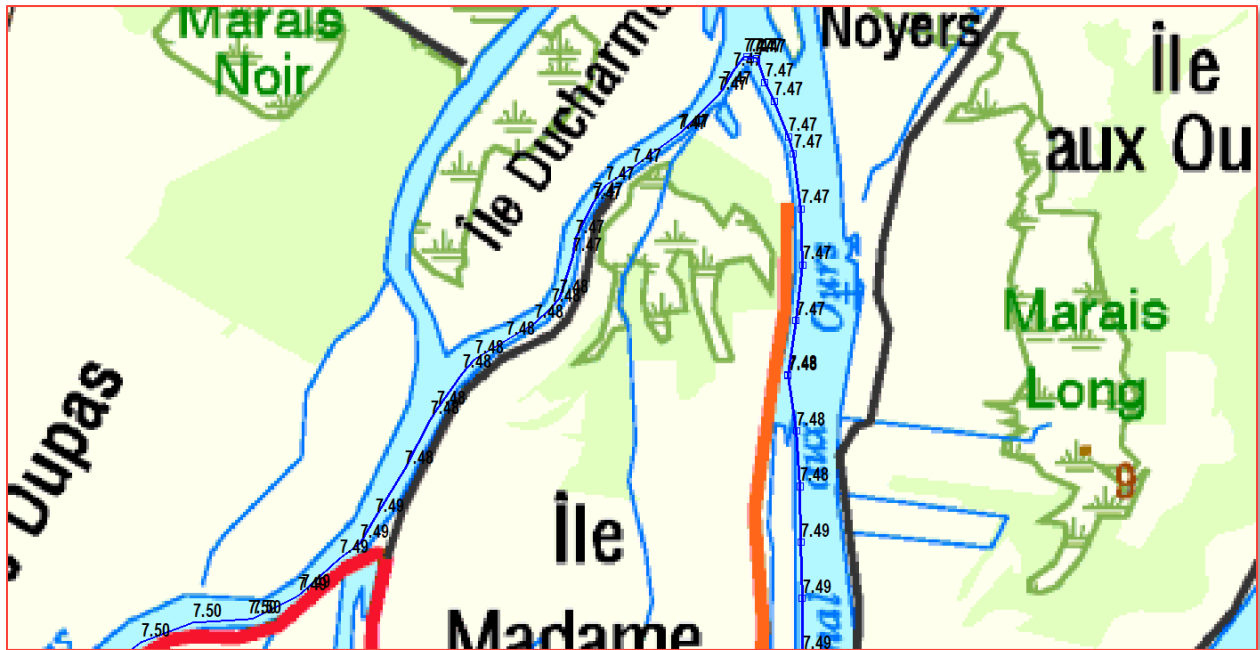


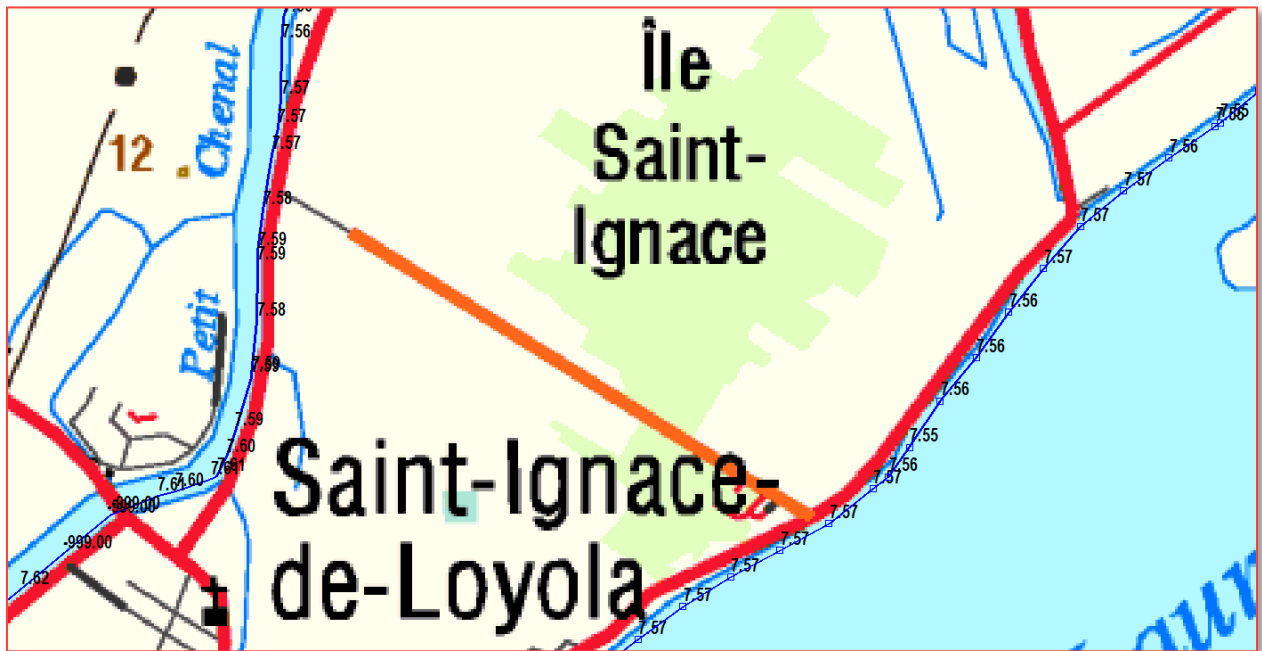
J 14.2 Récurrence de 20 ans





J 14.3 Récurrence de 100 ans







## J 15 Parcours Autray-21 et Autray-22, Île Ronde

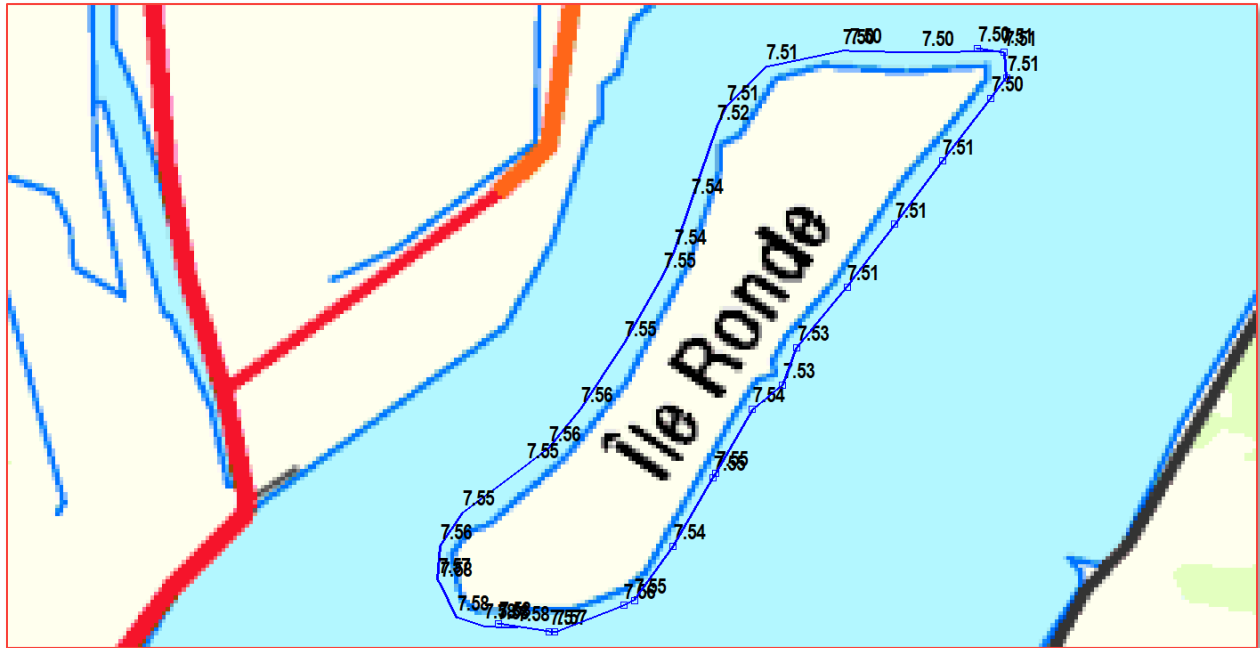
### J 15.1 Récurrence de 2 ans



### J 15.2 Récurrence de 20 ans



J 15.3 Récurrence de 100 ans



## J 16 Parcours Autray-23 à Autray-26, Îles du Sablé et aux Cochons

### J 16.1 Récurrence de 2 ans



### J 16.2 Récurrence de 20 ans



J 16.3 Récurrence de 100 ans

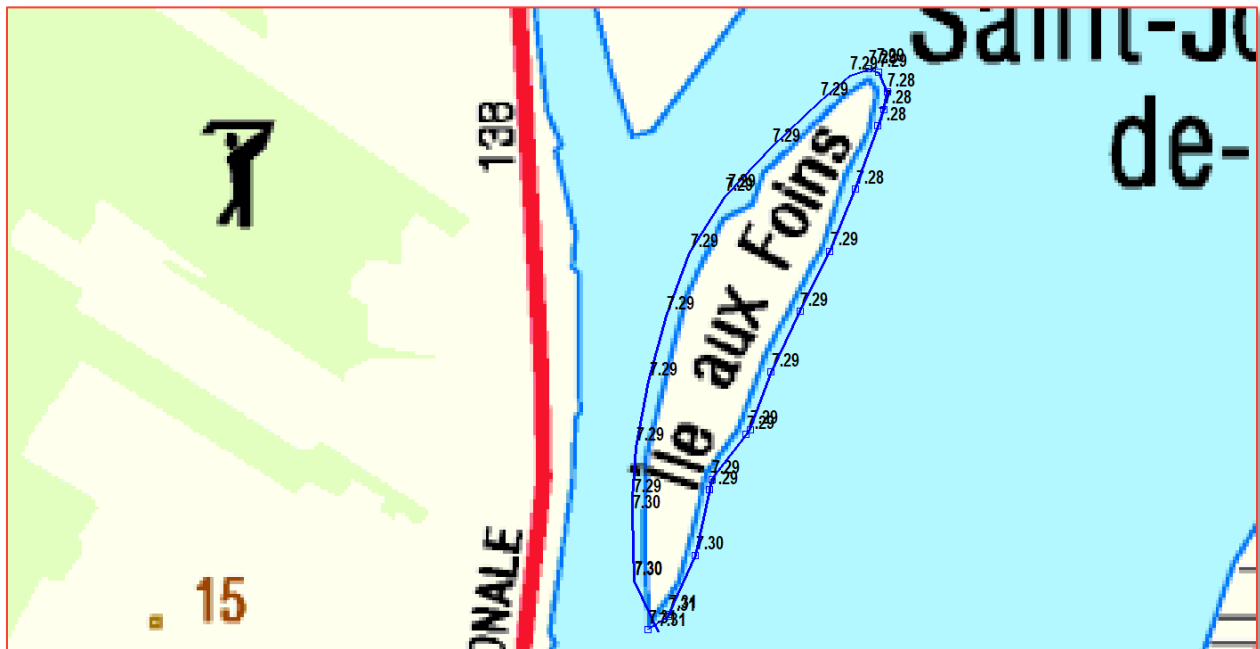


## J 17 Parcours Autray-27 et Autray-28, Île Aux Foins

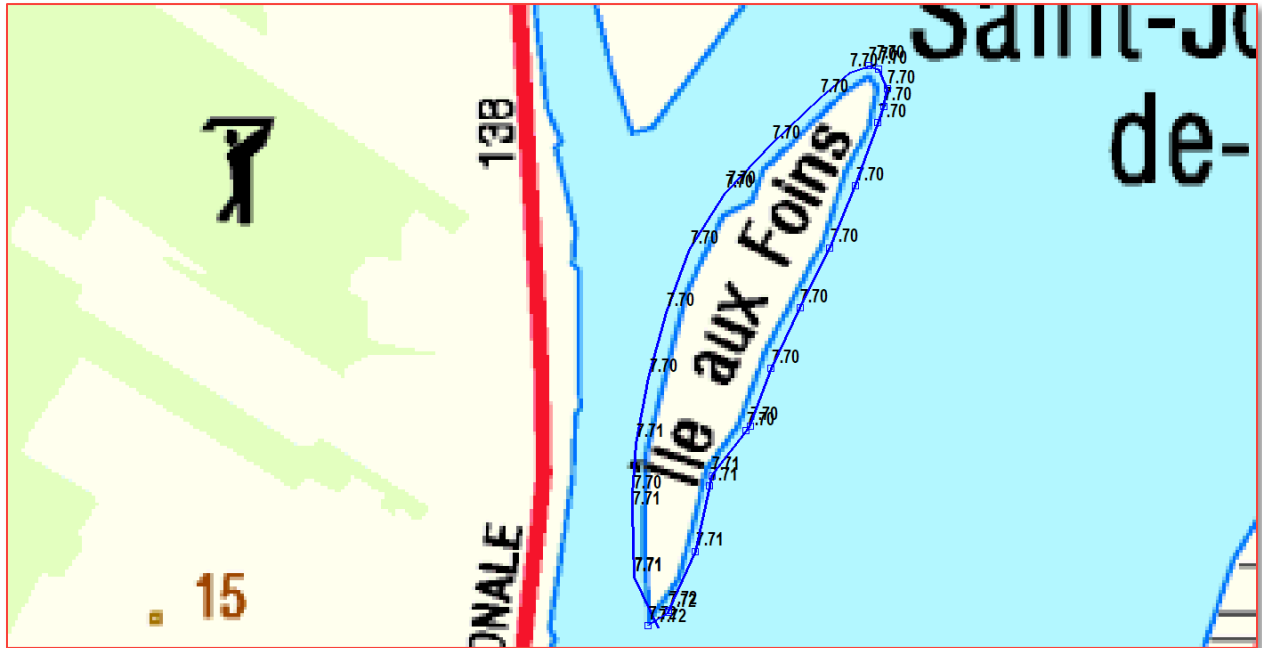
### J 17.1 Récurrence de 2 ans



### J 17.2 Récurrence de 20 ans



J 17.3 Récurrence de 100 ans



## J 18 Parcours Autray-29 et Autray-30, Île Hervieux

### J 18.1 Récurrence de 2 ans



### J 18.2 Récurrence de 20 ans



### J 18.3 Récurrence de 100 ans





## J 19 Parcours Autray-31 et Autray-32, Ile Mousseau

### J 19.1 Récurrence de 2 ans



### J 19.2 Récurrence de 20 ans



J 19.3 Récurrence de 100 ans



## J 20 Tableaux des cotes

### J 20.1 Cotes pour le parcours Autray-01

Parcours Autray- 01	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	345485	5116307	5.97	6.94	7.41
Point0002	345379	5116137	5.97	6.94	7.41
Point0003	345266	5115973	5.97	6.94	7.41
Point0004	345141	5115817	5.97	6.94	7.41
Point0005	345001	5115674	5.97	6.94	7.41
Point0006	344857	5115536	5.98	6.94	7.41
Point0007	344706	5115404	5.98	6.94	7.41
Point0008	344586	5115244	5.98	6.94	7.41
Point0009	344510	5115060	5.98	6.94	7.41
Point0010	344420	5114882	5.98	6.94	7.41
Point0011	344320	5114708	5.98	6.95	7.41
Point0012	344218	5114537	5.98	6.95	7.41
Point0013	344133	5114355	5.98	6.95	7.41
Point0014	344029	5114186	5.99	6.95	7.41
Point0015	343867	5114088	5.98	6.95	7.41
Point0016	343671	5114068	5.99	6.95	7.41
Point0017	343474	5114100	5.99	6.95	7.41
Point0018	343278	5114143	5.99	6.95	7.41
Point0019	343079	5114126	5.99	6.95	7.41
Point0020	342915	5114098	5.99	6.95	7.41
Point0021	342885	5114084	5.99	6.95	7.41
Point0022	342703	5114001	5.99	6.96	7.41
Point0023	342529	5113902	6.00	6.96	7.41
Point0024	342354	5113806	6.00	6.96	7.42
Point0025	342169	5113729	6.00	6.96	7.42
Point0026	342009	5113610	6.01	6.96	7.42
Point0027	341836	5113515	6.01	6.96	7.42
Point0028	341646	5113452	6.01	6.97	7.42
Point0029	341451	5113409	6.01	6.97	7.42
Point0030	341255	5113371	6.02	6.97	7.42
Point0031	341056	5113346	6.02	6.97	7.43
Point0032	340860	5113312	6.02	6.97	7.43
Point0033	340667	5113259	6.02	6.98	7.43
Point0034	340482	5113185	6.03	6.98	7.43
Point0035	340302	5113097	6.03	6.98	7.43

Point0036	340142	5112978	6.03	6.98	7.43
Point0037	339981	5112859	6.03	6.98	7.43
Point0038	339807	5112761	6.03	6.99	7.44
Point0039	339623	5112683	6.04	6.99	7.44
Point0040	339436	5112613	6.04	6.99	7.44
Point0041	339250	5112539	6.04	6.99	7.44
Point0042	339065	5112462	6.04	6.99	7.44
Point0043	338879	5112389	6.05	7.00	7.44
Point0044	338690	5112326	6.05	7.00	7.44
Point0045	338498	5112269	6.05	7.00	7.44
Point0046	338301	5112261	6.05	7.00	7.45
Point0047	338102	5112279	6.05	7.00	7.45
Point0048	337933	5112242	6.06	7.00	7.45
Point0049	337910	5112234	6.06	7.00	7.45
Point0050	337722	5112166	6.06	7.00	7.45
Point0051	337539	5112085	6.06	7.01	7.45
Point0052	337360	5111996	6.06	7.01	7.45
Point0053	337184	5111902	6.06	7.01	7.45
Point0054	337009	5111805	6.07	7.01	7.45
Point0055	336835	5111706	6.07	7.01	7.45
Point0056	336658	5111613	6.07	7.01	7.45
Point0057	336478	5111527	6.07	7.01	7.45
Point0058	336298	5111440	6.07	7.02	7.46
Point0059	336118	5111351	6.07	7.02	7.46
Point0060	335942	5111258	6.08	7.02	7.46
Point0061	335770	5111156	6.08	7.02	7.46
Point0062	335601	5111048	6.08	7.02	7.46
Point0063	335435	5110937	6.09	7.03	7.46
Point0064	335281	5110809	6.09	7.03	7.46
Point0065	335133	5110676	6.09	7.02	7.46
Point0066	334989	5110537	6.10	7.03	7.47
Point0067	334853	5110390	6.10	7.03	7.47
Point0068	334723	5110239	6.10	7.04	7.47
Point0069	334626	5110064	6.10	7.04	7.47
Point0070	334571	5109921	6.10	7.04	7.47
Point0071	334553	5109879	6.11	7.04	7.48
Point0072	334472	5109695	6.11	7.05	7.48
Point0073	334375	5109521	6.12	7.05	7.48
Point0074	334285	5109342	6.12	7.06	7.49
Point0075	334225	5109245	6.13	7.06	7.49

Point0076	334171	5109178	6.13	7.06	7.49
Point0077	334026	5109042	6.13	7.06	7.49
Point0078	333865	5108924	6.14	7.06	7.49
Point0079	333697	5108816	6.14	7.07	7.49
Point0080	333527	5108710	6.14	7.07	7.50
Point0081	333356	5108607	6.15	7.08	7.50
Point0082	333183	5108507	6.15	7.08	7.50
Point0083	333007	5108410	6.16	7.08	7.51
Point0084	332832	5108315	6.16	7.09	7.51
Point0085	332646	5108240	6.17	7.09	7.51
Point0086	332473	5108142	6.17	7.09	7.51
Point0087	332306	5108031	6.18	7.10	7.52
Point0088	332152	5107905	6.18	7.10	7.52
Point0089	332011	5107763	6.18	7.10	7.52
Point0090	331866	5107625	6.19	7.10	7.52
Point0091	331717	5107493	6.19	7.11	7.52
Point0092	331597	5107333	6.19	7.11	7.53
Point0093	331510	5107153	6.20	7.11	7.53
Point0094	331440	5106965	6.20	7.12	7.53
Point0095	331373	5106777	6.20	7.12	7.53
Point0096	331306	5106591	6.21	7.12	7.53
Point0097	331305	5106589	6.21	7.12	7.53
Point0098	331252	5106396	6.21	7.13	7.54
Point0099	331196	5106204	6.21	7.13	7.54
Point0100	331136	5106013	6.22	7.14	7.55
Point0101	331060	5105829	6.23	7.14	7.56
Point0102	330965	5105654	6.24	7.15	7.57
Point0103	330821	5105525	6.24	7.16	7.58
Point0104	330673	5105461	6.25	7.17	7.58
Point0105	330648	5105431	6.25	7.17	7.58
Point0106	330521	5105277	6.25	7.17	7.58
Point0107	330395	5105122	6.26	7.17	7.59
Point0108	330274	5104963	6.26	7.18	7.60
Point0109	330165	5104795	6.26	7.18	7.60
Point0110	330055	5104628	6.27	7.19	7.60
Point0111	329958	5104455	6.27	7.19	7.61
Point0112	329892	5104266	6.27	7.19	7.61
Point0113	329816	5104082	6.28	7.20	7.61
Point0114	329773	5103888	6.29	7.20	7.62
Point0115	329740	5103690	6.28	7.20	7.62
Point0116	329698	5103495	6.30	7.21	7.63

Point0117	329674	5103296	6.30	7.21	7.63
Point0118	329660	5103097	6.31	7.23	7.65
Point0119	329620	5102982	6.31	7.23	7.65
Point0120	329602	5102906	6.32	7.23	7.65
Point0121	329558	5102711	6.32	7.24	7.65
Point0122	329514	5102516	6.33	7.24	7.66
Point0123	329459	5102324	6.33	7.24	7.66
Point0124	329436	5102126	6.33	7.25	7.66
Point0125	329440	5101926	6.34	7.26	7.67
Point0126	329461	5101727	6.34	7.26	7.68
Point0127	329487	5101529	6.35	7.27	7.68
Point0128	329518	5101331	6.36	7.28	7.69
Point0129	329560	5101136	6.36	7.28	7.70
Point0130	329604	5100941	6.37	7.29	7.70
Point0131	329647	5100746	6.38	7.29	7.70
Point0132	329678	5100548	6.38	7.29	7.70
Point0133	329690	5100349	6.37	7.28	7.69
Point0134	329690	5100149	6.38	7.29	7.70
Point0135	329682	5099949	6.38	7.29	7.71
Point0136	329670	5099750	6.38	7.29	7.71
Point0137	329645	5099551	6.38	7.30	7.71
Point0138	329622	5099352	6.39	7.30	7.71
Point0139	329588	5099155	6.39	7.30	7.71
Point0140	329549	5098959	6.39	7.31	7.72
Point0141	329504	5098764	6.39	7.30	7.71
Point0142	329463	5098569	6.37	7.28	7.69
Point0145	329369	5097978	6.40	7.31	7.72
Point0146	329347	5097779	6.40	7.31	7.72
Point0147	329309	5097583	6.39	7.30	7.71
Point0148	329246	5097394	6.41	7.32	7.73
Point0149	329235	5097230	6.41	7.32	7.73
Point0150	329234	5097196	6.41	7.32	7.73
Point0151	329224	5096997	6.41	7.32	7.73
Point0152	329184	5096801	6.41	7.32	7.73
Point0153	329150	5096604	6.41	7.32	7.73
Point0154	329123	5096406	6.41	7.32	7.72
Point0155	329096	5096208	6.41	7.32	7.73
Point0156	329068	5096010	6.40	7.31	7.72
Point0157	329040	5095812	6.42	7.33	7.74
Point0158	329011	5095614	6.42	7.32	7.73

Point0159	328974	5095417	6.42	7.33	7.73
Point0160	328935	5095221	6.42	7.33	7.74
Point0161	328894	5095025	6.42	7.33	7.73
Point0162	328851	5094830	6.42	7.32	7.72
Point0163	328801	5094636	6.43	7.33	7.73
Point0164	328750	5094443	6.42	7.33	7.73
Point0165	328694	5094251	6.44	7.34	7.74
Point0166	328637	5094059	6.43	7.33	7.73
Point0167	328580	5093868	6.42	7.33	7.73
Point0168	328520	5093677	6.42	7.32	7.72
Point0169	328459	5093486	6.45	7.36	7.76
Point0170	328391	5093299	6.44	7.34	7.75
Point0171	328301	5093120	6.45	7.36	7.76
Point0172	328210	5092942	6.47	7.38	7.78
Point0173	328117	5092765	6.47	7.38	7.78
Point0174	328022	5092589	6.46	7.37	7.77
Point0175	327928	5092413	6.48	7.39	7.79
Point0176	327821	5092244	6.47	7.37	7.77
Point0177	327698	5092087	6.47	7.38	7.78
Point0178	327573	5091931	6.50	7.41	7.81
Point0179	327430	5091791	6.50	7.41	7.82
Point0180	327289	5091649	6.51	7.43	7.83
Point0181	327165	5091492	6.51	7.42	7.82
Point0182	327057	5091325	6.51	7.42	7.82
Point0183	326957	5091151	6.48	7.38	7.78
Point0184	326838	5090991	6.52	7.44	7.84
Point0185	326702	5090846	6.53	7.45	7.86
Point0186	326565	5090703	6.55	7.47	7.87
Point0187	326466	5090529	6.55	7.47	7.87
Point0188	326359	5090360	6.54	7.45	7.86
Point0189	326252	5090191	6.55	7.46	7.87
Point0190	326163	5090012	6.56	7.48	7.88
Point0191	326073	5089834	6.55	7.47	7.87
Point0192	325986	5089654	6.56	7.48	7.89
Point0193	325903	5089472	6.57	7.48	7.89
Point0194	325827	5089287	6.58	7.49	7.90
Point0195	325757	5089100	6.55	7.47	7.87
Point0196	325687	5088912	6.57	7.48	7.88
Point0197	325596	5088735	6.57	7.49	7.89
Point0198	325492	5088564	6.59	7.51	7.91
Point0199	325359	5088415	6.60	7.52	7.92

Point0200	325225	5088266	6.61	7.53	7.93
Point0201	325109	5088103	6.61	7.53	7.93
Point0202	325011	5087930	6.61	7.53	7.93
Point0203	324925	5087749	6.62	7.53	7.94
Point0204	324841	5087568	6.62	7.54	7.94
Point0205	324763	5087384	6.62	7.54	7.94
Point0206	324684	5087200	6.62	7.54	7.94
Point0207	324606	5087016	6.62	7.54	7.94
Point0208	324528	5086832	6.63	7.55	7.95
Point0209	324452	5086647	6.63	7.55	7.95
Point0210	324376	5086462	6.63	7.55	7.95
Point0211	324300	5086277	6.64	7.55	7.95
Point0212	324223	5086092	6.64	7.55	7.95
Point0213	324140	5085910	6.65	7.56	7.96
Point0214	324055	5085729	6.65	7.56	7.96
Point0215	323970	5085548	6.65	7.56	7.96
Point0216	323886	5085367	6.66	7.57	7.96
Point0217	323797	5085187	6.66	7.57	7.96
Point0218	323698	5085014	6.67	7.58	7.97
Point0219	323599	5084840	6.67	7.58	7.97
Point0220	323501	5084665	6.67	7.58	7.97
Point0221	323415	5084485	6.67	7.58	7.97
Point0222	323328	5084305	6.67	7.58	7.98
Point0223	323227	5084132	6.68	7.59	7.98
Point0224	323125	5083960	6.68	7.59	7.98
Point0225	323027	5083786	6.68	7.59	7.98
Point0226	322943	5083605	6.69	7.59	7.98
Point0227	322869	5083419	6.69	7.59	7.98
Point0228	322803	5083230	6.69	7.60	7.99
Point0229	322738	5083041	6.69	7.59	7.98
Point0230	322663	5082856	6.70	7.60	7.99
Point0231	322552	5082692	6.70	7.60	7.99
Point0232	322421	5082541	6.71	7.62	8.01
Point0233	322282	5082397	6.72	7.62	8.01
Point0234	322153	5082246	6.73	7.63	8.02
Point0235	322069	5082065	6.73	7.63	8.02
Point0236	321985	5081884	6.73	7.63	8.02
Point0237	321897	5081704	6.73	7.63	8.02
Point0238	321804	5081527	6.73	7.63	8.02
Point0239	321705	5081353	6.74	7.64	8.02



Point0240	321601	5081182	6.73	7.63	8.02
Point0241	321493	5081014	6.73	7.63	8.02
Point0242	321373	5080855	6.74	7.64	8.02
Point0243	321246	5080700	6.74	7.64	8.02
Point0244	321119	5080545	6.75	7.64	8.03
Point0245	320987	5080395	6.74	7.64	8.02
Point0246	320854	5080246	6.75	7.65	8.03
Point0247	320721	5080096	6.76	7.66	8.04
Point0248	320588	5079947	6.76	7.66	8.04
Point0249	320461	5079793	6.77	7.66	8.04
Point0250	320333	5079639	6.77	7.67	8.05
Point0251	320203	5079487	6.77	7.67	8.05
Point0252	320066	5079341	6.78	7.68	8.06
Point0253	319929	5079195	6.78	7.68	8.06
Point0254	319792	5079050	6.79	7.68	8.06
Point0255	319663	5078898	6.79	7.69	8.07
Point0256	319546	5078735	6.79	7.68	8.06
Point0257	319429	5078573	6.80	7.69	8.07
Point0258	319313	5078411	6.80	7.69	8.07
Point0259	319196	5078248	6.80	7.69	8.07
Point0260	319080	5078085	6.80	7.69	8.07
Point0261	318966	5077921	6.81	7.70	8.07
Point0262	318852	5077756	6.81	7.70	8.08
Point0263	318735	5077595	6.81	7.70	8.07
Point0264	318612	5077436	6.81	7.70	8.07
Point0265	318490	5077278	6.82	7.70	8.08
Point0266	318327	5077163	6.82	7.71	8.08
Point0267	318163	5077048	6.82	7.71	8.08
Point0268	317996	5076939	6.83	7.72	8.09
Point0269	317812	5076862	6.82	7.71	8.08
Point0270	317627	5076784	6.83	7.72	8.09
Point0271	317479	5076723	6.84	7.72	8.09

## J 20.2 Cotes pour le parcours Autray-02

Parcours Autray- 02	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	343488	5113957	5.99	6.95	7.41
Point0002	343290	5113989	5.99	6.95	7.41
Point0003	343091	5114005	5.99	6.95	7.41
Point0004	342893	5113995	5.99	6.95	7.41
Point0005	342699	5113946	5.99	6.95	7.41
Point0006	342537	5113861	6.00	6.96	7.42
Point0007	342524	5113851	6.00	6.96	7.42
Point0008	342366	5113728	6.00	6.96	7.42
Point0009	342210	5113603	6.01	6.96	7.42
Point0010	342056	5113475	6.01	6.96	7.42
Point0011	341871	5113401	6.01	6.97	7.42
Point0012	341680	5113341	6.01	6.97	7.42
Point0013	341489	5113282	6.02	6.97	7.42
Point0014	341297	5113226	6.02	6.97	7.42
Point0015	341105	5113172	6.02	6.98	7.43
Point0016	340912	5113119	6.02	6.97	7.43
Point0017	340721	5113060	6.02	6.98	7.43
Point0018	340530	5113002	6.03	6.98	7.43
Point0019	340343	5112933	6.03	6.98	7.43
Point0020	340165	5112840	6.03	6.98	7.43
Point0021	339996	5112734	6.03	6.99	7.44
Point0022	339889	5112578	6.04	6.99	7.44
Point0023	339886	5112570	6.04	6.99	7.44

## J 20.3 Cotes pour le parcours Autray-03

Parcours Autray- 03	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	343502	5113911	5.99	6.95	7.41
Point0002	343537	5113820	5.99	6.95	7.41
Point0003	343518	5113720	5.99	6.95	7.41
Point0004	343460	5113544	5.99	6.96	7.41
Point0005	343449	5113534	5.99	6.95	7.41
Point0006	343306	5113395	5.99	6.96	7.41
Point0007	343158	5113260	5.99	6.95	7.41
Point0008	343001	5113137	6.00	6.96	7.41
Point0009	342845	5113012	6.00	6.96	7.42
Point0010	342689	5112887	6.00	6.96	7.42
Point0011	342546	5112750	6.00	6.96	7.42
Point0012	342429	5112587	6.01	6.96	7.42
Point0013	342302	5112433	6.01	6.96	7.42
Point0014	342161	5112292	6.01	6.97	7.42
Point0015	341995	5112180	6.01	6.97	7.42
Point0016	341817	5112090	6.01	6.97	7.42
Point0017	341627	5112031	6.01	6.97	7.42
Point0018	341431	5111996	6.02	6.97	7.43
Point0019	341231	5111991	6.02	6.98	7.43
Point0020	341031	5111986	6.02	6.98	7.43
Point0021	340831	5111993	6.02	6.98	7.43
Point0022	340632	5112014	6.03	6.98	7.43
Point0023	340441	5112070	6.03	6.98	7.43
Point0024	340274	5112171	6.03	6.98	7.43
Point0025	340130	5112310	6.03	6.99	7.44
Point0026	339989	5112451	6.03	6.99	7.44
Point0027	339899	5112562	6.04	6.99	7.44

## J 20.4 Cotes pour le parcours Autray-04

Parcours Autray- 04	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	344452	5113737	5.99	6.95	7.41
Point0002	344360	5113744	5.99	6.95	7.41
Point0003	344259	5113708	5.99	6.95	7.41
Point0004	344094	5113596	5.99	6.95	7.41
Point0005	343934	5113476	5.99	6.95	7.41
Point0006	343774	5113356	5.99	6.95	7.41
Point0007	343626	5113222	5.99	6.96	7.42
Point0008	343491	5113075	6.00	6.96	7.42
Point0009	343356	5112927	6.00	6.96	7.42
Point0010	343222	5112779	6.00	6.96	7.42
Point0011	343087	5112631	6.00	6.96	7.42
Point0012	342947	5112488	6.00	6.96	7.42
Point0013	342804	5112349	6.01	6.97	7.42
Point0014	342661	5112209	6.01	6.97	7.42
Point0015	342518	5112070	6.01	6.97	7.42
Point0016	342359	5111949	6.01	6.97	7.43
Point0017	342192	5111839	6.01	6.97	7.43
Point0018	342018	5111740	6.02	6.97	7.43
Point0019	341843	5111644	6.02	6.97	7.43
Point0020	341657	5111570	6.02	6.97	7.43
Point0021	341471	5111496	6.02	6.98	7.43
Point0022	341287	5111418	6.02	6.98	7.43
Point0023	341107	5111332	6.02	6.98	7.43
Point0024	340926	5111245	6.03	6.98	7.43
Point0025	340750	5111152	6.03	6.98	7.43
Point0026	340577	5111051	6.03	6.98	7.43
Point0027	340404	5110951	6.03	6.99	7.44
Point0028	340243	5110834	6.04	6.99	7.44
Point0029	340096	5110700	6.04	6.99	7.44
Point0030	339988	5110532	6.04	6.99	7.44
Point0031	339929	5110341	6.05	7.00	7.45
Point0032	339884	5110146	6.05	7.00	7.45
Point0033	339882	5109950	6.06	7.01	7.46
Point0034	339882	5109946	6.06	7.01	7.46
Point0035	339901	5109748	6.07	7.01	7.46
Point0036	339998	5109579	6.07	7.02	7.46

Point0037	340128	5109427	6.08	7.02	7.47
Point0038	340244	5109264	6.08	7.03	7.47
Point0039	340324	5109084	6.09	7.03	7.47
Point0040	340376	5108891	6.10	7.04	7.48
Point0041	340429	5108698	6.10	7.04	7.48
Point0042	340483	5108595	6.11	7.05	7.49

## J 20.5 Cotes pour le parcours Autray-05

Parcours Autray- 05	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	344475	5113732	5.99	6.95	7.41
Point0002	344501	5113671	5.99	6.95	7.41
Point0003	344466	5113584	5.99	6.95	7.41
Point0004	344434	5113560	5.99	6.95	7.41
Point0005	344285	5113428	5.99	6.95	7.41
Point0006	344157	5113274	5.99	6.95	7.41
Point0007	344040	5113114	5.99	6.95	7.41
Point0008	344006	5112967	5.99	6.95	7.41
Point0009	343999	5112919	5.99	6.95	7.41
Point0010	343922	5112739	5.99	6.95	7.41
Point0011	343784	5112596	5.99	6.95	7.41
Point0012	343719	5112498	5.99	6.96	7.41
Point0013	343706	5112418	5.99	6.96	7.41
Point0014	343606	5112350	5.99	6.96	7.41
Point0015	343536	5112344	5.99	6.96	7.41
Point0016	343341	5112307	5.99	6.96	7.42
Point0017	343345	5112150	6.00	6.96	7.42
Point0018	343345	5112150	6.00	6.96	7.42
Point0019	343474	5111997	6.00	6.96	7.41
Point0020	343537	5111828	6.00	6.96	7.42
Point0021	343522	5111816	6.00	6.96	7.42
Point0022	343352	5111802	6.00	6.96	7.42
Point0023	343200	5111922	6.00	6.96	7.42
Point0024	343019	5111944	6.00	6.96	7.42
Point0025	342867	5111898	6.00	6.96	7.42
Point0026	342831	5111880	6.00	6.96	7.42
Point0027	342685	5111749	6.00	6.97	7.42
Point0028	342569	5111587	6.01	6.97	7.42
Point0029	342420	5111471	6.01	6.97	7.42
Point0030	342232	5111402	6.01	6.97	7.42

Point0031	342043	5111337	6.01	6.97	7.43
Point0032	341853	5111275	6.01	6.97	7.43
Point0033	341773	5111194	6.01	6.97	7.43
Point0034	341819	5111130	6.01	6.97	7.43
Point0035	341924	5110959	6.01	6.97	7.43
Point0036	341972	5110803	6.01	6.97	7.43
Point0037	341940	5110788	6.01	6.97	7.43
Point0038	341758	5110704	6.01	6.97	7.43
Point0039	341660	5110620	6.01	6.97	7.43
Point0040	341654	5110551	6.01	6.97	7.43
Point0041	341651	5110438	6.01	6.98	7.43
Point0042	341577	5110391	6.01	6.97	7.43
Point0043	341421	5110269	6.02	6.97	7.43
Point0044	341355	5110099	6.02	6.98	7.43
Point0045	341364	5110090	6.02	6.98	7.43
Point0046	341538	5110090	6.02	6.97	7.43
Point0047	341556	5110092	6.02	6.97	7.43
Point0048	341755	5110101	6.01	6.97	7.43
Point0049	341931	5110028	6.01	6.97	7.43
Point0050	341998	5109847	6.02	6.98	7.43
Point0051	341999	5109846	6.02	6.98	7.43
Point0052	342111	5109751	6.02	6.98	7.43
Point0053	342137	5109770	6.02	6.98	7.43
Point0054	342242	5109934	6.01	6.97	7.43
Point0055	342242	5109935	6.01	6.97	7.43
Point0056	342239	5110132	6.01	6.97	7.43
Point0057	342211	5110324	6.01	6.97	7.43
Point0058	342359	5110379	6.01	6.97	7.43
Point0059	342520	5110368	6.01	6.97	7.42
Point0060	342556	5110379	6.01	6.97	7.42
Point0061	342737	5110461	6.01	6.97	7.42
Point0062	342924	5110517	6.01	6.97	7.42
Point0063	343123	5110534	6.01	6.97	7.42
Point0064	343319	5110567	6.01	6.97	7.42
Point0065	343510	5110627	6.00	6.97	7.42
Point0066	343690	5110712	6.01	6.97	7.42
Point0067	343858	5110760	6.01	6.97	7.42
Point0068	343878	5110746	6.01	6.97	7.42
Point0069	343884	5110742	6.01	6.97	7.42

## J 20.6 Cotes pour le parcours Autray-06

Parcours Autray- 06	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	343892	5110751	6.01	6.97	7.42
Point0002	343899	5110653	6.01	6.97	7.42
Point0003	343866	5110557	6.01	6.97	7.42
Point0004	343774	5110380	6.01	6.97	7.42
Point0005	343667	5110245	6.01	6.97	7.42
Point0006	343645	5110228	6.01	6.97	7.42
Point0007	343486	5110108	6.01	6.97	7.42
Point0008	343336	5109975	6.01	6.97	7.43
Point0009	343196	5109837	6.02	6.98	7.43
Point0010	343193	5109836	6.02	6.98	7.43
Point0011	343038	5109724	6.03	6.98	7.44
Point0012	342895	5109586	6.04	6.99	7.44
Point0013	342739	5109460	6.04	6.99	7.44
Point0014	342575	5109346	6.05	6.99	7.44
Point0015	342409	5109234	6.05	6.99	7.44
Point0016	342234	5109138	6.05	7.00	7.45
Point0017	342057	5109045	6.06	7.00	7.45
Point0018	341866	5108987	6.06	7.01	7.45
Point0019	341674	5108931	6.07	7.01	7.46
Point0020	341480	5108881	6.07	7.01	7.46
Point0021	341286	5108835	6.07	7.02	7.46
Point0022	341090	5108793	6.08	7.02	7.46
Point0023	340897	5108740	6.09	7.03	7.48
Point0024	340718	5108655	6.09	7.03	7.48
Point0025	340559	5108564	6.10	7.04	7.48
Point0026	340544	5108569	6.10	7.04	7.48
Point0027	340474	5108592	6.11	7.05	7.49

## J 20.7 Cotes pour le parcours Autray-07

Parcours Autray- 07	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	344672	5110263	6.00	6.96	7.42
Point0002	344482	5110198	6.00	6.96	7.42
Point0003	344290	5110143	6.00	6.96	7.42
Point0004	344097	5110090	6.01	6.97	7.42
Point0005	343906	5110031	6.01	6.97	7.42
Point0006	343710	5109990	6.01	6.97	7.42
Point0007	343512	5109969	6.01	6.97	7.42
Point0008	343350	5109925	6.02	6.97	7.43
Point0009	343329	5109901	6.02	6.97	7.43
Point0010	343212	5109741	6.03	6.99	7.44
Point0011	343104	5109651	6.03	6.98	7.43
Point0012	343062	5109620	6.03	6.98	7.44
Point0013	342900	5109502	6.04	6.99	7.44
Point0014	342739	5109383	6.04	6.99	7.44
Point0015	342580	5109262	6.05	6.99	7.44
Point0016	342422	5109140	6.05	6.99	7.44
Point0017	342255	5109032	6.05	7.00	7.45
Point0018	342077	5108941	6.06	7.01	7.45
Point0019	341883	5108892	6.06	7.01	7.45
Point0020	341689	5108844	6.06	7.01	7.45
Point0021	341497	5108785	6.07	7.02	7.46
Point0022	341303	5108739	6.08	7.02	7.46
Point0023	341106	5108703	6.08	7.02	7.47
Point0024	340926	5108625	6.09	7.03	7.47
Point0025	340759	5108516	6.09	7.03	7.47
Point0026	340604	5108390	6.10	7.04	7.48
Point0027	340482	5108234	6.10	7.04	7.48
Point0028	340416	5108047	6.11	7.05	7.49
Point0029	340433	5107971	6.12	7.06	7.50



## J 20.8 Cotes pour le parcours Autray-08

Parcours Autray- 08	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	344696	5110235	6.00	6.96	7.42
Point0002	344668	5110144	6.01	6.97	7.42
Point0003	344589	5110076	6.01	6.97	7.42
Point0004	344435	5109948	6.01	6.97	7.42
Point0005	344265	5109846	6.01	6.97	7.43
Point0006	344082	5109766	6.02	6.98	7.43
Point0007	343898	5109687	6.03	6.98	7.44
Point0008	343714	5109609	6.03	6.98	7.44
Point0009	343530	5109532	6.03	6.98	7.43
Point0010	343432	5109406	6.03	6.99	7.44
Point0011	343418	5109373	6.04	6.99	7.44
Point0012	343315	5109211	6.04	6.99	7.44
Point0013	343142	5109111	6.04	6.99	7.44
Point0014	342969	5109011	6.04	6.99	7.44
Point0015	342804	5108897	6.05	7.00	7.45
Point0016	342630	5108799	6.05	7.00	7.45
Point0017	342451	5108711	6.06	7.00	7.45
Point0018	342270	5108626	6.06	7.01	7.45
Point0019	342091	5108540	6.06	7.00	7.45
Point0020	342027	5108373	6.06	7.01	7.45
Point0021	342015	5108359	6.06	7.01	7.45
Point0022	341852	5108246	6.07	7.02	7.46
Point0023	341680	5108144	6.07	7.01	7.46
Point0024	341501	5108055	6.07	7.02	7.46
Point0025	341310	5108000	6.08	7.02	7.46
Point0026	341112	5107982	6.08	7.03	7.47
Point0027	340912	5107985	6.09	7.03	7.47
Point0028	340713	5107964	6.10	7.05	7.49
Point0029	340515	5107948	6.11	7.06	7.50
Point0030	340439	5107987	6.12	7.06	7.50

## J 20.9 Cotes pour le parcours Autray-09

Parcours Autray- 09	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	344276	5109437	6.02	6.98	7.43
Point0002	344110	5109368	6.02	6.98	7.43
Point0003	344094	5109355	6.03	6.98	7.43
Point0004	343954	5109213	6.03	6.98	7.43
Point0005	343846	5109045	6.03	6.98	7.44
Point0006	343755	5108880	6.04	7.00	7.45
Point0007	343746	5108873	6.04	7.00	7.45
Point0008	343636	5108742	6.06	7.01	7.46
Point0009	343641	5108720	6.06	7.01	7.46
Point0010	343732	5108585	6.06	7.01	7.46
Point0011	343758	5108577	6.06	7.01	7.46
Point0012	343801	5108562	6.06	7.01	7.46

## J 20.10 Cotes pour le parcours Autray-10

Parcours Autray- 10	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	344249	5109402	6.02	6.98	7.43
Point0002	344290	5109372	6.02	6.98	7.43
Point0003	344305	5109331	6.02	6.98	7.43
Point0004	344305	5109279	6.02	6.98	7.43
Point0005	344298	5109227	6.02	6.98	7.43
Point0006	344297	5109226	6.02	6.98	7.43
Point0007	344167	5109076	6.02	6.98	7.43
Point0008	344100	5108992	6.02	6.98	7.44
Point0009	344093	5108929	6.02	6.98	7.44
Point0010	344116	5108915	6.02	6.98	7.44
Point0011	344171	5108910	6.02	6.98	7.44
Point0012	344301	5108925	6.02	6.98	7.43
Point0013	344314	5108928	6.02	6.98	7.43
Point0014	344504	5108991	6.02	6.98	7.43
Point0015	344685	5109075	6.02	6.97	7.43
Point0016	344779	5109179	6.02	6.97	7.43
Point0017	344813	5109226	6.02	6.97	7.43
Point0018	344905	5109316	6.01	6.97	7.43
Point0019	344975	5109316	6.01	6.97	7.43
Point0020	345040	5109268	6.01	6.97	7.43
Point0021	345051	5109179	6.01	6.97	7.43
Point0022	345045	5109153	6.01	6.97	7.43
Point0023	344970	5108969	6.02	6.98	7.43
Point0024	344867	5108799	6.02	6.98	7.43
Point0025	344725	5108662	6.03	6.98	7.44
Point0026	344541	5108588	6.03	6.98	7.44
Point0027	344344	5108556	6.04	6.99	7.44
Point0028	344144	5108550	6.04	6.99	7.45
Point0029	343944	5108554	6.05	7.00	7.45
Point0030	343768	5108571	6.06	7.01	7.46

## J 20.11 Cotes pour le parcours Autray-11

Parcours Autray- 11	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	340441	5111950	6.03	6.98	7.43
Point0002	340290	5112082	6.03	6.98	7.43
Point0003	340138	5112212	6.03	6.98	7.43
Point0004	339980	5112333	6.03	6.99	7.44
Point0005	339809	5112428	6.04	6.99	7.44
Point0006	339613	5112466	6.04	6.99	7.44
Point0007	339418	5112424	6.04	6.99	7.44
Point0008	339224	5112375	6.03	6.98	7.43
Point0009	339042	5112292	6.05	7.00	7.44
Point0010	338860	5112209	6.05	7.00	7.44
Point0011	338681	5112120	6.05	7.00	7.45
Point0012	338502	5112031	6.05	7.00	7.45
Point0013	338322	5111945	6.05	7.00	7.45
Point0014	338141	5111858	6.06	7.00	7.45
Point0015	337964	5111767	6.06	7.00	7.45
Point0016	337786	5111675	6.06	7.00	7.45
Point0017	337608	5111583	6.06	7.01	7.45
Point0018	337431	5111491	6.06	7.01	7.45
Point0019	337253	5111399	6.07	7.01	7.45
Point0020	337070	5111321	6.07	7.01	7.45
Point0021	336882	5111252	6.07	7.01	7.45
Point0022	336695	5111181	6.07	7.01	7.45
Point0023	336511	5111102	6.07	7.02	7.45
Point0024	336328	5111022	6.07	7.02	7.45
Point0025	336144	5110942	6.08	7.02	7.46
Point0026	335963	5110858	6.08	7.02	7.46
Point0027	335782	5110773	6.08	7.02	7.46
Point0028	335600	5110689	6.09	7.02	7.46
Point0029	335433	5110582	6.09	7.03	7.46
Point0030	335275	5110460	6.09	7.03	7.46
Point0031	335121	5110332	6.09	7.03	7.46
Point0032	334973	5110197	6.10	7.03	7.47
Point0033	334840	5110050	6.10	7.04	7.47
Point0034	334741	5109878	6.11	7.04	7.47
Point0035	334679	5109688	6.10	7.04	7.47
Point0036	334617	5109498	6.12	7.05	7.48

Point0037	334554	5109308	6.12	7.05	7.48
Point0038	334498	5109116	6.13	7.06	7.49
Point0039	334448	5108922	6.13	7.06	7.49
Point0040	334391	5108731	6.13	7.07	7.49
Point0041	334321	5108544	6.14	7.07	7.50
Point0042	334263	5108354	6.14	7.07	7.50
Point0043	334240	5108155	6.15	7.08	7.50
Point0044	334177	5107967	6.15	7.08	7.51
Point0045	334094	5107785	6.16	7.09	7.51
Point0046	333976	5107624	6.16	7.09	7.51
Point0047	333858	5107463	6.16	7.09	7.51
Point0048	333728	5107311	6.17	7.09	7.52
Point0049	333600	5107157	6.17	7.09	7.51
Point0050	333484	5106995	6.17	7.10	7.52
Point0051	333368	5106831	6.18	7.10	7.52
Point0052	333253	5106668	6.18	7.11	7.53
Point0053	333137	5106505	6.19	7.11	7.53
Point0054	333011	5106349	6.19	7.11	7.53
Point0055	332886	5106194	6.20	7.12	7.54
Point0056	332752	5106046	6.20	7.12	7.54
Point0057	332598	5105919	6.20	7.12	7.54
Point0058	332448	5105786	6.20	7.12	7.54
Point0059	332308	5105645	6.22	7.14	7.56
Point0060	332194	5105481	6.23	7.15	7.57
Point0061	332067	5105326	6.23	7.16	7.58
Point0062	331936	5105176	6.24	7.17	7.59
Point0063	331803	5105026	6.24	7.17	7.59
Point0064	331708	5104850	6.25	7.17	7.59
Point0065	331647	5104661	6.25	7.18	7.60
Point0066	331609	5104465	6.26	7.18	7.60
Point0067	331594	5104266	6.26	7.19	7.61
Point0068	331578	5104067	6.27	7.19	7.61
Point0069	331563	5103867	6.28	7.20	7.62
Point0070	331529	5103670	6.28	7.21	7.63
Point0071	331486	5103475	6.28	7.21	7.63
Point0072	331439	5103281	6.29	7.22	7.63
Point0073	331410	5103083	6.30	7.23	7.65
Point0074	331415	5102883	6.31	7.24	7.66
Point0075	331432	5102747	6.32	7.25	7.67
Point0076	331428	5102685	6.32	7.25	7.67
Point0077	331414	5102503	6.34	7.27	7.68

Point0078	331415	5102486	6.34	7.27	7.68
Point0079	331462	5102318	6.34	7.27	7.69
Point0080	331478	5102300	6.34	7.27	7.69
Point0081	331503	5102273	6.35	7.27	7.69

## J 20.12 Cotes pour le parcours Autray-12

Parcours Autray- 12	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	340406	5111970	6.03	6.98	7.43
Point0002	340485	5111891	6.03	6.98	7.43
Point0003	340522	5111811	6.03	6.98	7.43
Point0004	340507	5111722	6.03	6.98	7.43
Point0005	340415	5111678	6.03	6.98	7.43
Point0006	340236	5111589	6.03	6.98	7.43
Point0007	340063	5111489	6.03	6.99	7.44
Point0008	339894	5111382	6.04	6.99	7.44
Point0009	339729	5111268	6.04	6.99	7.44
Point0010	339566	5111153	6.04	6.99	7.44
Point0011	339411	5111027	6.04	7.00	7.44
Point0012	339262	5110893	6.05	7.00	7.45
Point0013	339104	5110771	6.05	7.00	7.45
Point0014	338921	5110693	6.05	7.00	7.45
Point0015	338735	5110619	6.05	7.00	7.45
Point0016	338548	5110547	6.06	7.00	7.45
Point0017	338360	5110479	6.06	7.01	7.45
Point0018	338172	5110412	6.06	7.01	7.45
Point0019	337986	5110339	6.06	7.01	7.45
Point0020	337826	5110232	6.06	7.01	7.46
Point0021	337745	5110054	6.07	7.01	7.46
Point0022	337608	5109911	6.07	7.02	7.46
Point0023	337428	5109827	6.07	7.02	7.46
Point0024	337260	5109723	6.08	7.02	7.46
Point0025	337097	5109606	6.08	7.02	7.46
Point0026	336932	5109502	6.08	7.02	7.46
Point0027	336929	5109498	6.08	7.02	7.46
Point0028	336800	5109345	6.08	7.02	7.46
Point0029	336672	5109192	6.09	7.03	7.47
Point0030	336555	5109063	6.09	7.03	7.47
Point0031	336539	5109042	6.09	7.03	7.47

Point0032	336423	5108880	6.10	7.03	7.47
Point0033	336328	5108704	6.10	7.04	7.47
Point0034	336265	5108516	6.11	7.04	7.47
Point0035	336252	5108327	6.11	7.04	7.48
Point0036	336257	5108319	6.11	7.04	7.48
Point0037	336347	5108158	6.12	7.05	7.48
Point0038	336350	5108144	6.12	7.05	7.48
Point0039	336350	5107978	6.12	7.05	7.48
Point0040	336342	5107946	6.12	7.05	7.48
Point0041	336280	5107772	6.12	7.05	7.48
Point0042	336274	5107759	6.12	7.05	7.48
Point0043	336187	5107579	6.13	7.05	7.48
Point0044	336111	5107425	6.13	7.06	7.49
Point0045	336090	5107406	6.14	7.06	7.49
Point0046	335946	5107267	6.14	7.06	7.49
Point0047	335867	5107196	6.14	7.07	7.49
Point0048	335787	5107147	6.15	7.07	7.49
Point0049	335705	5107141	6.15	7.07	7.50
Point0050	335602	5107156	6.16	7.08	7.50
Point0051	335589	5107156	6.16	7.07	7.50
Point0052	335396	5107114	6.16	7.08	7.50
Point0053	335278	5107042	6.17	7.08	7.50
Point0054	335233	5107000	6.17	7.08	7.50
Point0055	335092	5106859	6.17	7.09	7.51
Point0056	334966	5106740	6.18	7.09	7.51
Point0057	334941	5106731	6.18	7.09	7.51
Point0058	334844	5106645	6.18	7.09	7.51
Point0059	334803	5106597	6.18	7.09	7.51
Point0060	334662	5106455	6.19	7.10	7.52
Point0061	334583	5106409	6.19	7.10	7.52
Point0062	334516	5106416	6.20	7.11	7.53
Point0063	334491	5106384	6.20	7.11	7.53
Point0064	334364	5106230	6.20	7.11	7.53
Point0065	334231	5106080	6.20	7.12	7.53
Point0066	334099	5105930	6.21	7.12	7.54
Point0067	333966	5105780	6.21	7.13	7.54
Point0068	333836	5105629	6.23	7.14	7.56
Point0069	333749	5105523	6.23	7.14	7.56
Point0070	333716	5105469	6.23	7.14	7.56
Point0071	333625	5105291	6.23	7.15	7.56
Point0072	333594	5105175	6.23	7.15	7.56

Point0073	333584	5105096	6.24	7.15	7.56
Point0074	333576	5104897	6.24	7.15	7.57
Point0075	333571	5104709	6.25	7.16	7.57
Point0076	333567	5104697	6.25	7.16	7.57
Point0077	333526	5104504	6.26	7.17	7.59
Point0078	333526	5104502	6.26	7.17	7.59
Point0079	333525	5104302	6.26	7.17	7.59
Point0080	333523	5104102	6.26	7.17	7.58
Point0081	333508	5103954	6.26	7.17	7.59
Point0082	333498	5103904	6.26	7.18	7.59
Point0083	333461	5103778	6.26	7.18	7.59
Point0084	333436	5103714	6.26	7.18	7.59
Point0085	333394	5103641	6.27	7.18	7.60
Point0086	333337	5103585	6.27	7.18	7.60
Point0087	333305	5103569	6.27	7.19	7.60
Point0088	333181	5103542	6.27	7.19	7.60
Point0089	333110	5103529	6.27	7.19	7.60
Point0090	333006	5103485	6.28	7.19	7.61
Point0091	332939	5103435	6.27	7.19	7.60
Point0092	332937	5103433	6.27	7.19	7.60
Point0093	332782	5103307	6.28	7.20	7.61
Point0094	332632	5103174	6.29	7.20	7.62
Point0095	332479	5103046	6.30	7.22	7.63
Point0096	332349	5102895	6.31	7.23	7.65
Point0097	332225	5102738	6.32	7.24	7.66
Point0098	332106	5102577	6.33	7.26	7.67
Point0099	332028	5102487	6.33	7.26	7.68
Point0100	331954	5102461	6.34	7.26	7.68
Point0101	331952	5102460	6.33	7.26	7.68
Point0102	331762	5102425	6.34	7.27	7.69
Point0103	331757	5102421	6.34	7.27	7.69
Point0104	331592	5102308	6.35	7.27	7.69
Point0105	331483	5102288	6.34	7.27	7.69



## J 20.13 Cotes pour le parcours Autray-13

Parcours Autray- 13	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	334320	5109207	6.12	7.05	7.48
Point0002	334276	5109203	6.13	7.06	7.49
Point0003	334229	5109134	6.13	7.06	7.49
Point0004	334186	5109076	6.13	7.06	7.49
Point0005	334094	5108969	6.13	7.06	7.49
Point0006	334051	5108929	6.13	7.06	7.49
Point0007	333883	5108820	6.14	7.07	7.49
Point0008	333712	5108717	6.14	7.07	7.49
Point0009	333539	5108616	6.14	7.07	7.50
Point0010	333368	5108513	6.15	7.08	7.50
Point0011	333215	5108385	6.16	7.08	7.51
Point0012	333136	5108319	6.16	7.08	7.51
Point0013	333041	5108297	6.16	7.08	7.51
Point0014	332846	5108254	6.16	7.09	7.51
Point0015	332662	5108179	6.17	7.09	7.51
Point0016	332497	5108066	6.17	7.09	7.51
Point0017	332335	5107949	6.18	7.10	7.51
Point0018	332177	5107827	6.18	7.10	7.52
Point0019	332018	5107705	6.18	7.10	7.52
Point0020	331880	5107561	6.19	7.11	7.52
Point0021	331782	5107423	6.19	7.11	7.52
Point0022	331768	5107396	6.19	7.11	7.52
Point0023	331680	5107217	6.19	7.11	7.53
Point0024	331572	5107049	6.20	7.12	7.53
Point0025	331490	5106883	6.20	7.12	7.53
Point0026	331484	5106869	6.20	7.12	7.53
Point0027	331412	5106683	6.20	7.12	7.53
Point0028	331354	5106492	6.21	7.12	7.54
Point0029	331294	5106301	6.21	7.13	7.54
Point0030	331230	5106111	6.22	7.13	7.55
Point0031	331163	5105923	6.23	7.14	7.55
Point0032	331095	5105735	6.23	7.15	7.56
Point0033	331001	5105566	6.24	7.16	7.57
Point0034	330925	5105493	6.24	7.15	7.57
Point0035	330977	5105422	6.25	7.16	7.58
Point0036	330977	5105416	6.25	7.16	7.58
Point0037	330962	5105217	6.25	7.17	7.59

Point0038	330940	5105018	6.25	7.17	7.59
Point0039	330931	5104819	6.25	7.18	7.59
Point0040	330781	5104806	6.25	7.17	7.59
Point0041	330781	5104813	6.25	7.17	7.59
Point0042	330799	5105012	6.25	7.17	7.59
Point0043	330842	5105204	6.25	7.17	7.59
Point0044	330914	5105378	6.25	7.17	7.58
Point0045	330783	5105422	6.25	7.16	7.58
Point0046	330622	5105304	6.25	7.17	7.58
Point0047	330491	5105152	6.25	7.17	7.59
Point0048	330379	5104988	6.26	7.18	7.59
Point0049	330284	5104812	6.26	7.18	7.60
Point0050	330187	5104637	6.26	7.18	7.60
Point0051	330090	5104462	6.27	7.19	7.61
Point0052	330012	5104279	6.27	7.19	7.61
Point0053	329946	5104090	6.28	7.20	7.61
Point0054	329892	5103898	6.28	7.20	7.62
Point0055	329853	5103702	6.28	7.20	7.62
Point0056	329816	5103505	6.29	7.21	7.63
Point0057	329780	5103308	6.30	7.22	7.63
Point0058	329745	5103111	6.31	7.23	7.64
Point0059	329713	5102914	6.32	7.23	7.65
Point0060	329679	5102717	6.32	7.24	7.65
Point0061	329625	5102525	6.32	7.24	7.66
Point0062	329575	5102331	6.33	7.25	7.66
Point0063	329531	5102136	6.33	7.25	7.66
Point0064	329515	5101937	6.34	7.25	7.67
Point0065	329523	5101737	6.34	7.26	7.67
Point0066	329544	5101538	6.35	7.27	7.68
Point0067	329605	5101354	6.36	7.28	7.69
Point0068	329607	5101350	6.36	7.28	7.69
Point0069	329667	5101181	6.36	7.28	7.70
Point0070	329672	5101161	6.36	7.28	7.70
Point0071	329721	5100967	6.37	7.29	7.70
Point0072	329798	5100788	6.38	7.30	7.71
Point0073	329876	5100777	6.38	7.30	7.71

## J 20.14 Cotes pour le parcours Autray-14

Parcours Autray- 14	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	334297	5109212	6.12	7.06	7.49
Point0002	334332	5109194	6.12	7.06	7.49
Point0003	334327	5109142	6.13	7.06	7.49
Point0004	334297	5109038	6.13	7.06	7.49
Point0005	334233	5108849	6.13	7.06	7.49
Point0006	334170	5108659	6.14	7.07	7.49
Point0007	334102	5108471	6.14	7.07	7.50
Point0008	334022	5108288	6.15	7.07	7.50
Point0009	333928	5108112	6.15	7.08	7.50
Point0010	333820	5107944	6.15	7.08	7.51
Point0011	333712	5107775	6.16	7.08	7.51
Point0012	333607	5107605	6.16	7.09	7.51
Point0013	333507	5107432	6.16	7.09	7.51
Point0014	333483	5107278	6.17	7.09	7.51
Point0015	333469	5107239	6.17	7.09	7.51
Point0016	333365	5107070	6.17	7.10	7.52
Point0017	333244	5106911	6.17	7.10	7.52
Point0018	333099	5106775	6.18	7.11	7.53
Point0019	332955	5106637	6.19	7.11	7.53
Point0020	332817	5106492	6.19	7.12	7.54
Point0021	332679	5106347	6.20	7.12	7.54
Point0022	332609	5106234	6.20	7.12	7.54
Point0023	332574	5106181	6.20	7.12	7.54
Point0024	332459	5106018	6.20	7.12	7.54
Point0025	332338	5105859	6.21	7.13	7.55
Point0026	332212	5105704	6.21	7.14	7.55
Point0027	332068	5105567	6.22	7.15	7.56
Point0028	331910	5105443	6.24	7.16	7.58
Point0029	331768	5105303	6.24	7.16	7.58
Point0030	331629	5105159	6.24	7.17	7.59
Point0031	331515	5104995	6.25	7.17	7.59
Point0032	331504	5104863	6.26	7.18	7.60
Point0033	331514	5104804	6.25	7.18	7.60
Point0034	331497	5104646	6.25	7.18	7.60
Point0035	331490	5104609	6.25	7.18	7.60
Point0036	331448	5104414	6.26	7.19	7.60
Point0037	331396	5104266	6.26	7.19	7.61

Point0038	331396	5104223	6.27	7.19	7.61
Point0039	331404	5104023	6.27	7.20	7.61
Point0040	331415	5103824	6.28	7.20	7.62
Point0041	331387	5103626	6.28	7.20	7.62
Point0042	331339	5103432	6.29	7.22	7.64
Point0043	331274	5103243	6.30	7.22	7.64
Point0044	331188	5103088	6.30	7.23	7.65
Point0045	331178	5103068	6.30	7.23	7.65
Point0046	331086	5102891	6.32	7.24	7.66
Point0047	330989	5102716	6.33	7.25	7.67
Point0048	330926	5102588	6.33	7.26	7.68
Point0049	330909	5102533	6.34	7.26	7.68
Point0050	330852	5102341	6.34	7.27	7.68
Point0051	330790	5102152	6.35	7.27	7.68
Point0052	330693	5101977	6.35	7.27	7.68
Point0053	330591	5101805	6.36	7.28	7.69
Point0054	330486	5101634	6.36	7.28	7.70
Point0055	330371	5101471	6.36	7.28	7.70
Point0056	330281	5101362	6.37	7.28	7.70
Point0057	330225	5101348	6.37	7.28	7.70
Point0058	330188	5101225	6.37	7.28	7.70
Point0059	330153	5101162	6.37	7.28	7.70
Point0060	330044	5100995	6.37	7.29	7.70
Point0061	329920	5100839	6.37	7.29	7.70
Point0062	329846	5100790	6.38	7.30	7.71

## J 20.15 Cotes pour le parcours Autray-15

Parcours Autray- 15	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	340926	5111610	6.02	6.98	7.43
Point0002	340892	5111637	6.03	6.98	7.43
Point0003	340764	5111624	6.03	6.98	7.43
Point0004	340740	5111609	6.03	6.98	7.43
Point0005	340569	5111506	6.03	6.98	7.43
Point0006	340393	5111410	6.03	6.98	7.43
Point0007	340218	5111313	6.03	6.99	7.44
Point0008	340046	5111211	6.04	6.99	7.44
Point0009	339874	5111110	6.04	6.99	7.44
Point0010	339708	5110998	6.04	6.99	7.44
Point0011	339544	5110884	6.05	7.00	7.44
Point0012	339389	5110757	6.05	7.00	7.45
Point0013	339223	5110646	6.05	7.00	7.45
Point0014	339043	5110559	6.05	7.00	7.45
Point0015	338860	5110479	6.05	7.00	7.45
Point0016	338671	5110412	6.06	7.01	7.45
Point0017	338487	5110336	6.06	7.01	7.45
Point0018	338305	5110253	6.06	7.01	7.45
Point0019	338125	5110165	6.06	7.01	7.45
Point0020	337963	5110050	6.06	7.01	7.45
Point0021	337812	5109920	6.06	7.01	7.46
Point0022	337661	5109788	6.07	7.02	7.46
Point0023	337544	5109630	6.07	7.02	7.46
Point0024	337506	5109465	6.08	7.02	7.46
Point0025	337510	5109442	6.08	7.02	7.46
Point0026	337550	5109246	6.08	7.03	7.47
Point0027	337644	5109070	6.09	7.03	7.47
Point0028	337722	5108932	6.09	7.03	7.47
Point0029	337736	5108894	6.09	7.03	7.47
Point0030	337798	5108705	6.09	7.03	7.47
Point0031	337814	5108505	6.09	7.04	7.47
Point0032	337833	5108306	6.10	7.04	7.48
Point0033	337846	5108157	6.10	7.04	7.48
Point0034	337839	5108107	6.10	7.04	7.48
Point0035	337808	5107910	6.11	7.04	7.48
Point0036	337787	5107712	6.11	7.05	7.48
Point0037	337791	5107512	6.11	7.05	7.48

<b>Point0038</b>	<b>337816</b>	<b>5107313</b>	6.12	7.05	7.49
<b>Point0039</b>	<b>337831</b>	<b>5107115</b>	6.12	7.06	7.49
<b>Point0040</b>	<b>337826</b>	<b>5106915</b>	6.13	7.06	7.49
<b>Point0041</b>	<b>337826</b>	<b>5106715</b>	6.13	7.06	7.50
<b>Point0042</b>	<b>337807</b>	<b>5106516</b>	6.13	7.07	7.50
<b>Point0043</b>	<b>337777</b>	<b>5106318</b>	6.14	7.07	7.50
<b>Point0044</b>	<b>337754</b>	<b>5106120</b>	6.14	7.07	7.50
<b>Point0045</b>	<b>337734</b>	<b>5105921</b>	6.15	7.08	7.51
<b>Point0046</b>	<b>337806</b>	<b>5105826</b>	6.14	7.08	7.51
<b>Point0047</b>	<b>337877</b>	<b>5105834</b>	6.15	7.08	7.52
<b>Point0048</b>	<b>338015</b>	<b>5105859</b>	6.14	7.07	7.51
<b>Point0049</b>	<b>338074</b>	<b>5105852</b>	6.14	7.08	7.51
<b>Point0050</b>	<b>338274</b>	<b>5105839</b>	6.13	7.06	7.50
<b>Point0051</b>	<b>338470</b>	<b>5105870</b>	6.12	7.06	7.50
<b>Point0052</b>	<b>338480</b>	<b>5105873</b>	6.12	7.06	7.50

## J 20.16 Cotes pour le parcours Autray-16

Parcours Autray- 16	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	340906	5111630	6.02	6.98	7.43
Point0002	340927	5111583	6.02	6.98	7.43
Point0003	340920	5111540	6.02	6.98	7.43
Point0004	340866	5111501	6.03	6.98	7.43
Point0005	340834	5111480	6.02	6.98	7.43
Point0006	340665	5111373	6.03	6.98	7.43
Point0007	340493	5111272	6.03	6.99	7.44
Point0008	340319	5111172	6.03	6.99	7.44
Point0009	340164	5111050	6.04	6.99	7.44
Point0010	340025	5110906	6.04	6.99	7.44
Point0011	339852	5110808	6.04	6.99	7.44
Point0012	339686	5110700	6.04	7.00	7.44
Point0013	339792	5110656	6.04	7.00	7.44
Point0014	339752	5110601	6.05	7.00	7.44
Point0015	339613	5110488	6.05	7.00	7.45
Point0016	339596	5110478	6.05	7.00	7.45
Point0017	339422	5110379	6.05	7.00	7.45
Point0018	339249	5110280	6.05	7.00	7.45
Point0019	339080	5110173	6.05	7.01	7.45
Point0020	338923	5110050	6.06	7.01	7.45
Point0021	338771	5109920	6.06	7.01	7.45
Point0022	338621	5109787	6.06	7.01	7.46
Point0023	338494	5109635	6.06	7.01	7.46
Point0024	338387	5109466	6.06	7.01	7.46
Point0025	338325	5109335	6.06	7.01	7.46
Point0026	338342	5109327	6.06	7.01	7.46
Point0027	338363	5109345	6.06	7.01	7.46
Point0028	338421	5109449	6.06	7.01	7.46
Point0029	338460	5109520	6.06	7.01	7.46
Point0030	338564	5109690	6.06	7.01	7.46
Point0031	338708	5109826	6.06	7.01	7.45
Point0032	338868	5109946	6.06	7.01	7.45
Point0033	339028	5110065	6.06	7.01	7.45
Point0034	339189	5110184	6.05	7.00	7.45
Point0035	339367	5110275	6.05	7.00	7.45
Point0036	339557	5110332	6.05	7.00	7.45
Point0037	339750	5110326	6.05	7.00	7.45

Point0038	339801	5110275	6.05	7.00	7.45
Point0039	339800	5110147	6.05	7.00	7.45
Point0040	339798	5109947	6.06	7.01	7.45
Point0041	339823	5109750	6.07	7.01	7.46
Point0042	339907	5109571	6.07	7.02	7.46
Point0043	340038	5109421	6.08	7.02	7.47
Point0044	340161	5109264	6.08	7.02	7.47
Point0045	340227	5109109	6.08	7.03	7.47
Point0046	340234	5109079	6.08	7.03	7.47
Point0047	340254	5108882	6.09	7.03	7.47
Point0048	340214	5108687	6.10	7.04	7.48
Point0049	340148	5108499	6.10	7.03	7.47
Point0050	340084	5108309	6.10	7.04	7.48
Point0051	340012	5108124	6.10	7.04	7.48
Point0052	339912	5107951	6.10	7.04	7.48
Point0053	339789	5107794	6.10	7.04	7.48
Point0054	339670	5107634	6.10	7.04	7.48
Point0055	339543	5107480	6.10	7.04	7.48
Point0056	339430	5107315	6.10	7.04	7.48
Point0057	339320	5107148	6.11	7.04	7.48
Point0058	339202	5106987	6.11	7.05	7.48
Point0059	339087	5106823	6.11	7.05	7.48
Point0060	338993	5106679	6.11	7.05	7.49
Point0061	338978	5106655	6.12	7.05	7.49
Point0062	338870	5106487	6.12	7.05	7.49
Point0063	338756	5106323	6.11	7.05	7.49
Point0064	338654	5106151	6.12	7.05	7.49
Point0065	338556	5105977	6.12	7.06	7.49
Point0066	338413	5105855	6.12	7.06	7.50
Point0067	338359	5105841	6.12	7.06	7.49



## J 20.17 Cotes pour le parcours Autray-17

Parcours Autray- 17	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	337503	5109800	6.07	7.02	7.46
Point0002	337439	5109793	6.07	7.02	7.46
Point0003	337328	5109722	6.08	7.02	7.46
Point0004	337325	5109719	6.08	7.02	7.46
Point0005	337160	5109605	6.08	7.02	7.46
Point0006	337015	5109519	6.08	7.02	7.46
Point0007	336991	5109500	6.08	7.02	7.46
Point0008	336869	5109387	6.08	7.02	7.46
Point0009	336848	5109361	6.08	7.02	7.46
Point0010	336721	5109207	6.08	7.03	7.46
Point0011	336596	5109050	6.09	7.03	7.47
Point0012	336472	5108894	6.09	7.03	7.47
Point0013	336358	5108730	6.10	7.04	7.47
Point0014	336307	5108586	6.10	7.04	7.47
Point0015	336295	5108541	6.11	7.04	7.47
Point0016	336275	5108383	6.11	7.04	7.48
Point0017	336285	5108344	6.11	7.04	7.48
Point0018	336339	5108237	6.12	7.05	7.48
Point0019	336369	5108163	6.12	7.05	7.48
Point0020	336424	5108027	6.12	7.05	7.48

## J 20.18 Cotes pour le parcours Autray-18

Parcours Autray- 18	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	337495	5109801	6.07	7.02	7.46
Point0002	337495	5109753	6.07	7.02	7.46
Point0003	337455	5109674	6.07	7.02	7.46
Point0004	337442	5109612	6.08	7.02	7.46
Point0005	337429	5109415	6.08	7.02	7.46
Point0006	337429	5109414	6.08	7.02	7.46
Point0007	337451	5109215	6.08	7.03	7.47
Point0008	337402	5109037	6.08	7.03	7.47
Point0009	337395	5109026	6.08	7.03	7.47
Point0010	337328	5108932	6.08	7.03	7.47
Point0011	337279	5108892	6.09	7.03	7.47
Point0012	337262	5108880	6.09	7.03	7.47
Point0013	337098	5108766	6.09	7.03	7.47
Point0014	337007	5108686	6.10	7.03	7.47
Point0015	336957	5108624	6.10	7.04	7.47
Point0016	336875	5108501	6.10	7.04	7.47
Point0017	336868	5108450	6.11	7.04	7.47
Point0018	336836	5108303	6.11	7.04	7.48
Point0019	336818	5108257	6.11	7.04	7.48
Point0020	336765	5108198	6.11	7.04	7.48
Point0021	336657	5108146	6.12	7.05	7.48
Point0022	336524	5108097	6.12	7.05	7.48
Point0023	336480	5108059	6.12	7.05	7.48
Point0024	336414	5108044	6.12	7.05	7.48

## J 20.19 Cotes pour le parcours Autray-19

Parcours Autray- 19	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	337528	5109117	6.08	7.03	7.47
Point0002	337492	5109117	6.08	7.03	7.47
Point0003	337457	5109067	6.08	7.03	7.47
Point0004	337418	5108999	6.08	7.03	7.47
Point0005	337400	5108981	6.08	7.03	7.47
Point0006	337268	5108847	6.09	7.03	7.47
Point0007	337259	5108840	6.09	7.03	7.47
Point0008	337096	5108724	6.09	7.03	7.47
Point0009	337002	5108658	6.10	7.03	7.47
Point0010	336959	5108602	6.10	7.04	7.47
Point0011	336952	5108589	6.10	7.04	7.47
Point0012	336892	5108470	6.10	7.04	7.47
Point0013	336882	5108405	6.11	7.04	7.47
Point0014	336835	5108257	6.11	7.04	7.48
Point0015	336807	5108223	6.11	7.04	7.48
Point0016	336746	5108167	6.12	7.05	7.48
Point0017	336646	5108106	6.12	7.05	7.48
Point0018	336534	5108039	6.12	7.05	7.48
Point0019	336488	5107987	6.12	7.05	7.48
Point0020	336396	5107860	6.12	7.05	7.48
Point0021	336376	5107822	6.12	7.05	7.48
Point0022	336282	5107646	6.13	7.05	7.48
Point0023	336179	5107475	6.13	7.06	7.49
Point0024	336122	5107382	6.13	7.06	7.49
Point0025	336049	5107328	6.14	7.06	7.49
Point0026	335912	5107203	6.14	7.07	7.49
Point0027	335901	5107194	6.14	7.07	7.49
Point0028	335737	5107111	6.16	7.08	7.50
Point0029	335724	5107111	6.16	7.08	7.50
Point0030	335525	5107099	6.16	7.07	7.50
Point0031	335342	5107029	6.16	7.08	7.50
Point0032	335186	5106910	6.17	7.08	7.50
Point0033	335184	5106907	6.17	7.08	7.50
Point0034	335042	5106766	6.17	7.09	7.51
Point0035	334889	5106637	6.18	7.09	7.51
Point0036	334780	5106530	6.18	7.09	7.51
Point0037	334747	5106497	6.18	7.09	7.51

Point0038	334612	5106350	6.19	7.11	7.52
Point0039	334542	5106258	6.20	7.11	7.53
Point0040	334480	5106201	6.20	7.11	7.53
Point0041	334338	5106060	6.20	7.11	7.53
Point0042	334198	5105918	6.21	7.12	7.54
Point0043	334055	5105777	6.22	7.13	7.54
Point0044	333919	5105631	6.22	7.14	7.55
Point0045	333808	5105509	6.23	7.15	7.56
Point0046	333789	5105479	6.23	7.14	7.56
Point0047	333698	5105302	6.23	7.15	7.56
Point0048	333668	5105200	6.24	7.15	7.56
Point0049	333662	5105107	6.23	7.15	7.56
Point0050	333659	5104907	6.24	7.15	7.57
Point0051	333647	5104804	6.24	7.15	7.57
Point0052	333628	5104709	6.25	7.16	7.57
Point0053	333594	5104512	6.25	7.17	7.59
Point0054	333575	5104366	6.26	7.17	7.59
Point0055	333575	5104314	6.26	7.17	7.59
Point0056	333574	5104114	6.26	7.17	7.58
Point0057	333554	5103925	6.26	7.18	7.59
Point0058	333552	5103916	6.26	7.18	7.59
Point0059	333495	5103724	6.26	7.18	7.59
Point0060	333463	5103630	6.27	7.19	7.60
Point0061	333430	5103561	6.27	7.19	7.60
Point0062	333409	5103550	6.27	7.19	7.60
Point0063	333281	5103506	6.27	7.18	7.60
Point0064	333218	5103491	6.27	7.19	7.61
Point0068	332727	5103159	6.28	7.20	7.62
Point0069	332573	5103031	6.29	7.21	7.63
Point0070	332423	5102900	6.31	7.23	7.64
Point0071	332296	5102746	6.32	7.24	7.66
Point0072	332178	5102584	6.33	7.25	7.67
Point0073	332066	5102470	6.33	7.26	7.67
Point0074	332031	5102452	6.33	7.26	7.68
Point0075	331892	5102393	6.34	7.26	7.68
Point0076	331845	5102380	6.34	7.26	7.68
Point0077	331718	5102302	6.34	7.27	7.69
Point0078	331694	5102265	6.34	7.27	7.69
Point0079	331580	5102108	6.34	7.26	7.68
Point0080	331580	5102102	6.34	7.26	7.68

<b>Point0081</b>	<b>331572</b>	<b>5101934</b>	6.35	7.28	7.70
<b>Point0082</b>	<b>331561</b>	<b>5101904</b>	6.35	7.28	7.70
<b>Point0083</b>	<b>331506</b>	<b>5101779</b>	6.36	7.28	7.70
<b>Point0084</b>	<b>331532</b>	<b>5101734</b>	6.36	7.28	7.70
<b>Point0085</b>	<b>331543</b>	<b>5101732</b>	6.36	7.28	7.70
<b>Point0086</b>	<b>331741</b>	<b>5101724</b>	6.34	7.26	7.68
<b>Point0087</b>	<b>331763</b>	<b>5101725</b>	6.34	7.26	7.68

## J 20.20 Cotes pour le parcours Autray-20

Parcours Autray- 20	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	337506	5109119	6.08	7.03	7.47
Point0002	337540	5109113	6.08	7.03	7.47
Point0003	337569	5109028	6.08	7.03	7.47
Point0004	337603	5108961	6.08	7.03	7.47
Point0005	337654	5108834	6.09	7.03	7.47
Point0006	337670	5108773	6.09	7.03	7.47
Point0007	337697	5108576	6.09	7.03	7.47
Point0008	337704	5108376	6.10	7.04	7.47
Point0009	337680	5108178	6.10	7.04	7.47
Point0010	337651	5107985	6.10	7.04	7.48
Point0011	337652	5107980	6.10	7.04	7.48
Point0012	337682	5107784	6.11	7.04	7.48
Point0013	337694	5107585	6.11	7.05	7.48
Point0014	337698	5107385	6.12	7.05	7.49
Point0015	337702	5107185	6.12	7.06	7.49
Point0016	337705	5106985	6.13	7.06	7.49
Point0017	337705	5106785	6.13	7.06	7.49
Point0018	337698	5106585	6.13	7.06	7.49
Point0019	337693	5106431	6.13	7.07	7.50
Point0020	337690	5106385	6.14	7.07	7.50
Point0021	337694	5106186	6.14	7.07	7.51
Point0022	337686	5106098	6.14	7.08	7.51
Point0023	337671	5106016	6.15	7.08	7.51
Point0024	337659	5105990	6.15	7.08	7.51
Point0025	337619	5105962	6.14	7.08	7.51
Point0026	337602	5105932	6.15	7.08	7.51
Point0027	337592	5105875	6.15	7.08	7.51
Point0028	337584	5105821	6.15	7.08	7.51
Point0029	337565	5105786	6.15	7.08	7.51
Point0030	337510	5105721	6.15	7.09	7.52
Point0031	337482	5105692	6.15	7.09	7.52
Point0032	337473	5105659	6.15	7.09	7.52
Point0033	337423	5105557	6.16	7.09	7.52
Point0034	337408	5105522	6.15	7.08	7.52
Point0035	337400	5105476	6.19	7.11	7.54
Point0036	337345	5105317	6.19	7.11	7.54

Point0037	337332	5105288	6.19	7.12	7.54
Point0038	337260	5105102	6.19	7.12	7.54
Point0039	337200	5105004	6.20	7.12	7.54
Point0040	337150	5104935	6.20	7.12	7.55
Point0041	337013	5104823	6.20	7.13	7.55
Point0042	336994	5104810	6.21	7.13	7.55
Point0043	336829	5104697	6.21	7.14	7.56
Point0044	336668	5104579	6.22	7.14	7.56
Point0045	336514	5104453	6.22	7.14	7.56
Point0046	336382	5104302	6.22	7.14	7.56
Point0047	336258	5104147	6.22	7.14	7.56
Point0048	336142	5103985	6.22	7.14	7.56
Point0049	336013	5103831	6.22	7.14	7.56
Point0050	335903	5103666	6.22	7.13	7.55
Point0051	335829	5103561	6.22	7.14	7.56
Point0052	335773	5103517	6.23	7.14	7.57
Point0053	335616	5103393	6.23	7.14	7.57
Point0054	335441	5103298	6.23	7.15	7.57
Point0055	335265	5103203	6.23	7.15	7.57
Point0056	335094	5103099	6.24	7.15	7.57
Point0057	334934	5102980	6.23	7.15	7.57
Point0058	334775	5102858	6.24	7.15	7.57
Point0059	334623	5102728	6.23	7.14	7.56
Point0060	334468	5102602	6.24	7.15	7.57
Point0061	334299	5102496	6.24	7.14	7.56
Point0062	334126	5102396	6.24	7.15	7.57
Point0063	333950	5102301	6.25	7.16	7.57
Point0064	333770	5102213	6.24	7.15	7.56
Point0065	333579	5102156	6.25	7.16	7.58
Point0066	333385	5102108	6.26	7.17	7.59
Point0067	333192	5102057	6.27	7.18	7.59
Point0068	332999	5102005	6.27	7.18	7.59
Point0069	332806	5101952	6.28	7.19	7.60
Point0070	332614	5101897	6.28	7.19	7.61
Point0071	332421	5101844	6.29	7.20	7.62
Point0072	332228	5101791	6.31	7.22	7.64
Point0073	332031	5101756	6.31	7.23	7.64
Point0074	331833	5101732	6.33	7.25	7.67
Point0075	331702	5101726	6.34	7.27	7.69

## J 20.21 Cotes pour le parcours Autray-21

Parcours Autray- 21	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	338384	5105653	6.14	7.07	7.51
Point0002	338184	5105648	6.14	7.07	7.50
Point0003	338003	5105653	6.14	7.07	7.50
Point0004	337984	5105652	6.14	7.07	7.50
Point0005	337791	5105612	6.14	7.07	7.51
Point0006	337691	5105510	6.15	7.08	7.51
Point0007	337667	5105460	6.16	7.09	7.52
Point0008	337602	5105272	6.19	7.12	7.55
Point0009	337558	5105145	6.19	7.12	7.54
Point0010	337531	5105085	6.20	7.12	7.55
Point0011	337432	5104912	6.21	7.13	7.55
Point0012	337322	5104745	6.21	7.13	7.56
Point0013	337241	5104647	6.21	7.13	7.56
Point0014	337183	5104603	6.21	7.13	7.55
Point0015	337023	5104483	6.21	7.13	7.55
Point0016	336965	5104399	6.22	7.14	7.56
Point0017	336960	5104314	6.22	7.14	7.57
Point0018	336965	5104304	6.23	7.15	7.57
Point0019	337008	5104219	6.23	7.15	7.58
Point0020	337076	5104197	6.23	7.16	7.58
Point0021	337109	5104195	6.23	7.16	7.58
Point0022	337161	5104192	6.23	7.15	7.58



### J 20.22 Cotes pour le parcours Autray-22

Parcours Autray- 22	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	338326	5105658	6.13	7.07	7.50
Point0002	338395	5105648	6.14	7.08	7.51
Point0003	338400	5105584	6.14	7.07	7.51
Point0004	338360	5105531	6.14	7.07	7.50
Point0005	338237	5105373	6.14	7.08	7.51
Point0006	338118	5105213	6.14	7.07	7.51
Point0007	337996	5105054	6.15	7.08	7.51
Point0008	337868	5104901	6.17	7.10	7.53
Point0009	337833	5104806	6.17	7.10	7.53
Point0010	337756	5104745	6.19	7.11	7.54
Point0011	337664	5104584	6.20	7.12	7.55
Point0012	337657	5104571	6.20	7.12	7.55
Point0013	337556	5104399	6.19	7.11	7.54
Point0014	337458	5104261	6.20	7.12	7.55
Point0015	337431	5104248	6.21	7.13	7.56
Point0016	337256	5104182	6.22	7.14	7.57
Point0017	337243	5104183	6.22	7.14	7.57
Point0018	337114	5104203	6.23	7.16	7.58

### J 20.23 Cotes pour le parcours Autray-23

Parcours Autray- 23	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	331290	5102925	6.31	7.24	7.66
Point0002	331235	5102891	6.31	7.24	7.66
Point0003	331156	5102781	6.32	7.24	7.66
Point0004	331045	5102615	6.33	7.25	7.67
Point0005	330978	5102467	6.34	7.26	7.68
Point0006	330976	5102430	6.34	7.26	7.68
Point0007	331072	5102360	6.34	7.27	7.68

## J 20.24 Cotes pour le parcours Autray-24

Parcours Autray- 24	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	331299	5102920	6.31	7.24	7.66
Point0002	331324	5102891	6.32	7.24	7.66
Point0003	331341	5102841	6.32	7.25	7.66
Point0004	331330	5102768	6.32	7.25	7.67
Point0005	331315	5102736	6.32	7.25	7.67
Point0006	331246	5102566	6.33	7.26	7.68
Point0007	331238	5102552	6.34	7.26	7.68
Point0008	331198	5102437	6.34	7.26	7.68
Point0009	331136	5102397	6.34	7.27	7.68
Point0010	331133	5102396	6.34	7.27	7.68
Point0011	331063	5102361	6.34	7.27	7.68

## J 20.25 Cotes pour le parcours Autray-25

Parcours Autray- 25	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	331363	5102410	6.34	7.27	7.68
Point0002	331304	5102399	6.34	7.27	7.68
Point0003	331193	5102314	6.34	7.27	7.68
Point0004	331048	5102177	6.34	7.27	7.68
Point0005	331048	5102177	6.34	7.27	7.68
Point0006	330975	5102053	6.35	7.27	7.69
Point0007	330968	5101999	6.35	7.27	7.69
Point0008	330923	5101897	6.35	7.27	7.69
Point0009	330849	5101850	6.35	7.27	7.69
Point0010	330816	5101831	6.35	7.27	7.69
Point0011	330785	5101776	6.35	7.27	7.69
Point0012	330757	5101693	6.36	7.28	7.69
Point0013	330755	5101682	6.36	7.28	7.70
Point0014	330768	5101603	6.36	7.28	7.70
Point0015	330813	5101571	6.36	7.28	7.70
Point0016	330872	5101566	6.36	7.28	7.70
Point0017	330892	5101564	6.36	7.28	7.70

## J 20.26 Cotes pour le parcours Autray-26

Parcours Autray- 26	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	331339	5102406	6.34	7.27	7.68
Point0002	331367	5102406	6.34	7.27	7.68
Point0003	331384	5102382	6.34	7.27	7.68
Point0004	331415	5102316	6.34	7.27	7.68
Point0005	331440	5102264	6.34	7.27	7.68
Point0006	331436	5102252	6.34	7.27	7.69
Point0007	331436	5102157	6.35	7.27	7.69
Point0008	331467	5102087	6.34	7.27	7.69
Point0009	331457	5102065	6.35	7.27	7.69
Point0010	331374	5101959	6.35	7.27	7.69
Point0011	331321	5101924	6.35	7.27	7.69
Point0012	331197	5101828	6.35	7.28	7.69
Point0013	331172	5101793	6.35	7.28	7.69
Point0014	331138	5101717	6.35	7.27	7.69
Point0015	331104	5101672	6.35	7.28	7.69
Point0016	331050	5101645	6.36	7.28	7.70
Point0017	330972	5101609	6.36	7.28	7.70
Point0018	330913	5101582	6.36	7.28	7.70
Point0019	330885	5101578	6.36	7.28	7.70
Point0020	330864	5101575	6.36	7.28	7.70
Point0021	330837	5101571	6.36	7.28	7.70

## J 20.27 Cotes pour le parcours Autray-27

Parcours Autray- 27	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	330528	5101011	6.37	7.29	7.70
Point0002	330446	5100986	6.37	7.29	7.70
Point0003	330359	5100911	6.37	7.28	7.70
Point0004	330215	5100772	6.37	7.29	7.70
Point0005	330084	5100636	6.37	7.29	7.70
Point0006	330077	5100627	6.37	7.29	7.70
Point0007	329972	5100459	6.37	7.29	7.70
Point0008	329900	5100272	6.37	7.29	7.70
Point0009	329850	5100079	6.38	7.29	7.70
Point0010	329811	5099883	6.38	7.29	7.70
Point0011	329802	5099731	6.37	7.29	7.70
Point0012	329800	5099683	6.38	7.30	7.71
Point0013	329806	5099488	6.39	7.30	7.71
Point0014	329806	5099484	6.39	7.30	7.72
Point0015	329878	5099333	6.39	7.31	7.72

## J 20.28 Cotes pour le parcours Autray-28

Parcours Autray- 28	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	330504	5101006	6.37	7.29	7.70
Point0002	330535	5100995	6.37	7.28	7.70
Point0003	330559	5100937	6.37	7.28	7.70
Point0004	330549	5100885	6.36	7.28	7.70
Point0005	330532	5100837	6.36	7.28	7.70
Point0006	330465	5100649	6.37	7.28	7.70
Point0007	330388	5100464	6.37	7.29	7.70
Point0008	330299	5100285	6.37	7.29	7.70
Point0009	330213	5100105	6.37	7.29	7.70
Point0010	330151	5099935	6.37	7.29	7.70
Point0011	330140	5099920	6.37	7.29	7.70
Point0012	330037	5099786	6.38	7.29	7.71
Point0013	330031	5099755	6.38	7.29	7.71
Point0014	329988	5099560	6.38	7.30	7.71
Point0015	329909	5099385	6.39	7.31	7.72
Point0016	329907	5099379	6.39	7.31	7.72
Point0017	329847	5099340	6.39	7.31	7.72

## J 20.29 Cotes pour le parcours Autray-29

Parcours Autray- 29	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	323271	5083270	6.69	7.60	7.99
Point0002	323195	5083219	6.69	7.59	7.98
Point0003	323150	5083121	6.69	7.60	7.99
Point0004	323057	5082944	6.69	7.60	7.99
Point0005	322974	5082794	6.71	7.61	8.00
Point0006	322957	5082770	6.71	7.61	8.00
Point0007	322840	5082609	6.69	7.59	7.98
Point0008	322748	5082484	6.71	7.61	7.99
Point0009	322735	5082441	6.70	7.60	7.99
Point0010	322672	5082251	6.72	7.63	8.02
Point0011	322646	5082152	6.74	7.64	8.03
Point0012	322659	5082097	6.74	7.64	8.03
Point0013	322692	5082073	6.74	7.64	8.03
Point0014	322706	5082063	6.74	7.64	8.03

### J 20.30 Cotes pour le parcours Autray-30

Parcours Autray- 30	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	323250	5083270	6.69	7.60	7.99
Point0002	323280	5083253	6.69	7.60	7.99
Point0003	323297	5083189	6.69	7.60	7.99
Point0004	323297	5083109	6.69	7.60	7.99
Point0005	323291	5083090	6.69	7.60	7.99
Point0006	323236	5082898	6.69	7.59	7.99
Point0007	323181	5082706	6.69	7.59	7.98
Point0008	323139	5082514	6.69	7.59	7.98
Point0009	323138	5082511	6.69	7.59	7.98
Point0010	323036	5082341	6.70	7.60	7.99
Point0011	322957	5082216	6.69	7.59	7.98
Point0012	322924	5082175	6.70	7.61	8.00
Point0013	322795	5082059	6.73	7.64	8.02
Point0014	322772	5082052	6.73	7.64	8.03
Point0015	322714	5082059	6.74	7.64	8.03

### J 20.31 Cotes pour le parcours Autray-31

Parcours Autray- 31	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	321614	5080940	6.73	7.63	8.01
Point0002	321539	5080940	6.73	7.63	8.02
Point0003	321453	5080850	6.73	7.63	8.02
Point0004	321452	5080850	6.73	7.63	8.02
Point0005	321326	5080695	6.74	7.64	8.02
Point0006	321186	5080553	6.74	7.64	8.02
Point0007	321059	5080399	6.74	7.64	8.02
Point0008	320934	5080242	6.75	7.65	8.03
Point0009	320808	5080087	6.76	7.66	8.04
Point0010	320705	5079920	6.76	7.66	8.04
Point0011	320741	5079771	6.77	7.67	8.05

## J 20.32 Cotes pour le parcours Autray-32

Parcours Autray- 32	Easting	Northing	2 ans	20 ans	100 ans
	m	m	m	m	m
Point0001	321572	5080952	6.73	7.63	8.02
Point0002	321603	5080945	6.73	7.63	8.02
Point0003	321609	5080911	6.73	7.63	8.01
Point0004	321592	5080839	6.73	7.63	8.02
Point0005	321564	5080787	6.73	7.63	8.02
Point0006	321486	5080626	6.74	7.64	8.02
Point0007	321479	5080606	6.74	7.64	8.02
Point0008	321468	5080519	6.74	7.64	8.02
Point0009	321455	5080482	6.74	7.64	8.02
Point0010	321410	5080426	6.74	7.63	8.02
Point0011	321314	5080317	6.75	7.64	8.02
Point0012	321277	5080277	6.75	7.64	8.02
Point0013	321176	5080169	6.75	7.64	8.03
Point0014	321135	5080136	6.75	7.64	8.03
Point0015	321104	5080069	6.75	7.64	8.03
Point0016	321090	5080000	6.75	7.64	8.03
Point0017	321066	5079952	6.75	7.65	8.03
Point0018	321065	5079952	6.75	7.65	8.03
Point0019	320901	5079839	6.77	7.66	8.05
Point0020	320901	5079839	6.77	7.66	8.05
Point0021	320726	5079801	6.77	7.66	8.05





# ANNEXE

## **K** ANALYSES STATISTIQUES DES NIVEAUX D'EAU EXTRÊMES



# ANNEXE K

## Analyses statistiques des niveaux d'eau extrêmes

### TABLE DES MATIÈRES

<b>K 1</b>	<b>ANALYSES STATISTIQUES DES VALEURS EXTRÊMES DE NIVEAU D'EAU.....</b>	<b>2</b>
<b>K 2</b>	<b>STATISTIQUES SUR LES NIVEAUX EXTRÊMES ANNUELS À VARENNES.....</b>	<b>2</b>
K 2.1	ÉTUDE DE FAVRE ET AL, 2010.....	5
K 2.2	L'ÉTUDE DE LAPOINTE (MENV, 1990) .....	5
K 2.3	COMPARAISON DES COTES DE CRUES OBTENUES .....	6
<b>K 3</b>	<b>STATISTIQUES SUR LES NIVEAUX EXTRÊMES ANNUELS À SOREL.....</b>	<b>6</b>
<b>K 4</b>	<b>STATISTIQUES SUR LES NIVEAUX EXTRÊMES ANNUELS AU LAC SAINT-PIERRE.....</b>	<b>9</b>

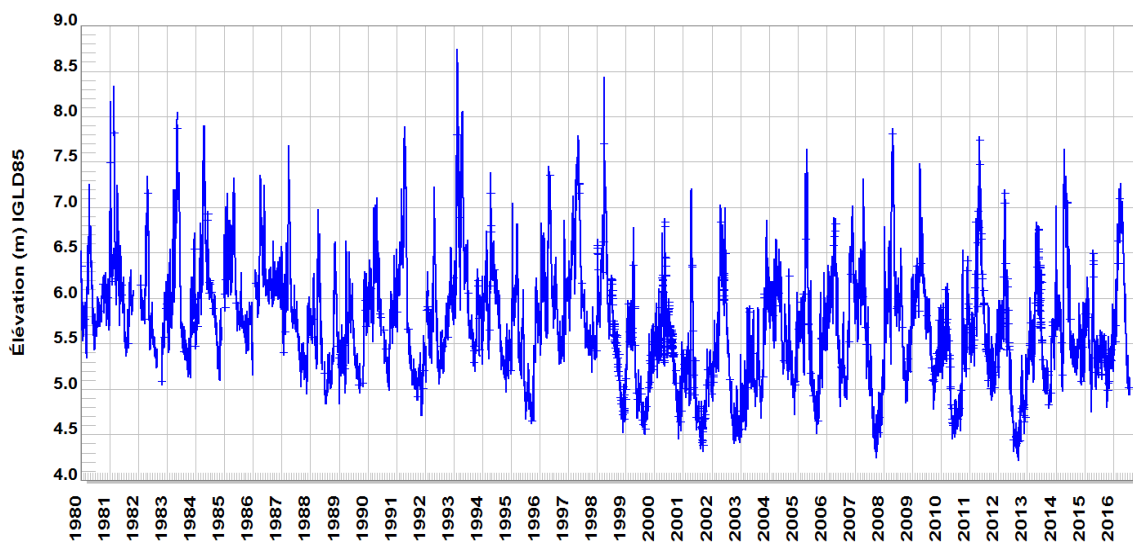


## K 1 Analyses statistiques des valeurs extrêmes de niveau d'eau

Les calculs statistiques sont réalisés pour les stations de Varennes, Sorel et de la courbe #2 au lac Saint-Pierre. La période retenue est celle considérée hors glace, qui débute le premier avril et se termine le 31 décembre de chaque année.

## K 2 Statistiques sur les niveaux extrêmes annuels à Varennes

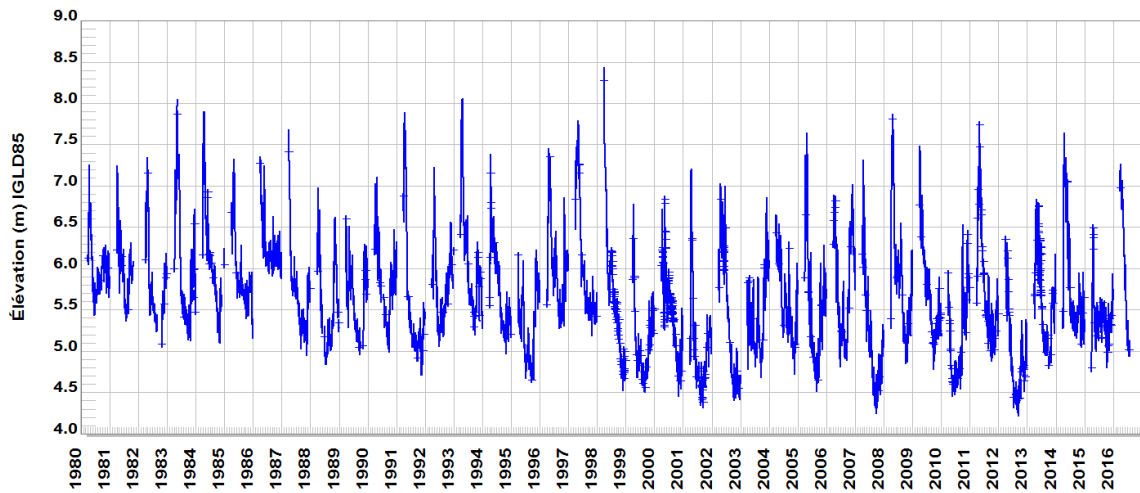
La période retenue pour réaliser l'analyse statistique est celle hors glace, d'Avril à Décembre et de 1980 à 2016. Les lois d'extrême de type Weibull et Log-Pearson III sont ajustées aux échantillons retenus.



Station 15660, Varennes, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST - Période 1980-2016  
Tous les mois

Source:  
2017-05-08 10:21

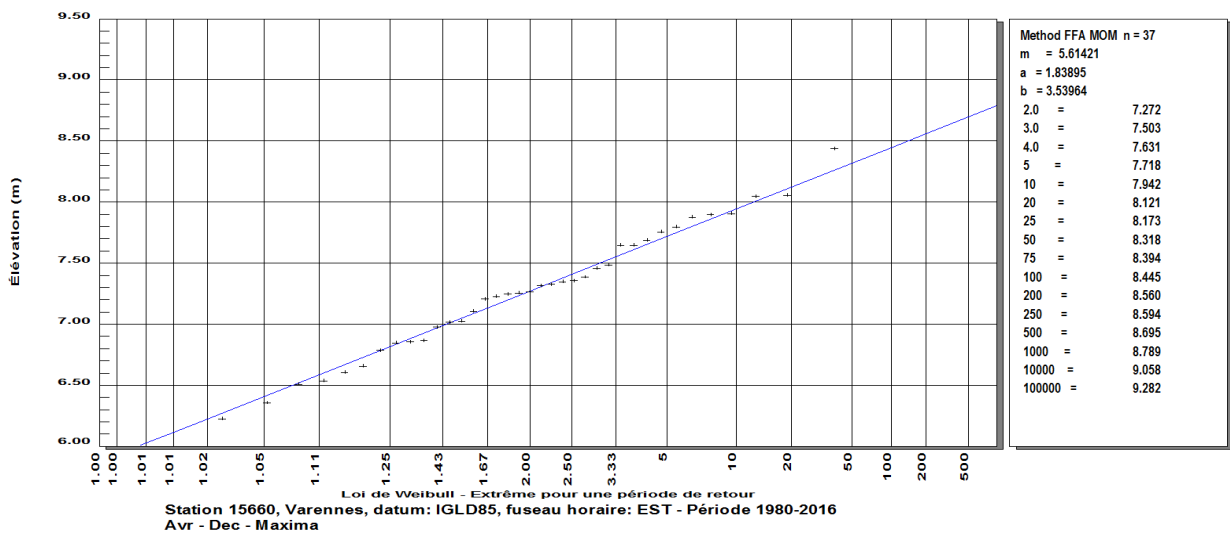
Figure 2-1 Niveau d'eau à Varennes depuis 1980, tous les mois de l'année



Station 15660, Varennes, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST - Période 1980-2016  
Avr-Dec

Source: 2017-05-08 10:20

Figure 2-2 Niveau d'eau à Varennes depuis 1980, d'Avril à Décembre



Source: 2017-05-12 10:18

Figure 2-3 Ajustement d'une loi d'extrême de type Weibull aux niveaux d'eau maxima mesurés à Varennes pour la période hors glace

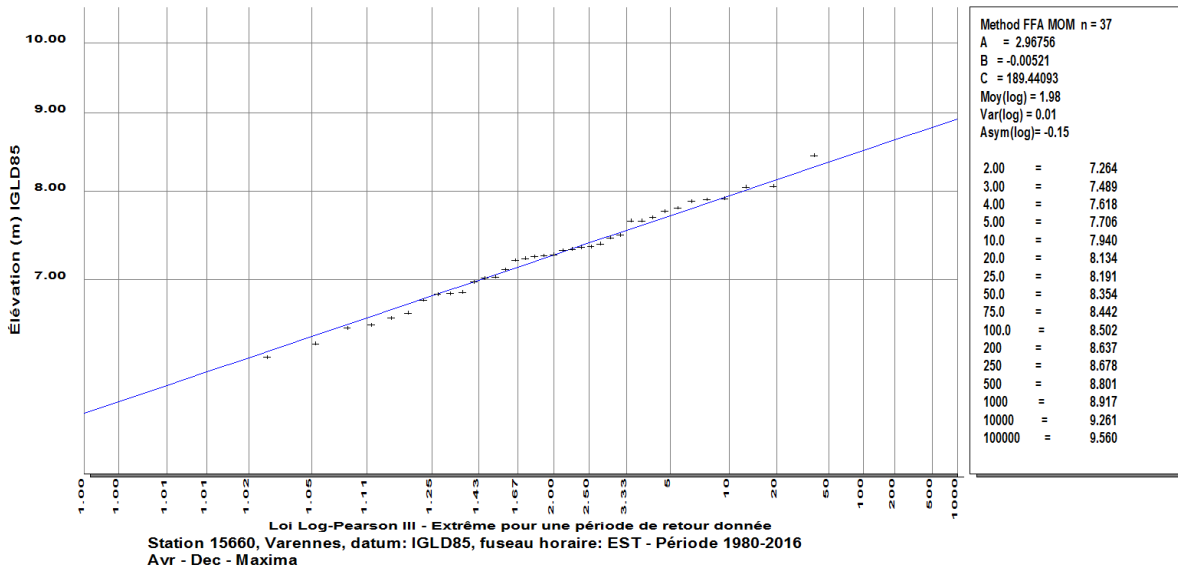


Figure 2-4 Ajustement d'une loi d'extrême de type Log-Pearson III aux niveaux d'eau maxima mesurés à Varennes pour la période hors glace

Tableau 2-1 Résultats obtenus pour Varennes suite aux analyses statistiques (IGLD85)

	Période	Échantillon	Loi	2 ans	20 ans	100 ans
<b>MRN 90 (point 0)</b>	Variable	Janvier à décembre	LP III	8,04	8,98	9,32
<b>Varennes</b>	1980-2016	Avril à décembre	LP III	7,26	8,13	8,50
			Weibull	7,27	8,12	8,44
			<b>Moyenne</b>	<b>7,27</b>	<b>8,13</b>	<b>8,47</b>
<b>Écart</b>			LP III	0,78	0,85	0,82
			<b>Moyenne</b>	<b>0,77</b>	<b>0,85</b>	<b>0,85</b>

## K 2.1 Étude de Favre et al, 2010

L'étude de Favre procède à une reconstitution des niveaux d'eau à Varennes (Réf. 22). Les résultats obtenus sont affichés au Tableau 2-2, tiré de leur rapport.

Tableau 2-2 *Quantiles de niveaux maxima du fleuve Saint-Laurent à Varennes (Favre et al)*

TABLE 7.7 – Quantiles des niveaux maxima [m] du fleuve Saint-Laurent à Varennes (02OA050) associés à trois périodes de retour, issus du modèle de mélange de deux distribution gamma avec persistance Markovienne.

Temps de retour	Quantile
2 ans	7.28
20 ans	8.46
100 ans	8.92

Source : Favre et al, 2010

Il faut noter que la reconstitution des débits par Favre inclue une période durant laquelle aucune régularisation n'était réalisée. De ce fait, ces conditions doivent être considérées comme différentes de celles qui ont suivi l'ouverture de la voie maritime du Saint-Laurent. Selon notre évaluation, on ne peut pas utiliser cette série pour produire les quantiles pour les périodes de retour indiquées au Tableau 2-2. En fait, la période à considérer s'avère celle pour laquelle on dispose de relevés à la courbe #2 du lac Saint-Pierre soit la période 1980-2016.

## K 2.2 L'étude de Lapointe (MENV, 1990)

L'étude de Lapointe publiée en 1990 donne des résultats beaucoup plus élevés pour Varennes.

Tableau 2-3 *Cotes de crues publiées par le Ministère de l'environnement du Québec en 1990 à Varennes et Port Saint-François.*

VARENNES			PORT SAINT-FRANÇOIS		
Réurrence	Élévation (m)		Réurrence	Élévation (m)	
ans	IGLD	GEOD	ans	IGLD	GEOD
100	9,32	9,42	100	7,45	7,53
50	9,19	9,30	50	7,31	7,39
20	8,98	9,08	20	7,09	7,17
10	8,79	8,90	10	6,87	6,95
5	8,54	8,64	5	6,58	6,66
2	8,04	8,14	2	5,96	6,04
Moy. arith.	8,01	8,12	Moy. arith.	5,92	6,00



### K 2.3 Comparaison des cotes de crues obtenues

L'analyse des niveaux d'eau extrêmes aux stations de Varennes permet comparer les résultats obtenus à ceux tirés d'études antérieures. La correction à Varennes varie entre 77 et 85 centimètres à la baisse.

Tableau 2-4 Niveaux d'eau à Varennes selon différentes études

Étude	Moyenne	2 ans	20 ans	100 ans	Période
Lapointe, 1990	8,01	8,04	8,98	9,32	1930-1981 (61 ans)
Favre, 2010		7,28	8,46	8,92	
WSP, 2016		7,27	8,13	8,50	1980-2016 (37 ans)
Écart (m)		0,77	0,85	0,85	
Lapointe - WSP					

## K 3 Statistiques sur les niveaux extrêmes annuels à Sorel

Le signal du niveau d'eau mesuré à Sorel est présenté à la Figure 3-1 pour la période 1980-2016.

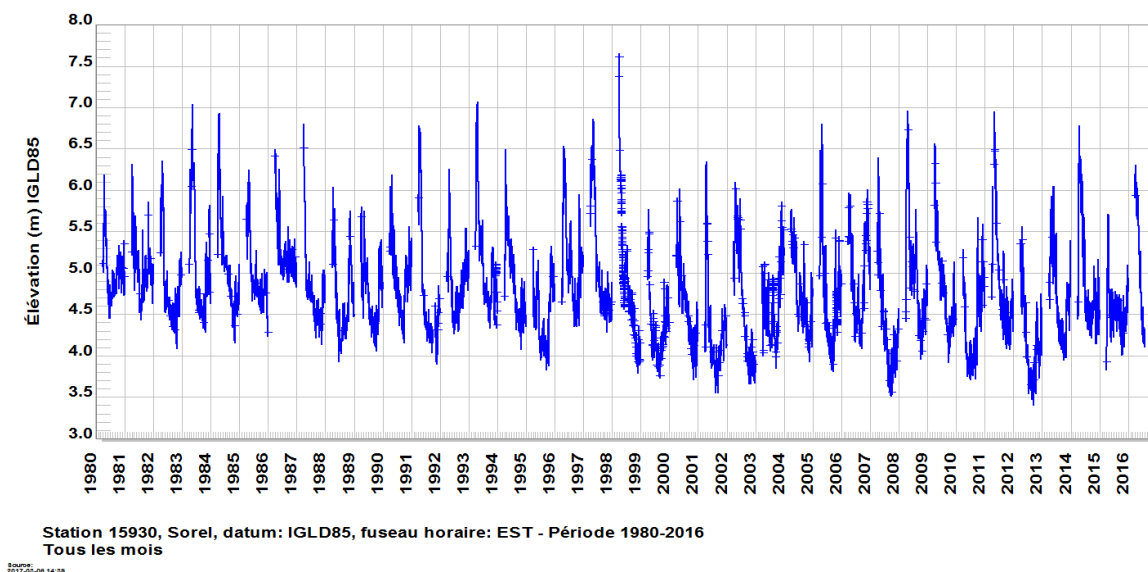
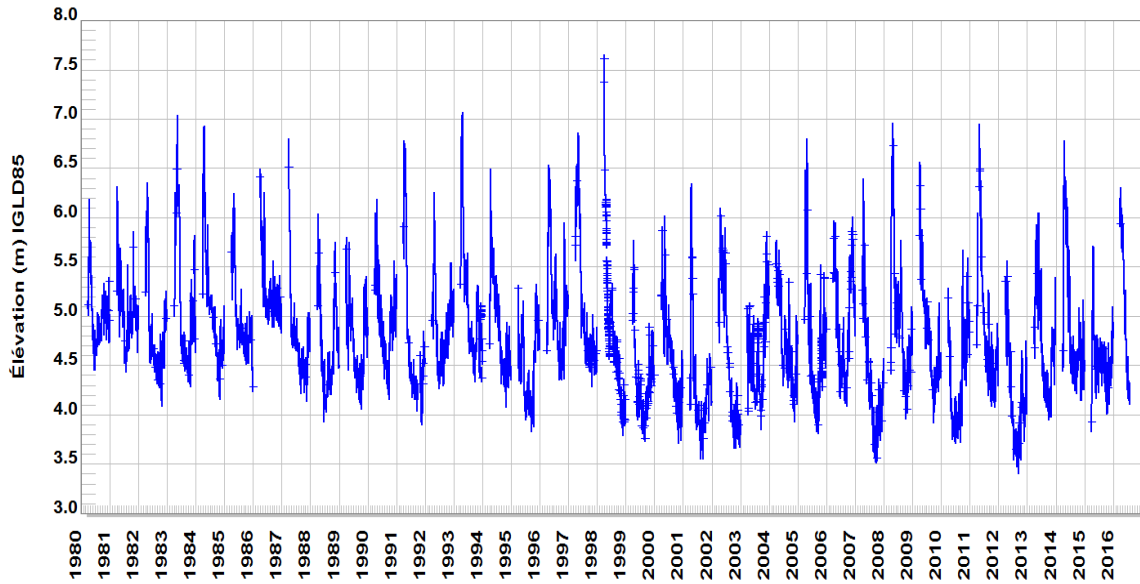


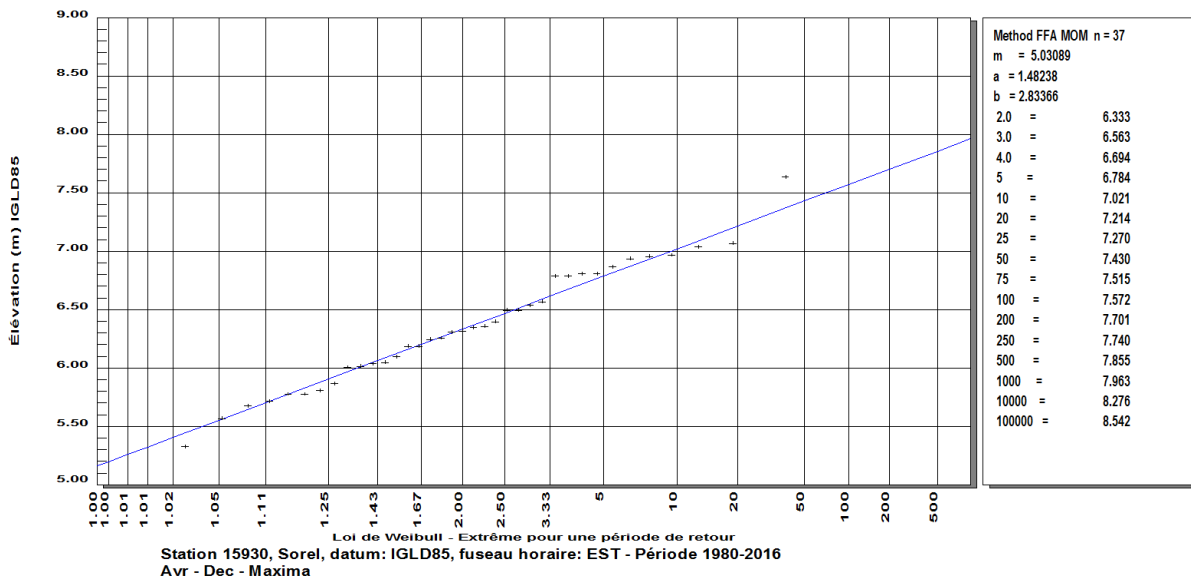
Figure 3-1 Niveau d'eau à Sorel depuis 1980, tous les mois de l'année



Station 15930, Sorel, datum: IGLD85, fuseau horaire: EST - Période 1980-2016  
Avr-Dec

Source:  
2017-05-08 14:41

Figure 3-2 Niveau d'eau à Sorel depuis 1980, d'Avril à Décembre



Source:  
2017-05-08 14:42

Figure 3-3 Ajustement d'une loi d'extrême de type Weibull aux niveaux d'eau maxima mesurés à Sorel pour la période hors glace

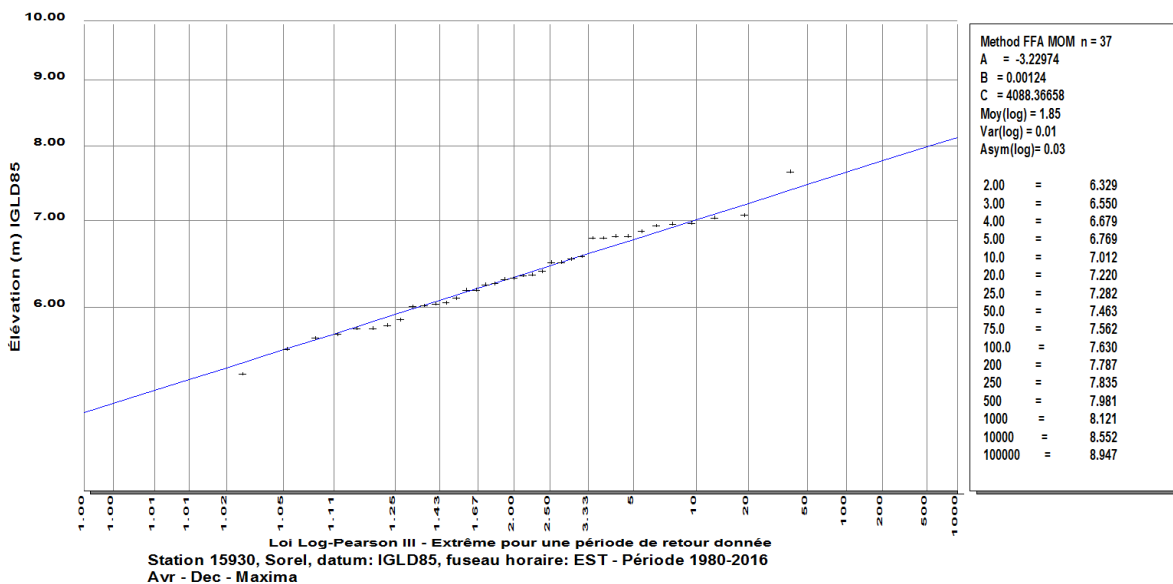


Figure 3-4 Ajustement d'une loi d'extrême de type Log-Pearson III aux niveaux d'eau maxima mesurés à Sorel pour la période hors glace

Tableau 3-1 Résultats obtenus pour Sorel suite aux analyses statistiques

	Période	Échantillon	Loi	2 ans	20 ans	100 ans
<b>MRN 90 (point 50)</b>	Variable	Janvier à	LP III	6,79	7,82	8,19
	1930-1986	décembre				
<b>Sorel</b>	1980-2016	Avril à	LP III	6,33	7,22	7,63
		décembre	Weibull	6,33	7,21	7,57
				<b>Moyenne</b>	<b>6,33</b>	<b>7,22</b>
<b>Écart</b>			LP III	0,46	0,60	0,56
			<b>Moyenne</b>	<b>0,46</b>	<b>0,60</b>	<b>0,59</b>

## K 4 Statistiques sur les niveaux extrêmes annuels au lac Saint-Pierre

Le signal du niveau d'eau du lac Saint-Pierre à la courbe #2 est présenté à la Figure 4-1 pour la période 1980-2016.

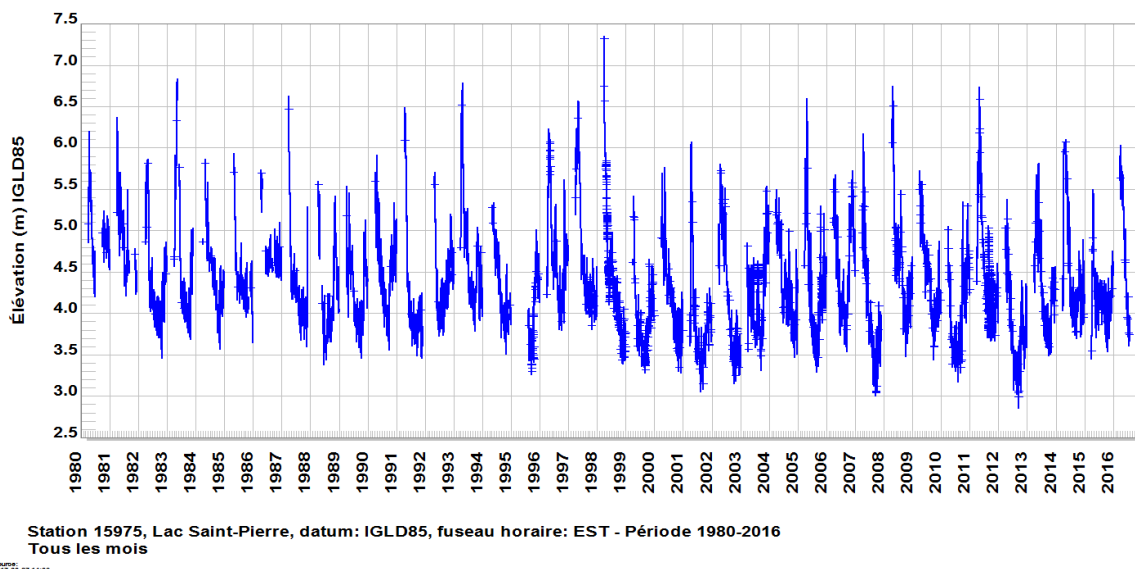


Figure 4-1 Niveau d'eau du lac Saint-Pierre depuis 1980, tous les mois de l'année

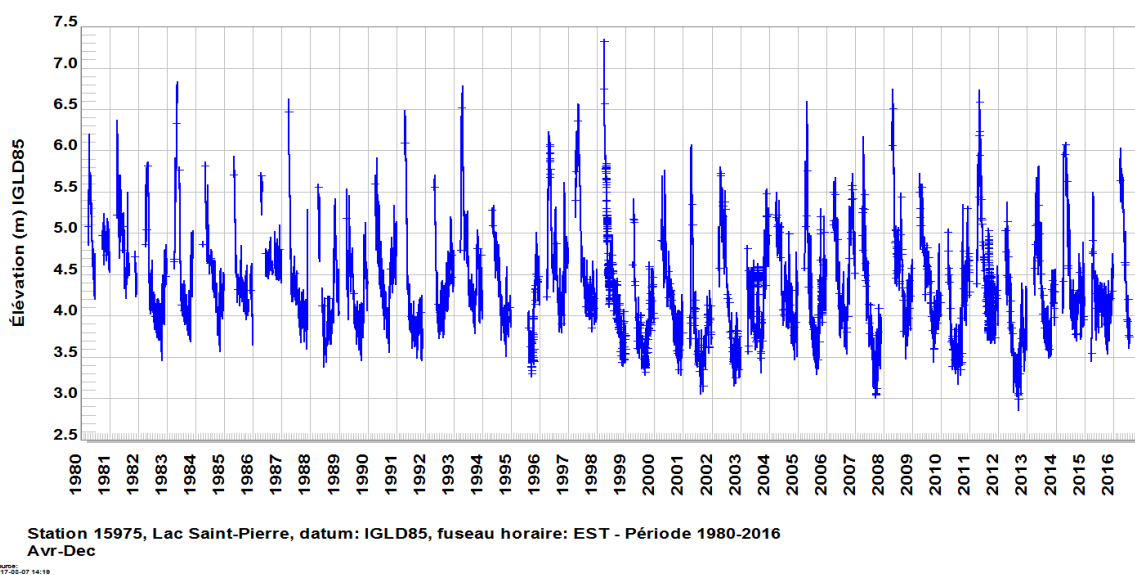


Figure 4-2 Niveau d'eau du lac Saint-Pierre depuis 1980, d'Avril à Décembre

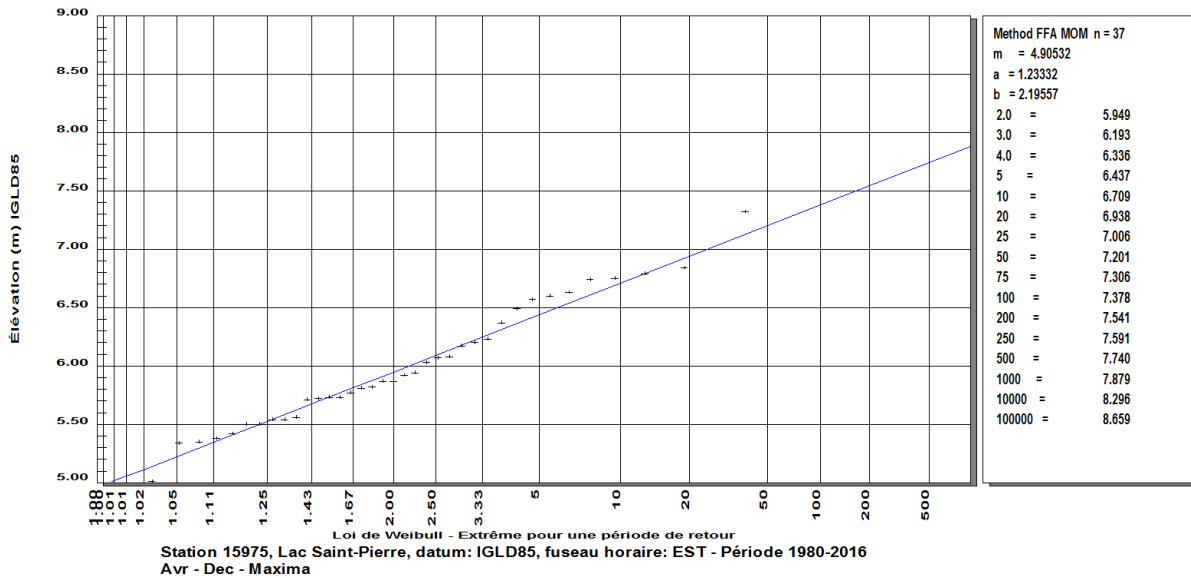


Figure 4-3 Ajustement d'une loi d'extrême de type Weibull aux niveaux d'eau maxima mesurés au Lac Saint-Pierre pour la période hors glace

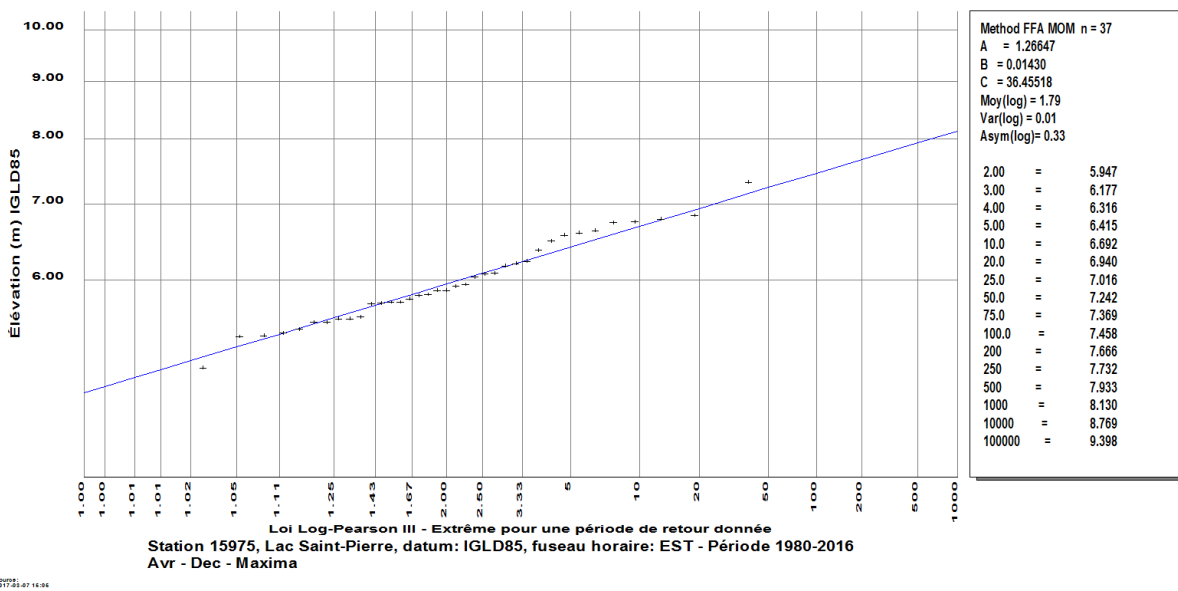


Figure 4-4 Ajustement d'une loi d'extrême de type Log-Pearson III aux niveaux d'eau maxima mesurés au Lac Saint-Pierre pour la période hors glace

Tableau 4-1 Résultats obtenus pour le lac Saint-Pierre suite aux analyses statistiques

	Période	Échantillon	Loi	2 ans	20 ans	100 ans
<b>MRN 90 (point 72)</b>	Variable 1930-1986	Janvier à décembre	LP III	6,44	7,52	7,88
<b>Courbe #2</b>	1980-2016	Avril à décembre	LP III	5,95	6,94	7,46
			Weibull	5,95	6,94	7,38
			<b>Moyenne</b>	<b>5,95</b>	<b>6,94</b>	<b>7,42</b>
<b>Écart</b>			LP III	0,49	0,58	0,42
			<b>Moyenne</b>	<b>0,49</b>	<b>0,58</b>	<b>0,46</b>

# ANNEXE

## L MODÈLE HYDRODYNAMIQUE 2D D'ENVIRONNEMENT CANADA





# ANNEXE L

## Modèle hydrodynamique 2D d'Environnement Canada

### TABLE DES MATIÈRES

<b>L 1</b>	<b>MODÉLISATION DU TRONÇON MONTRÉAL-TROIS-RIVIÈRES DU FLEUVE SAINT-LAURENT .....</b>	<b>2</b>
<b>L 2</b>	<b>LES REVERSOIRS .....</b>	<b>2</b>
<b>L 3</b>	<b>DÉBITS D'APPORTS À IMPOSER AU MODÈLE.....</b>	<b>4</b>
<b>L 4</b>	<b>FLUCTUATION DES DÉBITS DU FLEUVE .....</b>	<b>5</b>
L 4.1	LE CAS PARTICULIER DE L'ANNÉE 1976 .....	5
<b>L 5</b>	<b>LES HUIT SCÉNARIOS DE DÉBIT RETENUS PAR ENVIRONNEMENT CANADA AUX FINS DE MODÉLISATION DES ÉTATS REPRÉSENTATIFS.....</b>	<b>5</b>
<b>L 6</b>	<b>CAS DE SIMULATION RETENUS POUR CETTE ÉTUDE .....</b>	<b>7</b>
L 6.1	ZONE À L'ÉTUDE.....	8
L 6.2	ZONE COUVERTE PAR LE MODÈLE COMPLET D'ENVIRONNEMENT CANADA .....	11
L 6.3	SOUS-DOMAINES EXTRAITS POUR FINS DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS .....	12
L 6.4	TOPOGRAPHIE DES FONDS POUR LA ZONE À L'ÉTUDE.....	13
L 6.5	SIMULATION 1. CONDITIONS DU 11 NOVEMBRE 2016 .....	16
L 6.6	SIMULATION 2. CONDITIONS DU 18 NOVEMBRE 2016 .....	19
L 6.7	SIMULATION 3. CRUE DE PRINTEMPS P6.....	22
L 6.8	SIMULATION 4. CRUE DE PRINTEMPS P7.....	25
L 6.9	SIMULATION 5. CRUE DE PRINTEMPS P8.....	28
<b>L 7</b>	<b>PROFILS EN LONG DE LA LIGNE D'EAU POUR LES CAS SIMULÉS .....</b>	<b>31</b>



## L 1 Modélisation du tronçon Montréal-Trois-Rivières du fleuve Saint-Laurent

Environnement Canada a produit un rapport au début des années 2000 qui brosse un excellent portrait des conditions hydrologiques du fleuve Saint-Laurent au moment de sa publication (Morin et Bouchard, 2000, réf. 27). Nous reproduisons, in extenso, le résumé du rapport dans l'encart ci-dessous. Les soulignés sont de l'auteur du présent rapport.

La caractérisation du comportement temporel et spatial des principales variables physiques telles les débits, les niveaux d'eau, le vent et la température est une étape essentielle pour la production de simulations hydrodynamiques représentatives qui pourront par la suite servir dans le cadre d'études sur les effets des niveaux d'eau sur les divers compartiments du vivant de l'écosystème du fleuve Saint-Laurent.

L'analyse des séries de débits reconstitués du fleuve Saint-Laurent et de ses principaux tributaires entre 1932 et 1998 indique que la régularisation des Grands Lacs a eu pour effet principal à Sorel de réduire le débit au printemps et de l'augmenter à l'automne. Dans le cas du bassin de la rivière des Outaouais, le type d'effet est similaire mais, en crue, son ampleur est près de 10 fois supérieure à celle induite par les Grands Lacs. La régularisation de la rivière des Outaouais devrait donc être considérée au même titre que celle des Grands Lacs dans toute démarche visant à introduire des critères environnementaux dans les plans de gestion du système Grands Lacs/Saint-Laurent.

Dans le cas des données de vents et de température de l'air, des conditions limites ont été identifiées aux fins du développement de modèles du vivant qui seront combinés aux modèles sur la physique permettant ainsi une meilleure intégration des connaissances et leur distribution sur le domaine d'étude.

En tout, 13 scénarios de référence ont été identifiés à partir de la distribution des débits du fleuve à Sorel. Ces scénarios correspondent à la période d'eau libre pour les saisons hydrauliques du printemps (8 scénarios) et de l'été (5 scénarios). L'hiver n'a pas été considéré en raison de la présence de glace et l'automne n'a pas été retenu en raison de l'absence de plantes aquatiques. Pour chaque scénario définissant les conditions limites, des simulations hydrodynamiques seront réalisées en tenant compte de facteurs tels la présence de plantes aquatiques et les vents.

Le lecteur intéressé peut consulter cette référence pour en savoir plus sur le régime hydrologique du fleuve, les débits et les niveaux d'eau. Seuls les aspects jugés pertinents pour la production de notre étude sont abordés dans la suite.

## L 2 Les reversoires

Cinq reversoires ont été construits au niveau des îles de Sorel « afin de faire remonter le niveau d'eau jusqu'au port de Montréal afin de pallier à une baisse éventuelle du niveau d'eau pouvant nuire aux activités de navigation commerciale » (Morin et Bouchard, bid). L'effet des reversoires a été étudié durant les années 60' et l'importance de leur impact varie selon les auteurs. Ces reversoires peuvent être localisés

en consultant les figures qui suivent. Ces figures présentent les cotes du fond du fleuve entre -5 et + 5 m. Sous cette planche de couleurs, les reversoires sont facilement discernables. La liste est affichée à la page suivante.

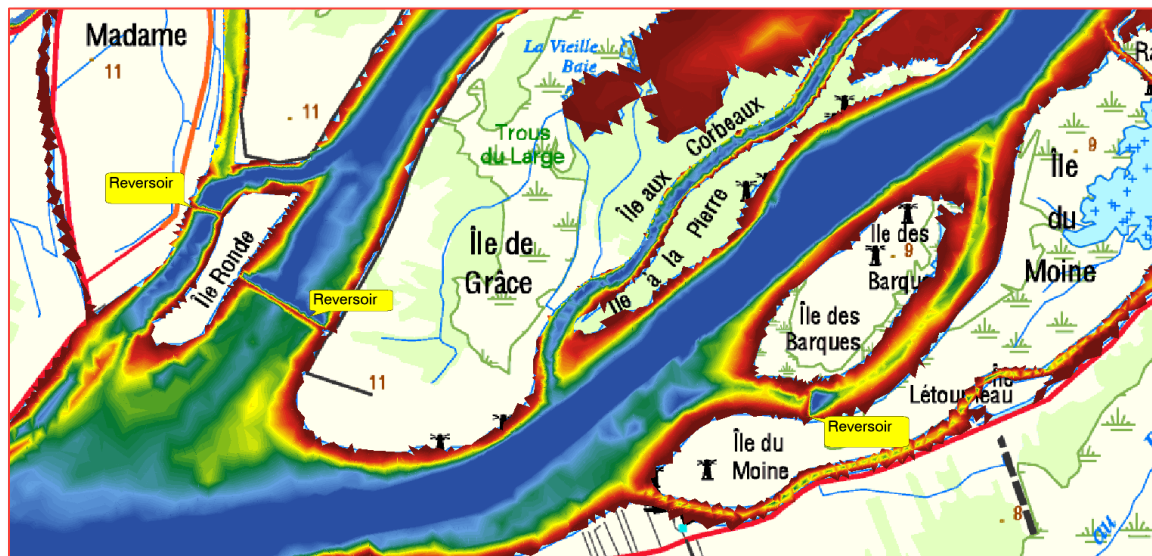


Figure 2-1 Localisation des cinq reversoires dans les îles de Sorel.

Les cinq reversoires qui ont été construits sont :

- Reversoire entre les îles des Barques et du Moine ;
- Reversoire entre les îles de Grâce et Ronde ;
- Reversoire entre l'île Ronde et l'île Madame ;

- Reversoir entre l'île Saint-Ignace et l'île Dorvilliers ;
- Reversoir entre l'île Dorvilliers et l'île du Milieu.

### L 3 Débits d'apports à imposer au modèle

La figure ci-dessous permet d'identifier quels sont les débits d'apport qui doivent être imposés au modèle. Le niveau d'eau à Trois-Rivières est également imposé comme condition à la limite aval.

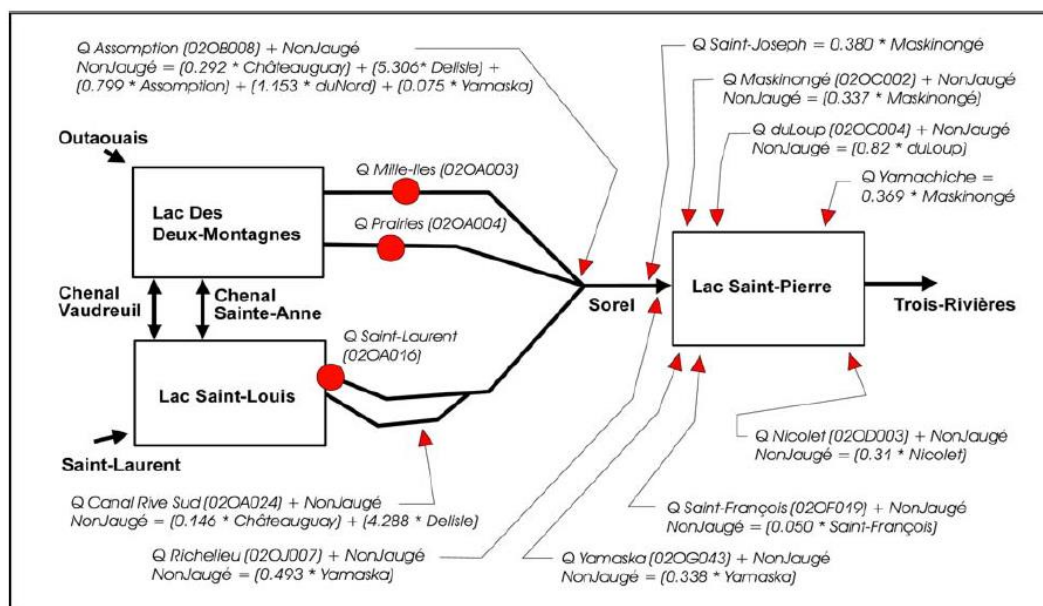


Figure 3-1 Modèle d'apport proposé par Morse (1990) et présenté par Morin (2000) pour le fleuve Saint-Laurent en amont de Trois-Rivières.

Les équations proposées par Morse devraient toutefois être révisées compte tenu des problèmes constatés dans la validité des séries de données pour les rivières des Prairies et des Mille Îles par Dupuis et Leclerc (2014). Le schéma des apports est toutefois valide et illustre la complexité du système. Pour ce tronçon, il n'existe pas de relation niveau-débit biunivoque. En effet, à la section 7.1 du rapport de Morin et Bouchard, les auteurs confirment que « le tronçon Montréal/Trois-Rivières présente une grande complexité dans les masses d'eau. Par exemple, un même débit de 10 000 m<sup>3</sup>/s en un point quelconque du fleuve peut être constitué par différentes proportions des masses d'eau qui peuvent provenir presque entièrement du rapide de Lachine, ou encore être composé d'une grande proportion de l'écoulement provenant des rivières des Mille-Îles et des Prairies. Étant donné l'importance de tributaires comme la rivière Richelieu, les variations dans les proportions des différents apports deviennent de plus en plus complexes vers Trois-Rivières ». On doit donc sélectionner des événements représentatifs pour décrire le comportement hydraulique typique de ce tronçon.

## L 4 Fluctuation des débits du fleuve

Morin et Bouchard observent que le débit moyen du fleuve à Sorel est de l'ordre de 10 000 m<sup>3</sup>/s et que « les fluctuations des débits autour de cette moyenne peuvent être importantes en fonction des cycles climatiques qui influencent la quantité de précipitations ainsi que l'évaporation sur l'ensemble du bassin versant. Ils mentionnent également que « les fluctuations à long terme dans les débits à Sorel sont principalement le fait de l'écoulement provenant des Grands Lacs. L'influence des tributaires se fait principalement sentir lors de la crue printanière. » En fait, l'analyse réalisée à l'annexe E indique que le débit du fleuve peut atteindre 15 000 m<sup>3</sup>/s à Sorel, auquel près de 2 000 m<sup>3</sup>/s peuvent s'ajouter au niveau des apports au lac Saint-Pierre, pour donner une valeur maximale de l'ordre de 17 000 m<sup>3</sup>/s à l'exutoire du lac Saint-Pierre.

### L 4.1 Le cas particulier de l'année 1976

Morin et Bouchard mentionnent que « l'année 1976 est exceptionnelle par sa forte crue printanière qui apparaît très tôt ». Il faut mentionner que cette crue exceptionnelle s'expliquerait en partie par une gestion inadéquate des sous-bassins de la rivière des Outaouais qui a résulté en une hausse marquée du niveau du lac des Deux Montagnes et en des débits importants pour les rivières des Mille Îles et des Prairies. Il faut savoir également que la modélisation hydrologique en était alors à ses premiers balbutiements. L'instauration de réserves de crues pour ce bassin, suite à la construction du barrage Grand Moulin sur la rivière des Mille Îles et à sa mise en opération en 1986, de même que l'utilisation de modèles hydrologiques prévisionnels permettent désormais une meilleure gestion des apports provenant de ce bassin.

## L 5 Les huit scénarios de débit retenus par Environnement Canada aux fins de modélisation des états représentatifs

Nous reprenons, in extenso, le texte de Morin et Bouchard qui explique la démarche suivie pour retenir huit scénarios représentatifs des conditions hydrauliques du bief.

Les huit scénarios choisis ont été caractérisés par le débit à Sorel (Tableau 8). Ces scénarios couvrent tout le spectre des débits observés et s'étendent à une récurrence de près de 1/10 000 ans pour les crues et les étiages. Tous les débits ne sont pas présents dans chacune des saisons hydrauliques puisque certains débits ont une probabilité d'occurrence extrêmement faible en certaines saisons. Les scénarios ont été définis à partir des moyennes de l'été et de l'hiver, qui sont près de 9 500 m<sup>3</sup>/s (Scénario 4) et par la moyenne du printemps qui est de près de 12 000 m<sup>3</sup>/s (Scénario 5). L'écart de 2 500 m<sup>3</sup>/s entre les scénarios a été conservé jusqu'au scénario 7 qui représente une récurrence de 1/16 ans. Le scénario extrême de 20 500 m<sup>3</sup>/s est de 1 500 m<sup>3</sup>/s plus élevé que le maximum hebdomadaire calculé. Pour les scénarios de faible débit, un pas de 1500 m<sup>3</sup>/s a été choisi. Ce pas est plus faible et permet d'obtenir une résolution relative similaire aux débits plus élevés. Les récurrences des scénarios d'étiage sont similaires à celles retenues pour les débits de crue. Le scénario extrême de 5 000 m<sup>3</sup>/s correspond à une récurrence très faible de près de 1/10 000 ans. Bien qu'aucun débit similaire ne soit observé dans la série reconstituée, il a été choisi afin de représenter les conditions possibles d'une baisse d'au moins 20% des apports en eau. Par saison, la numérotation des scénarios est accompagnée d'une lettre identifiant la

saison hydraulique. Le Tableau 8 présente avec les saisons, le pourcentage observé de la tranche de débit représentée par un scénario. Par exemple, les scénarios moyens de l'hiver (4H) et de l'été (4E) représentent respectivement 74% et 62% des observations pour la saison dans la tranche de débit variant de 8 750 à 10 750 m<sup>3</sup>/s. Le tableau 8 cité est reproduit ci-dessous.

Tableau 8 : Numérotation et caractéristique du débit à Sorel pour les scénarios retenus selon les saisons hydrauliques.

Scénario	Débit à Sorel m <sup>3</sup> /s	Différence m <sup>3</sup> /s	Récurrance ans	Hiver	Printemps	Été
8	20 500	+ 3 000	1/7000		8P (0.2%)	
7	17 500	+ 2 500	1/16		7P (2.8%)	
6	14 500	+ 2 500	1/2		6P (26.7%)	
5	12 000	+ 2 500		5H (6.2%)	<b>5P (38.7%)</b>	5E (12.4%)
4	<b>9 500</b>			<b>4H (74.4%)</b>	4P (22.4%)	<b>4E (62.0%)</b>
3	8 000	- 1 500	1/3	3H (18.7%)	3P (7.9%)	3E (22.2%)
2	6 500	- 1 500	1/70	2H (0.7%)	2P (1.3%)	2E (3.4%)
1	5 000	- 1 500	~1/10 000		1P	1E

Note : En gras : scénario moyen pour la saison et entre parenthèses : pourcentage observé dans la tranche des débits par saison.

À la section 7.5 de leur rapport les auteurs indiquent que seuls les événements du printemps et de l'été ont été simulés pour un total de 13 cas simulés. L'intérêt portait alors sur les événements et phénomènes en absence de glace.

Les treize cas de simulations sont donc ceux identifiés aux deux dernières colonnes du tableau. Les données numériques des résultats de ces simulations ont été obtenues d'Environnement Canada (Morin, communication personnelle). Nous en profitons pour souligner l'excellence de la collaboration entre l'équipe de modélisation et l'auteur.

Deux objectifs sont poursuivis dans le cadre de la présente étude relativement au traitement des résultats de modélisation. Le premier est d'obtenir la pente de la ligne d'eau dans la région de Sainte-Anne-de-Sorel ainsi que les différences de niveau d'eau avec ceux mesurés à la courbe 2 du lac Saint-Pierre. Le second est d'évaluer la différence de niveau d'eau entre la station de Varennes et celle du lac Saint-Pierre à la courbe #2.

Les simulations ont été réalisées au début des années 2000. À ce moment, la puissance de calculs limitait la taille des domaines pouvant être modélisés et alors le tronçon du fleuve entre Montréal et Trois-Rivières a été scindé en deux modèles. Cette limitation n'existe plus au moment présent et nous avons obtenu d'Environnement Canada les résultats de modélisation pour les cas 6P, 7P et 8P tiré du modèle actuel qui couvre le domaine en son entier.

## L 6 Cas de simulation retenus pour cette étude

Cinq cas de simulation ont été obtenus d'Environnement Canada. Il s'agit des conditions réelles pour les dates du 11 novembre et du 18 novembre 2016 ainsi que des cas de crues importantes 6P, 7P et 8P. Les cinq cas de simulations obtenus d'Environnement Canada sont identifiés au Tableau 6-1.

Les deux premiers cas sont ceux qui correspondent aux conditions hydrologiques des 11 et 18 novembre 2016, dates auxquelles des relevés de niveaux d'eau ont été réalisés le long des rives du fleuve Saint-Laurent à Saint-Barthélemy. Les trois derniers cas s'avèrent être des scénarios typiques de crues de printemps qui ont été établis par Environnement Canada. Fait particulier, on peut que noter le débit à Sorel le 18 novembre était inférieur à celui du 11 novembre mais que le niveau du lac Saint-Pierre était plus élevé. Ceci s'explique par un niveau du fleuve plus élevé à Trois-Rivières le 18 novembre qui a été imposé à la limite aval du modèle.

Le lecteur notera que des stations limnimétriques mesurent le niveau du lac Saint-Pierre à la courbe #2 du chenal de navigation et les niveaux du fleuve Saint-Laurent à Varennes et Repentigny. La période de mesures à Repentigny est toutefois trop courte pour réaliser des analyses statistiques sur les niveaux extrêmes (voir chapitre 5). On retient la station du lac Saint-Pierre, qui est la plus près et pour laquelle on dispose d'une longue période de mesures. Les cotes obtenues du modèle à ces stations sont indiquées dans ce tableau. À ce moment, il suffit d'indiquer que la cote de 3,65 m au lac Saint-Pierre s'avère être représentative d'une condition de faible débit alors qu'une cote de 7,74 m au lac Saint-Pierre s'avère être représentative d'une crue exceptionnelle. Notons que pour la crue de 2017, le niveau d'eau n'a pas atteint la cote de 7,0 m (6,96 m au pic de crue). Les simulations obtenues permettent donc de couvrir une large partie de l'espace des solutions. Ces résultats permettent d'établir des niveaux d'eau pour d'autres conditions hydrologiques par interpolation dans l'espace des solutions ainsi défini.

*Tableau 6-1 Cas simulés obtenus d'Environnement Canada*

<b>Cas</b>	<b>Date ou scénario</b>	<b>Débit du fleuve à Sorel (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Cote du lac Saint-Pierre à la courbe #2 (m)</b>	<b>Cote à la station de Repentigny (m)</b>	<b>Cote à la station de Varennes (m)</b>
<b>1</b>	2016-11-11	8 626	3,65	4,66	4,82
<b>2</b>	2016-11-18	8 534	4,14	4,99	5,13
<b>3</b>	Scénario 6P	14 500	5,95	7,08	7,23
<b>4</b>	Scénario 7P	17 500	6,67	7,89	8,05
<b>5</b>	Scénario 8P	20 500	7,74	8,88	9,05

Il faut noter que le domaine couvert par le modèle d'Environnement Canada couvre à la fois les cours d'eau et le terrain. Pour faciliter l'interprétation, tous les éléments du modèle, qui ne couvraient que la terre, ont été exclus de la présentation graphique pour les figures qui suivent.



## L 6.1 Zone à l'étude

La zone à l'étude est présentée aux figures ci-dessous. La grille des coordonnées pour la projection SCoPQ fuseau 8 est également affichée. Les Îles de Grâce, aux Corbeaux, à la Pierre, des Barques, du Moine font partie de la Municipalité de Sainte-Anne-de-Sorel. Les autres îles appartiennent à la MRC de d'Autray.



Figure 6-1 Zone à l'étude pour la révision des cotes de crues, région nord



Figure 6-2 Zone à l'étude pour la révision des cotes de crues, région centrale

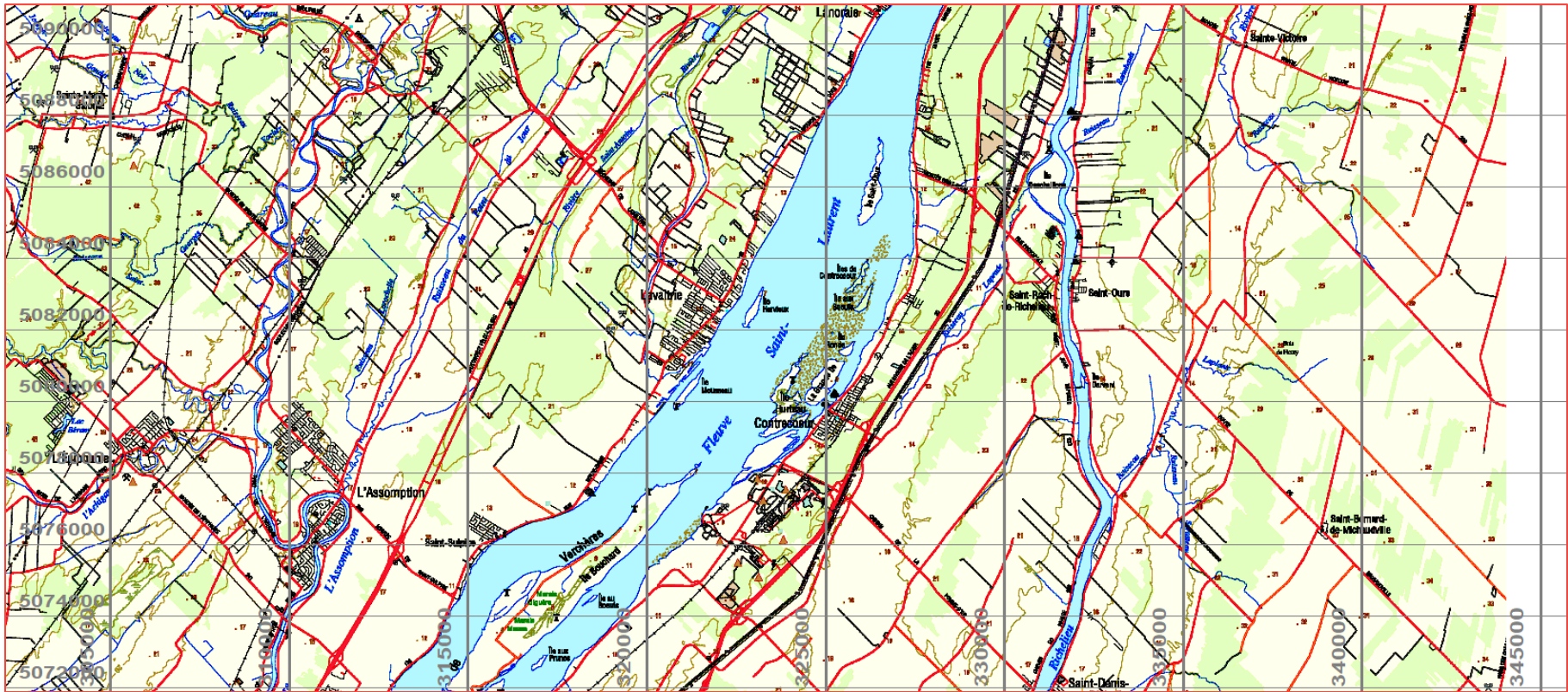


Figure 6-3 Zone à l'étude pour la révision des cotes de crues, région sud

## L 6.2 Zone couverte par le modèle complet d'Environnement Canada

Le modèle numérique utilisé par Environnement Canada permet le recouvrement-découvrement de parcelles de terrain par l'eau. Ainsi, lors d'une crue, de grands pans de terrains peuvent être inondés. Le modèle peut en tenir compte, remplissant un élément d'eau s'il y a débordement ou l'asséchant s'il y a retrait de l'eau. Voici pourquoi plusieurs îles de l'archipel de Sorel sont couvertes par le maillage du modèle. Il s'agit des zones qui ont été considérées comme pouvant être inondées lors des cas imposés de simulation. La densité des points cotés formant le maillage n'est toutefois pas adéquate pour évaluer les zones inondées avec précision. Une autre approche doit être suivie, qui consiste à projeter en rive la cote du niveau d'eau qui est établie dans le chenal. Pour faciliter l'interprétation des résultats, il est préférable d'extraire les éléments couvrant la terre ferme. Le résultat est présenté à la section suivante.

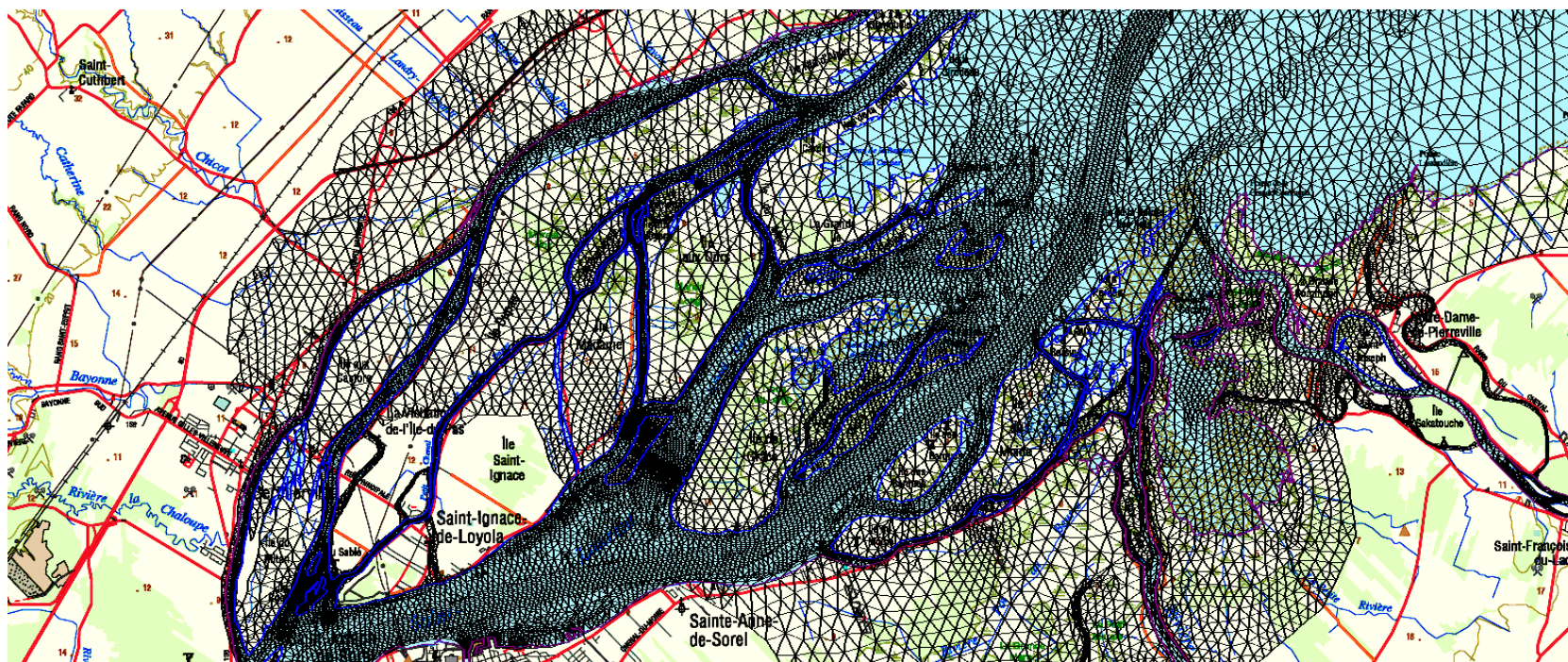


Figure 6-4 Domaine couvert par le modèle numérique d'Environnement Canada

### L 6.3 Sous-domaine extrait pour fins de présentation des résultats

Tous les éléments du modèle qui sont couverts essentiellement le domaine terrestre sont extraits pour faciliter l'interprétation des résultats. Il faut toutefois garder à l'esprit que certaines zones terrestres seront inondées lors de crues importantes et que ces zones ne sont pas affichées sur les figures qui suivent. En effet, la taille des éléments formant le maillage dans ces zones est trop grande pour produire un résultat représentatif des zones inondées. Il faut plutôt extraire les cotes du niveau d'eau dans les chenaux et cours d'eau et projeter ces cotes en rives, sur des tuiles contenant des élévations du terrain à une plus forte densité (un point au mètre par exemple). Il faut donc garder à l'esprit que les résultats affichés aux figures qui suivent présentent les cotes d'élévation tirées du modèle numérique DANS LES CHENAUX ET COURS D'EAU.

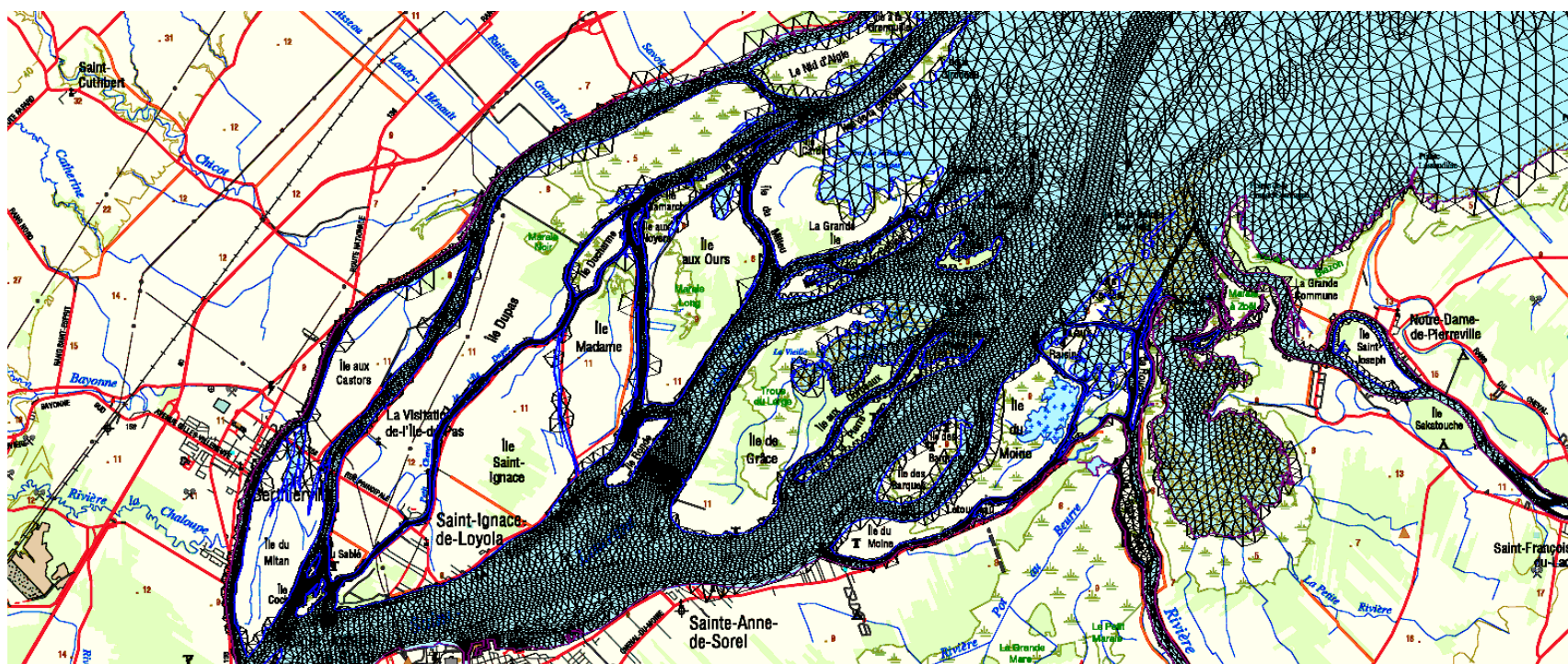


Figure 6-5 *Domaine épuré retenu pour la présentation des résultats de modélisation*

## L 6.4 Topographie des fonds pour la zone à l'étude

La topographie du fond du fleuve Saint-Laurent et des chenaux qui est représentée au modèle est illustrée ci-dessous. Les couleurs chaudes (jaune, orange et rouge) indiquent des zones de faibles profondeurs. Les couleurs froides indiquent des zones profondes. La présence des chenaux et de la voie maritime du Saint-Laurent sont facilement discernables.

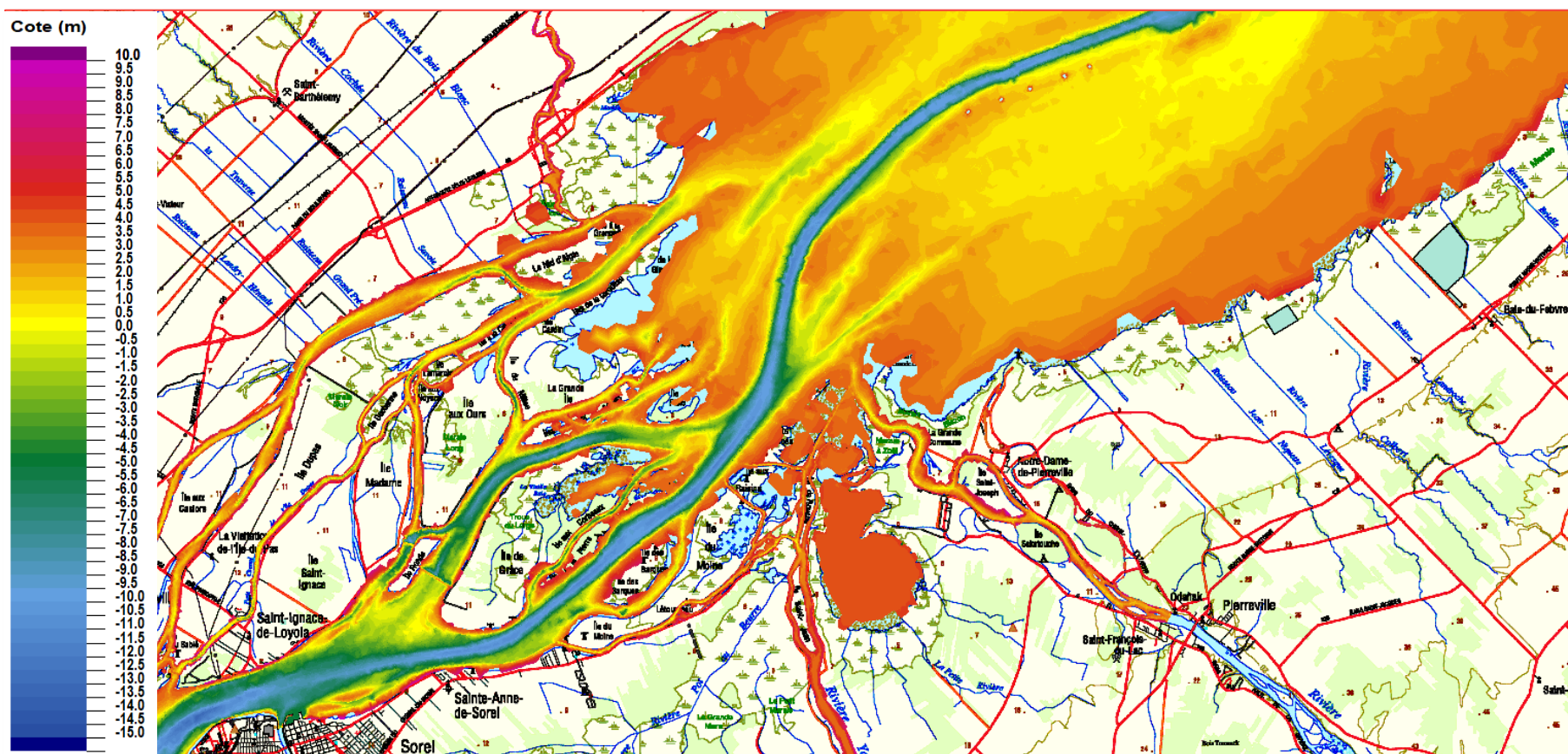
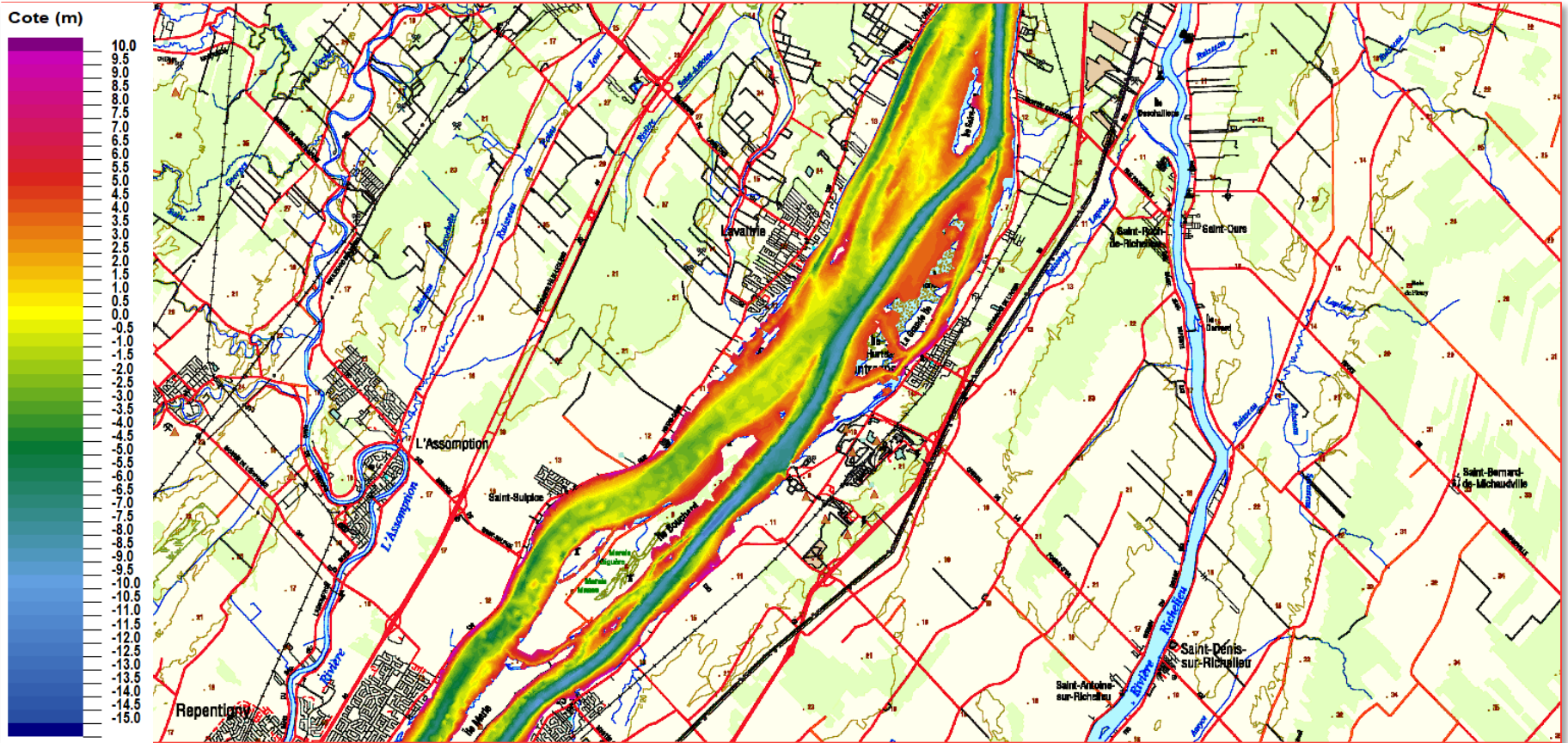


Figure 6-6 Cote des fonds du fleuve et des chenaux pour la zone à l'étude







## L 6.5 Simulation 1. Conditions du 11 novembre 2016

La simulation 1 présente la surface du fleuve pour la journée du 11 novembre 2016. C'est durant cette journée que les cotes des eaux du jour ont été relevées par la firme d'arpenteurs géomètres Laurier Isabelle à Saint-Barthélemy.

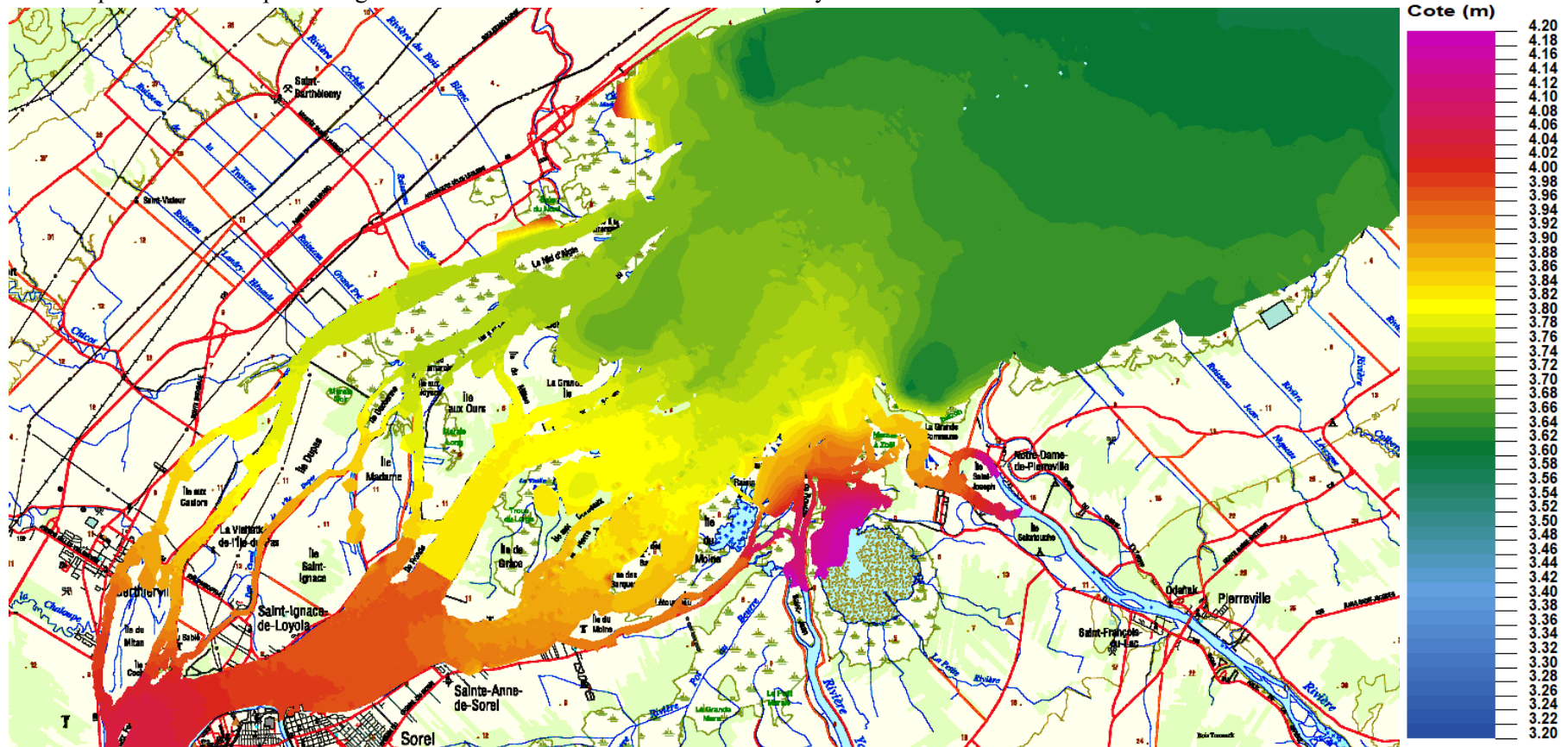


Figure 6-7 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 11 novembre 2016, zone nord

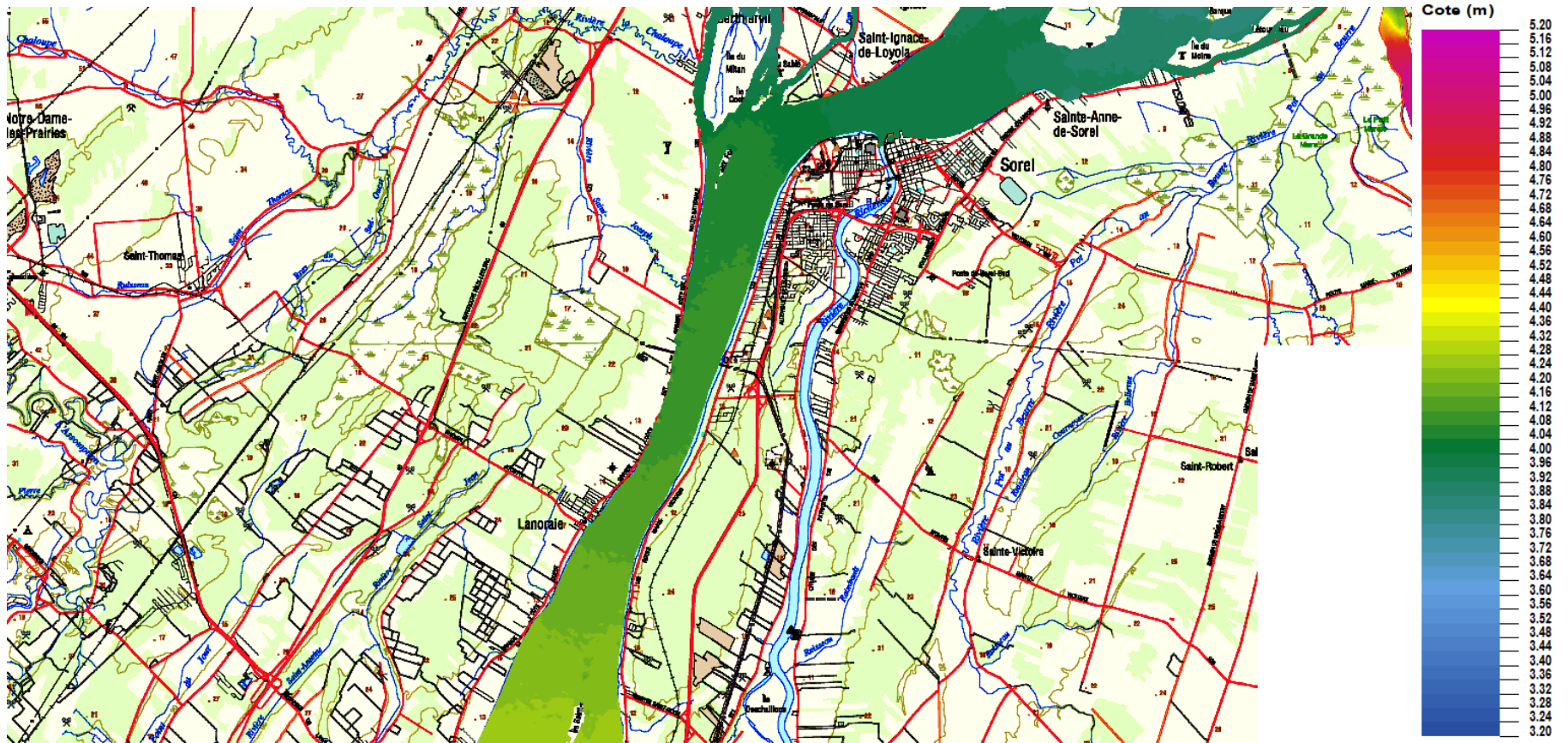


Figure 6-8 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 11 novembre 2016, zone centrale

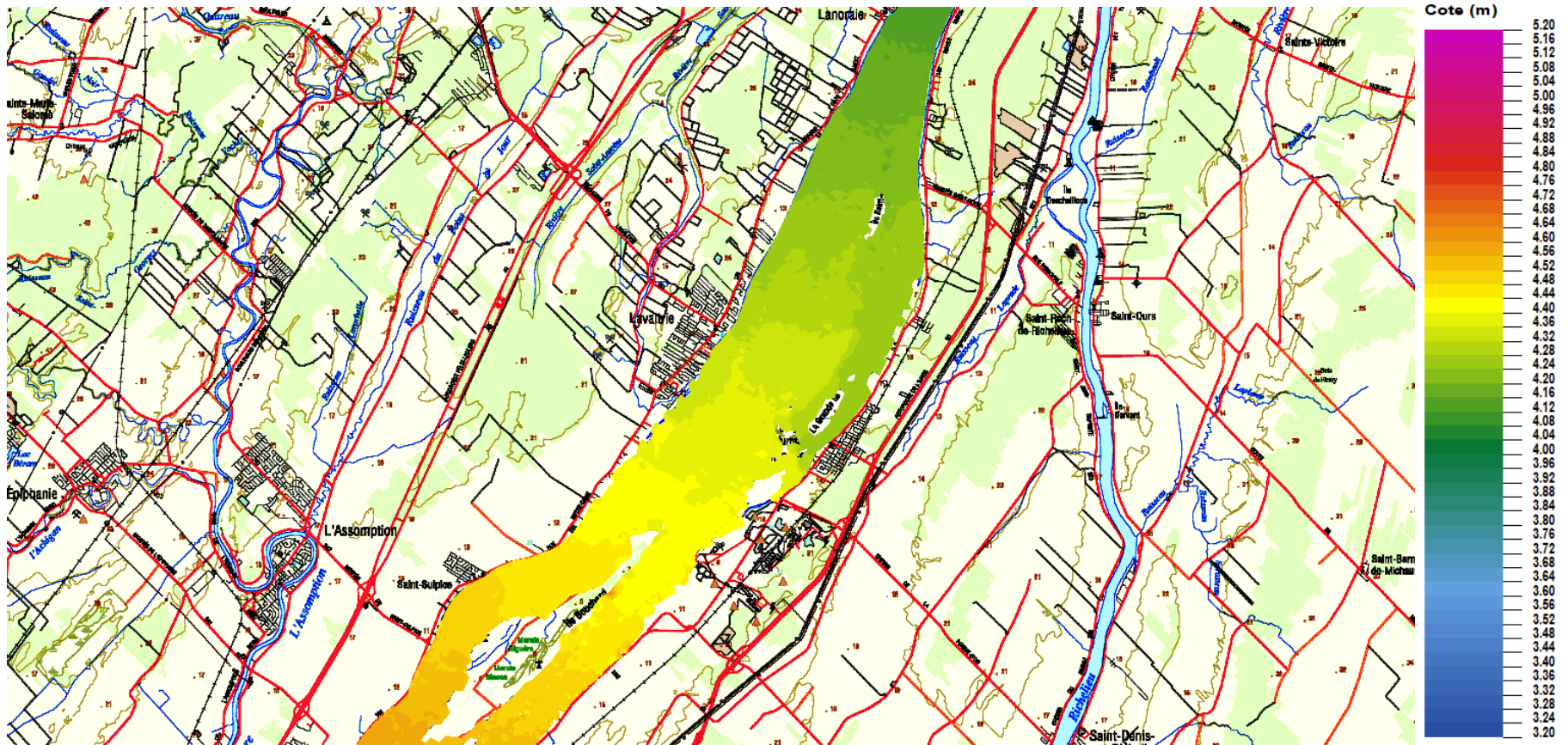


Figure 6-9 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 11 novembre 2016, zone sud

## L 6.6 Simulation 2. Conditions du 18 novembre 2016

La simulation 2 présente la surface du fleuve pour la journée du 18 novembre 2016. Les cotes des eaux du jour ont été relevées par la firme d'arpentiers géomètres Laurier Isabelle le long des rives à Saint-Barthélemy.

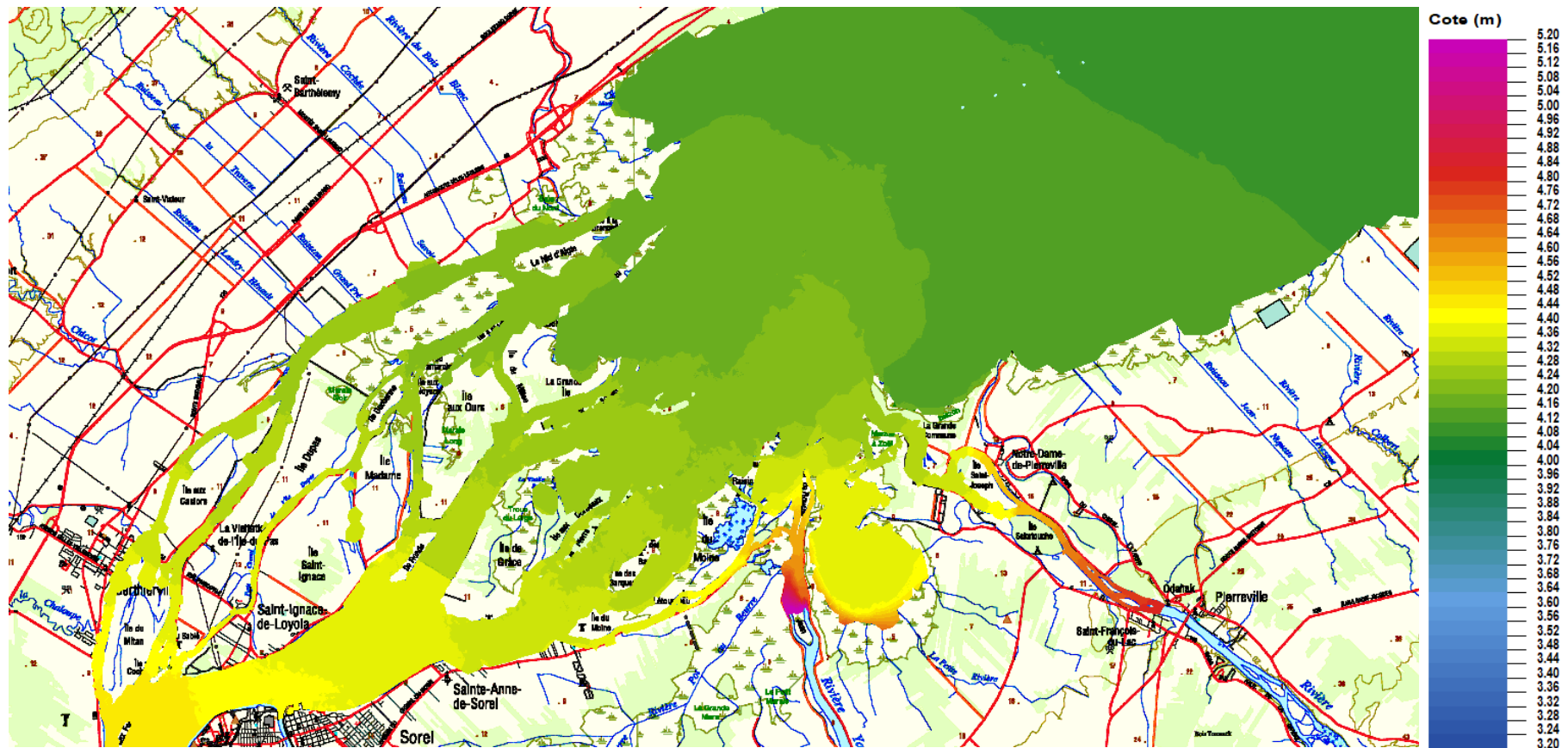


Figure 6-10 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 18 novembre 2016, zone nord

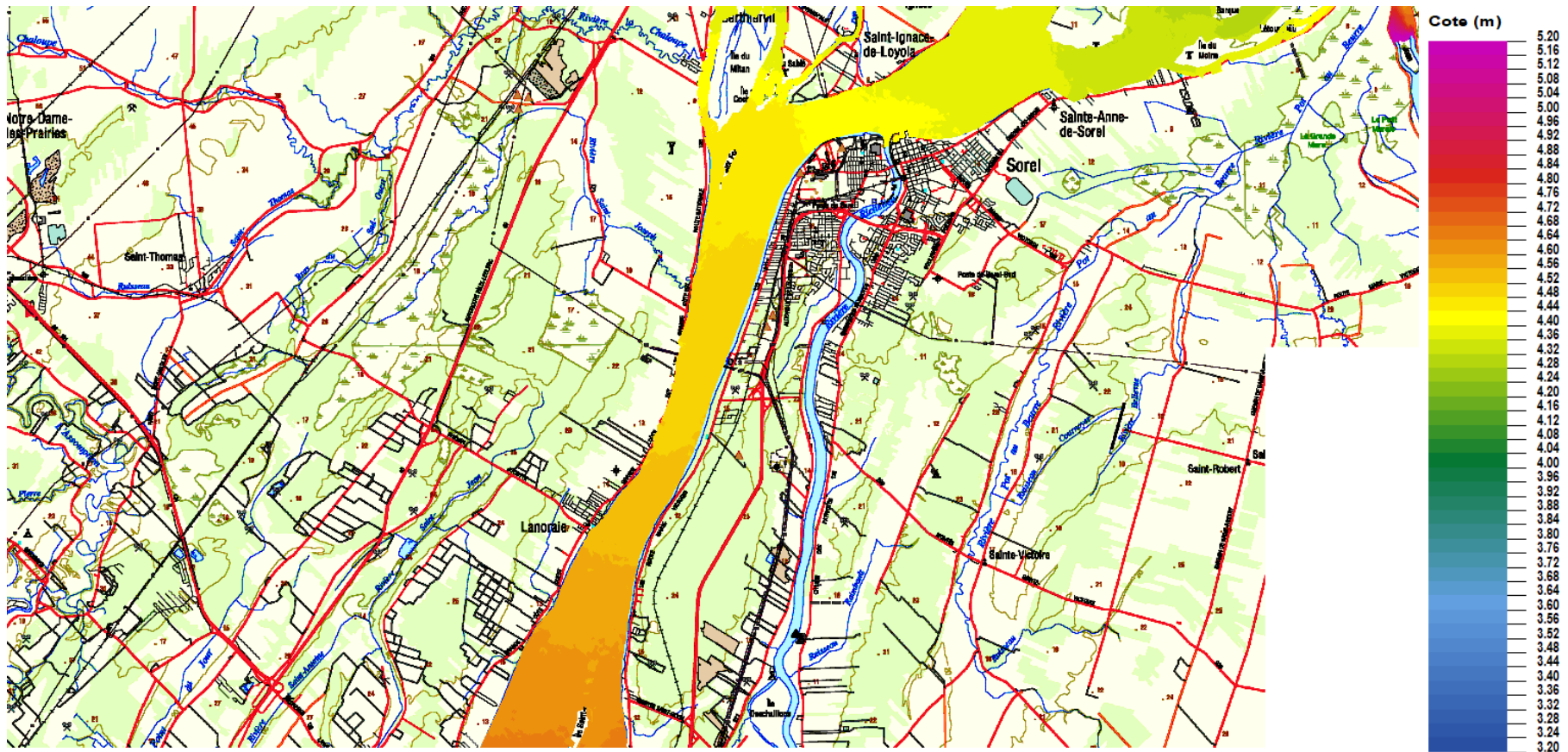


Figure 6-11 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 18 novembre 2016, zone centrale

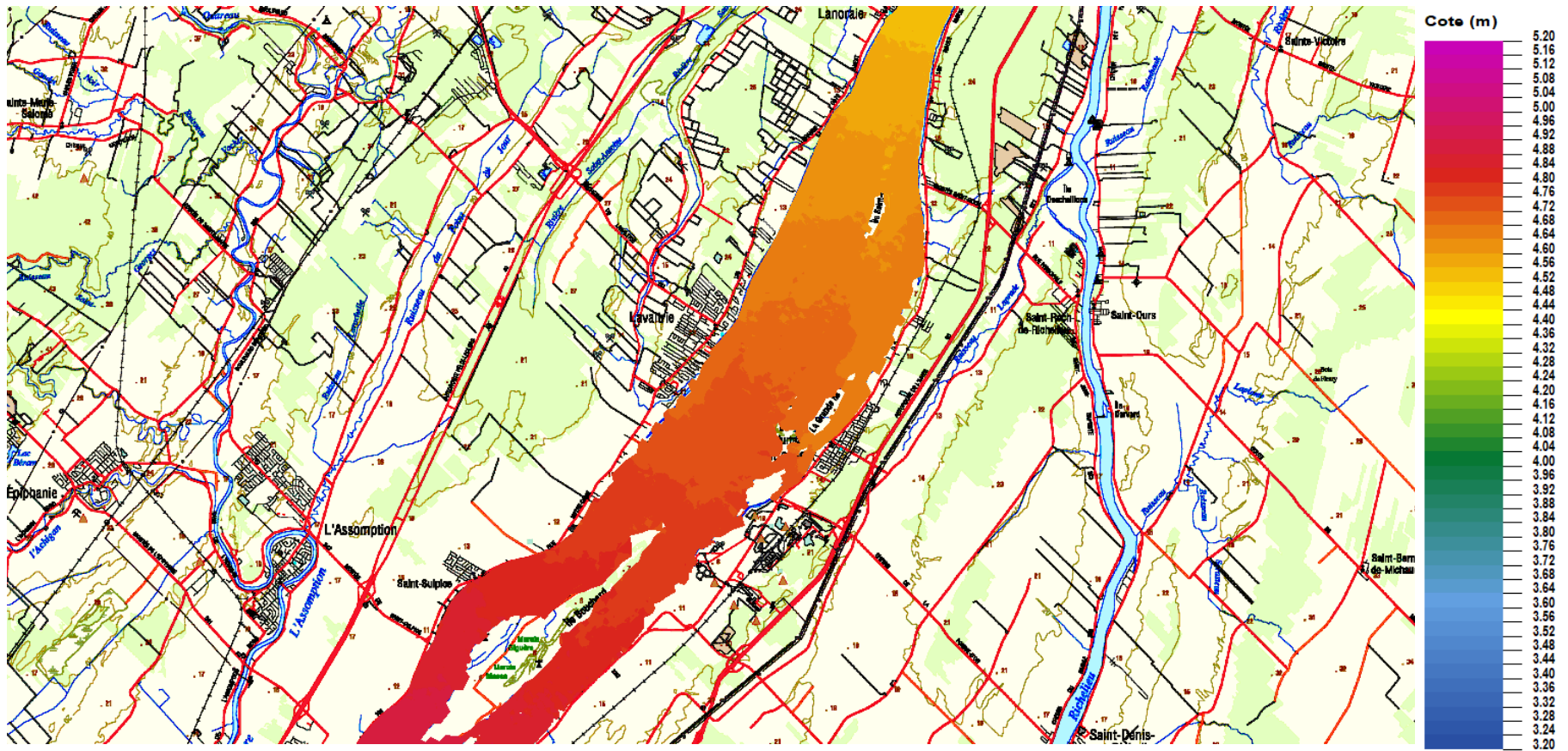


Figure 6-12 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour les conditions du 18 novembre 2016, zone sud

## L 6.7 Simulation 3. Crue de printemps P6

Le scénario P6 est l'un des scénarios retenus par Morin et Bouchard (réf. 27) dans leur rapport portant sur les bases de la modélisation du Tronçon Montréal/Trois-Rivières. La lettre P indique qu'il s'agit de conditions de printemps, par opposition à E qui indique une simulation pour des conditions estivales. Selon le tableau 8 de la référence 27, le débit à Sorel est de 14 500 m<sup>3</sup>/s et la condition était alors considérée comme étant représentative des conditions de crues de récurrence de 2 ans (en 2001).

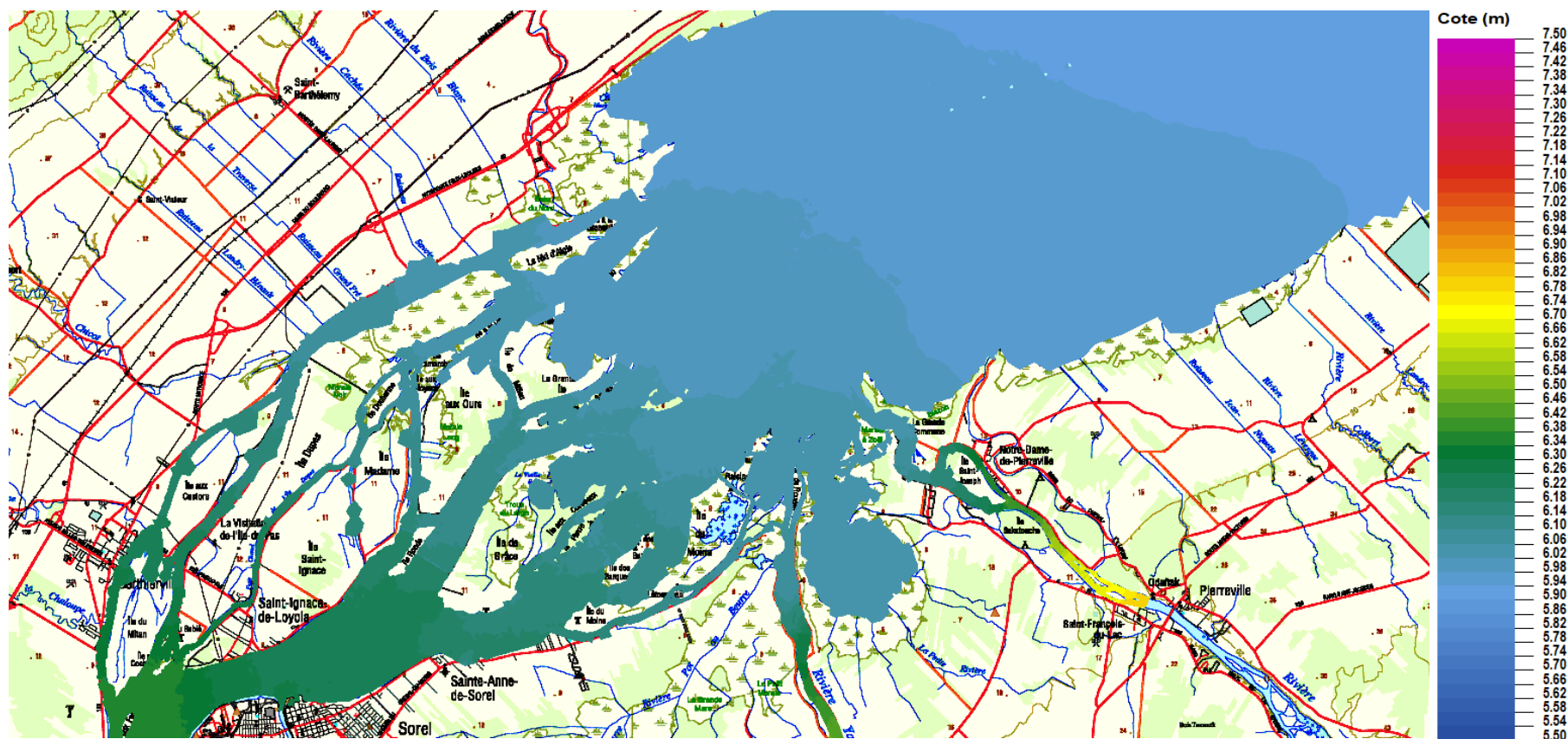


Figure 6-13 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P6, zone nord

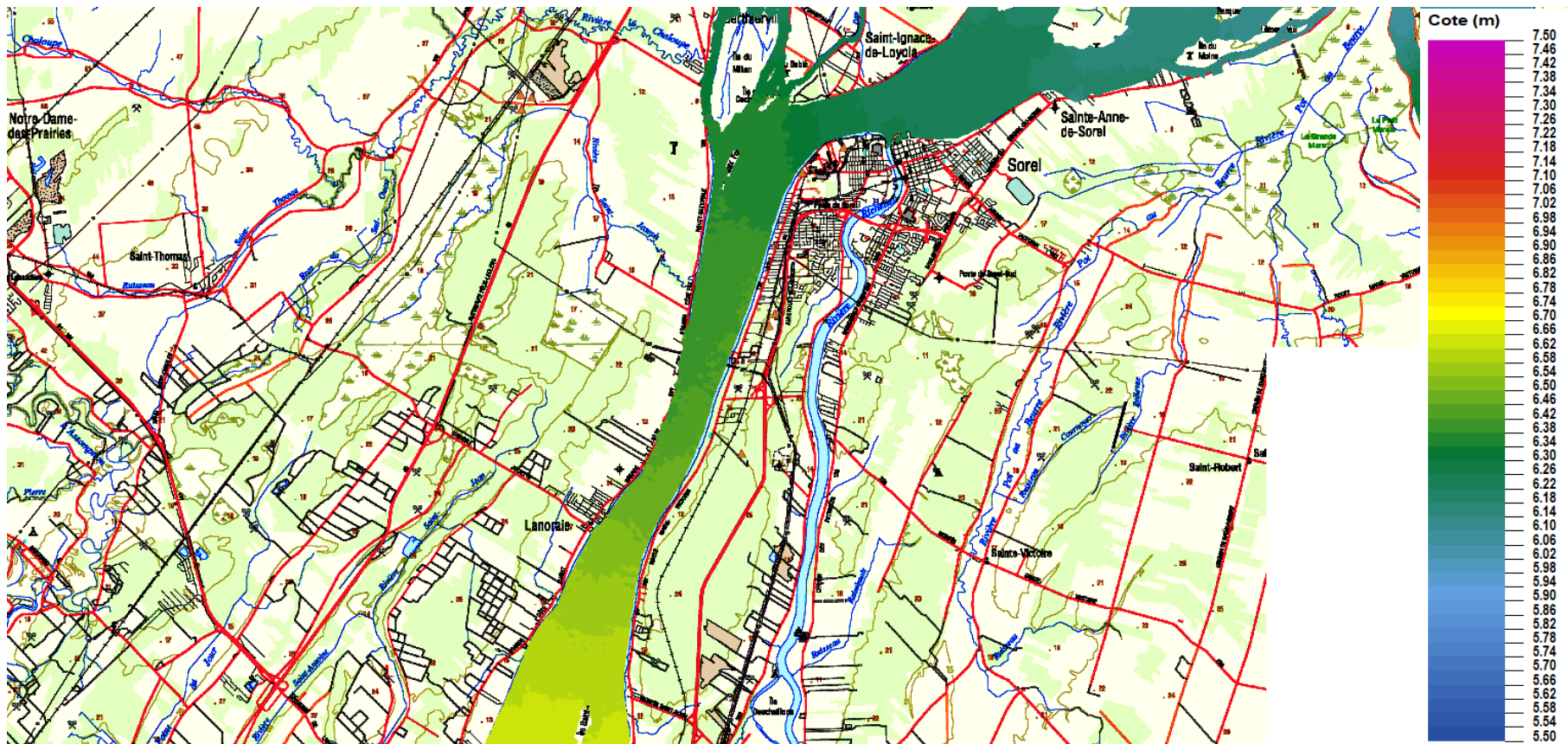


Figure 6-14 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P6, zone centrale



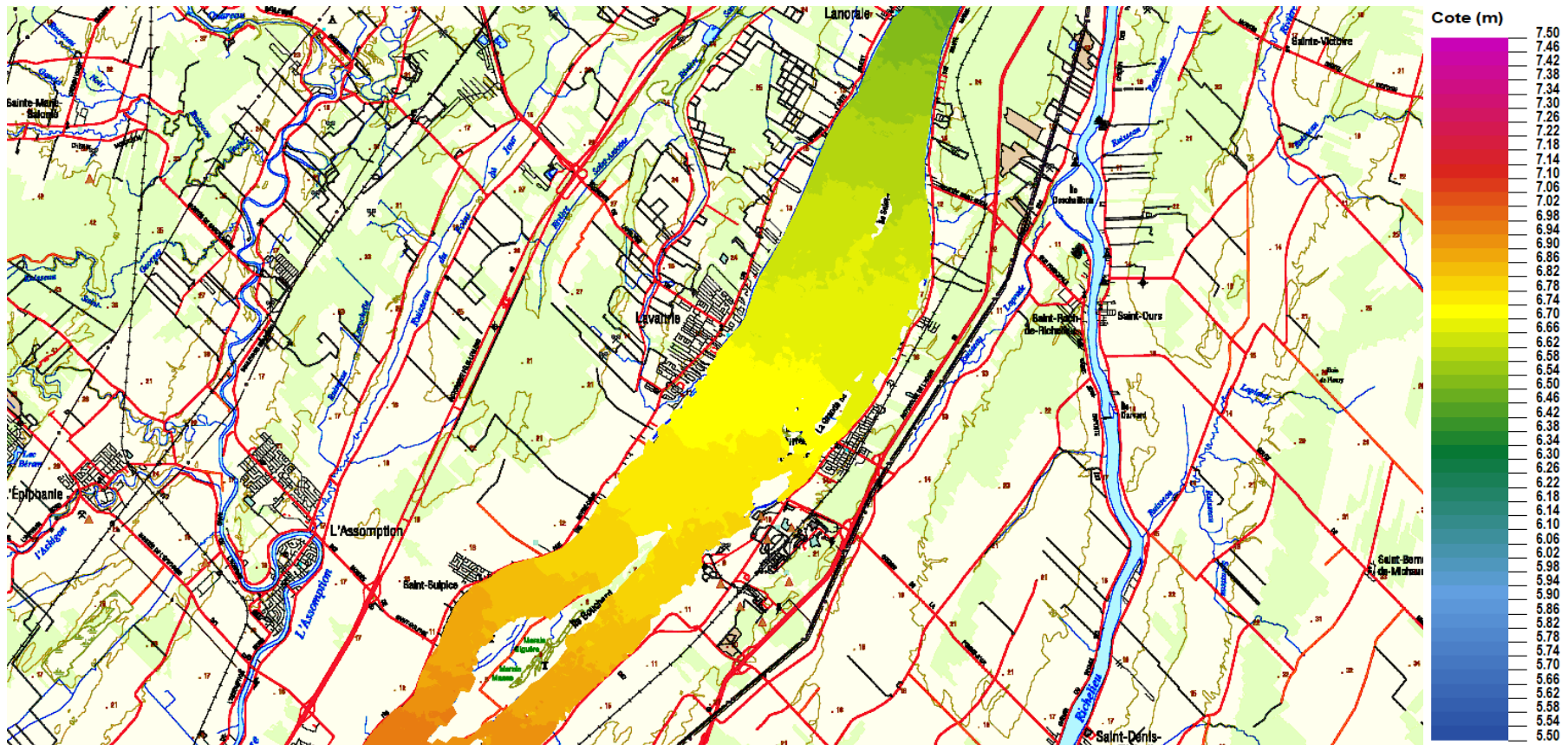


Figure 6-15 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P6, zone sud

## L 6.8 Simulation 4. Crue de printemps P7

Le scénario P7 est l'un des scénarios retenus par Morin et Bouchard (réf. 27) dans leur rapport portant sur les bases de la modélisation du Tronçon Montréal/Trois-Rivières. La lettre P indique qu'il s'agit de conditions de printemps, par opposition à E qui indique une simulation pour des conditions estivales. Selon le tableau 8 de la référence 27, le débit à Sorel est de 17 500 m<sup>3</sup>/s et la condition était alors considérée comme étant représentative des conditions de crues de récurrence de 16 ans (en 2001).

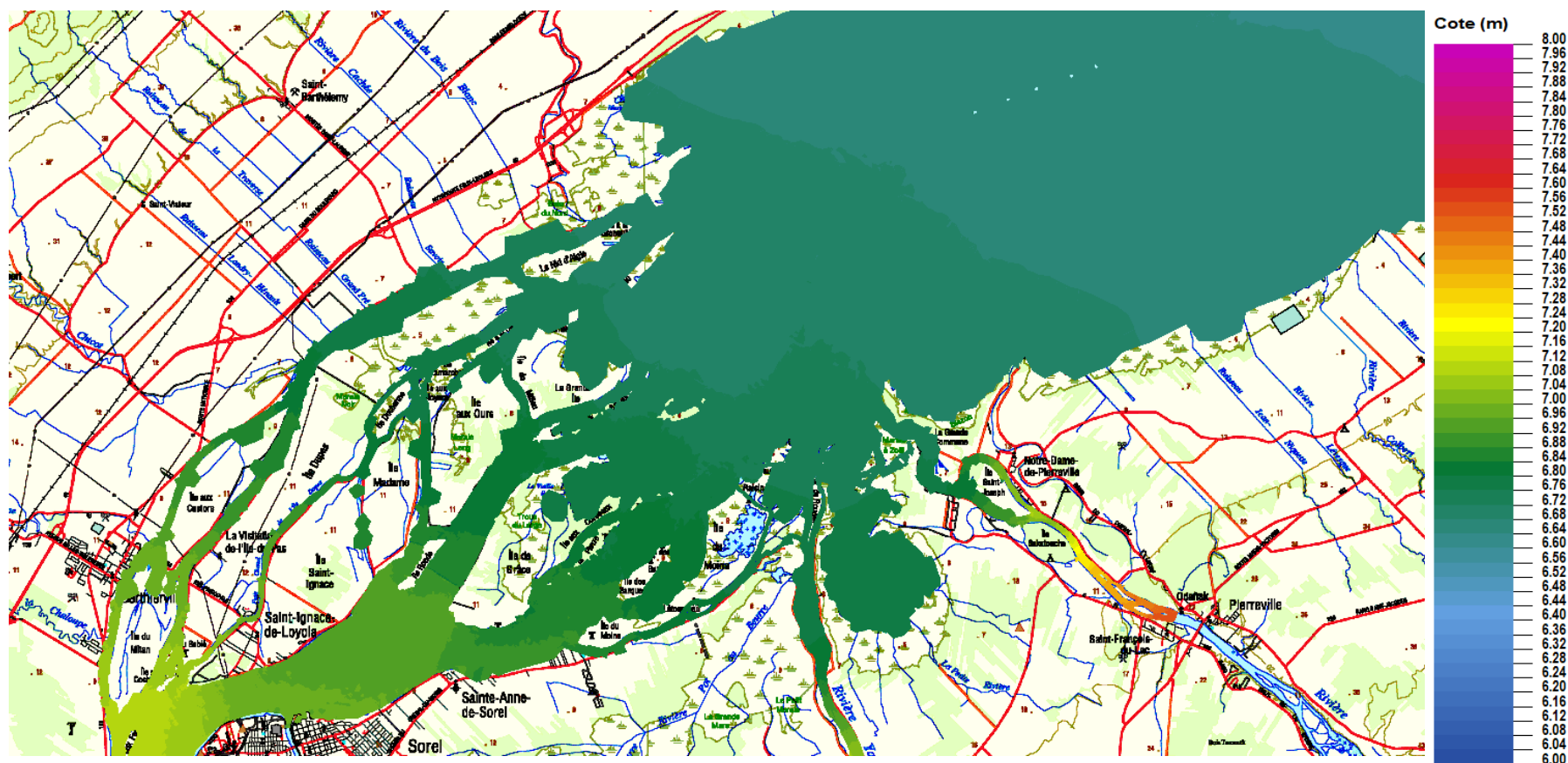


Figure 6-16 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P7, zone nord

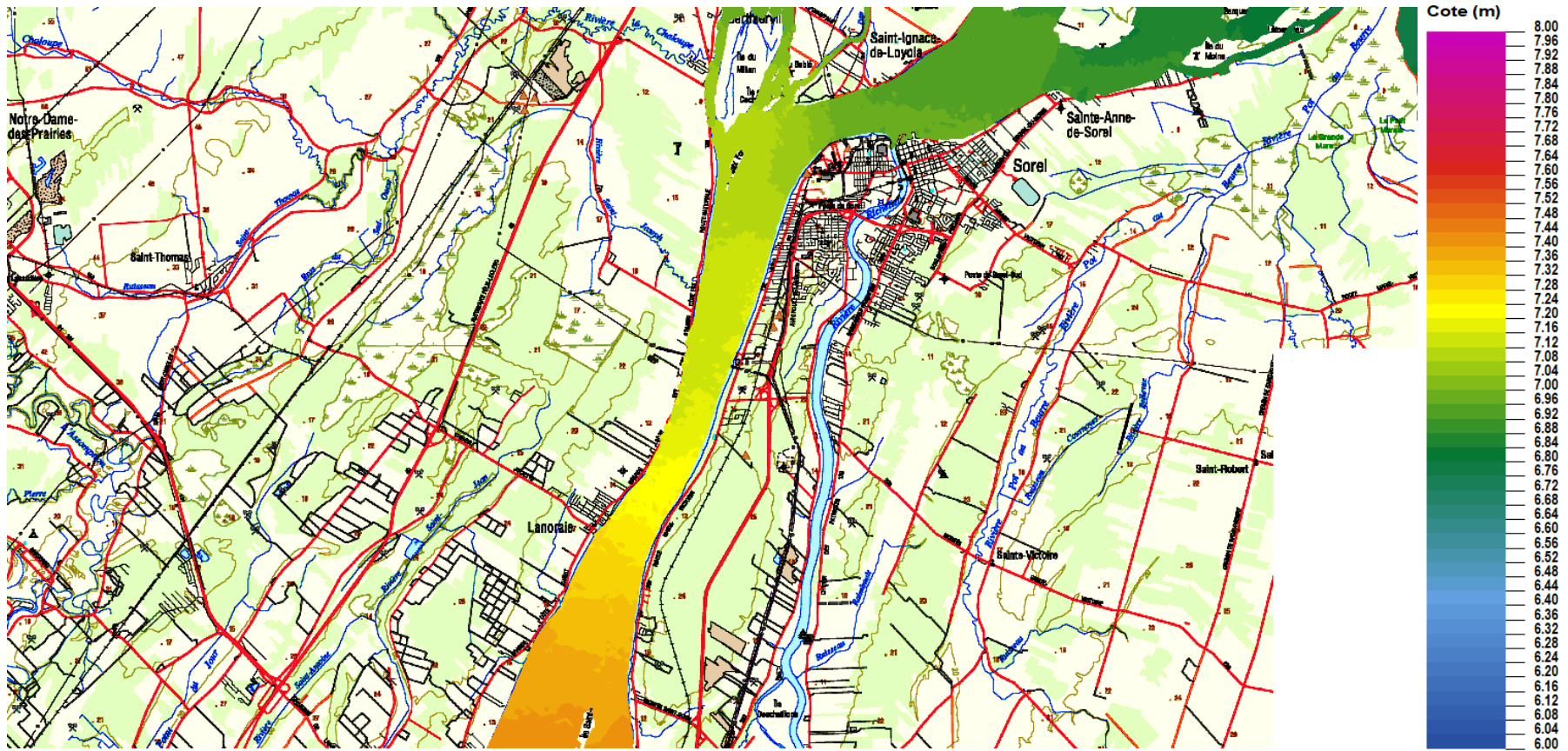


Figure 6-17 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P7, zone centrale

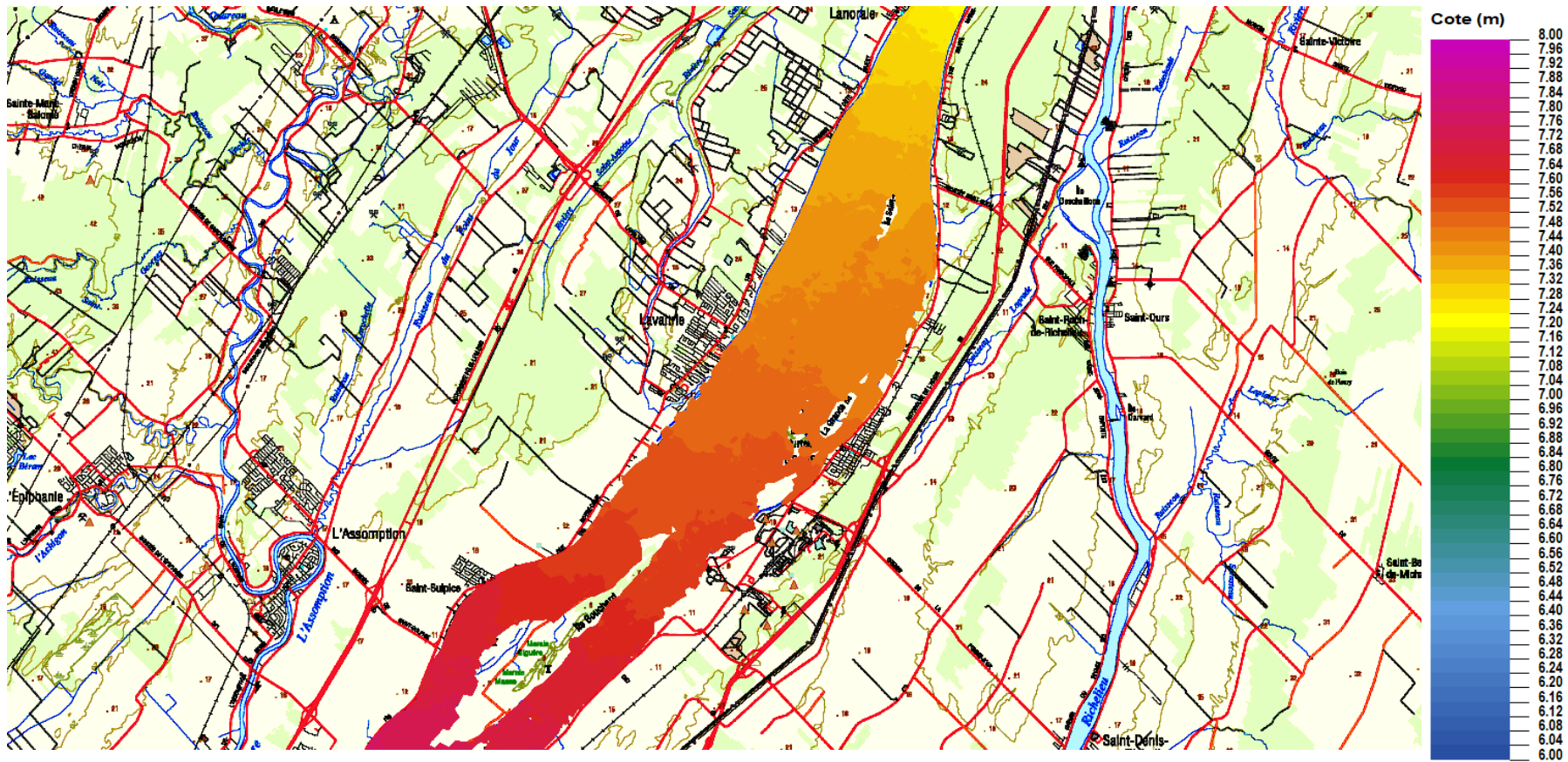


Figure 6-18 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P7, zone sud

## L 6.9 Simulation 5. Crue de printemps P8

Le scénario P8 est le scénario extrême retenu par Morin et Bouchard (réf. 27) dans leur rapport portant sur les bases de la modélisation du Tronçon Montréal/Trois-Rivières. La lettre P indique qu'il s'agit de conditions de printemps, par opposition à E qui indique une simulation pour des conditions estivales. Selon le tableau 8 de la référence 27, le débit à Sorel est de 20 500 m<sup>3</sup>/s et la condition était alors considérée comme étant extrême, le débit étant supérieur de 1 500 m<sup>3</sup>/s au maximum hebdomadaire calculé en 2001. Les auteurs associaient ces conditions à une période de retour de 7000 ans.

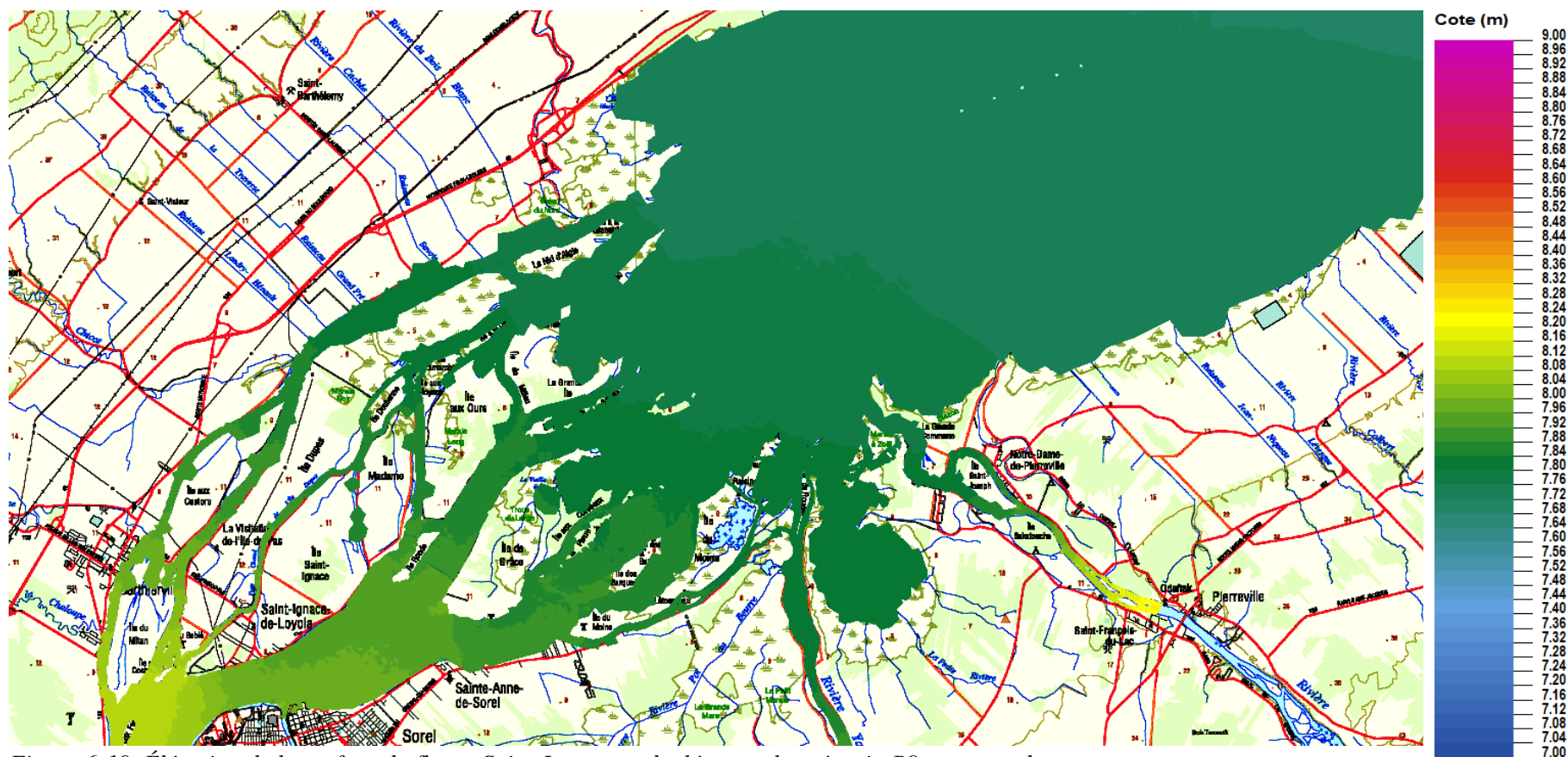


Figure 6-19 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P8, zone nord

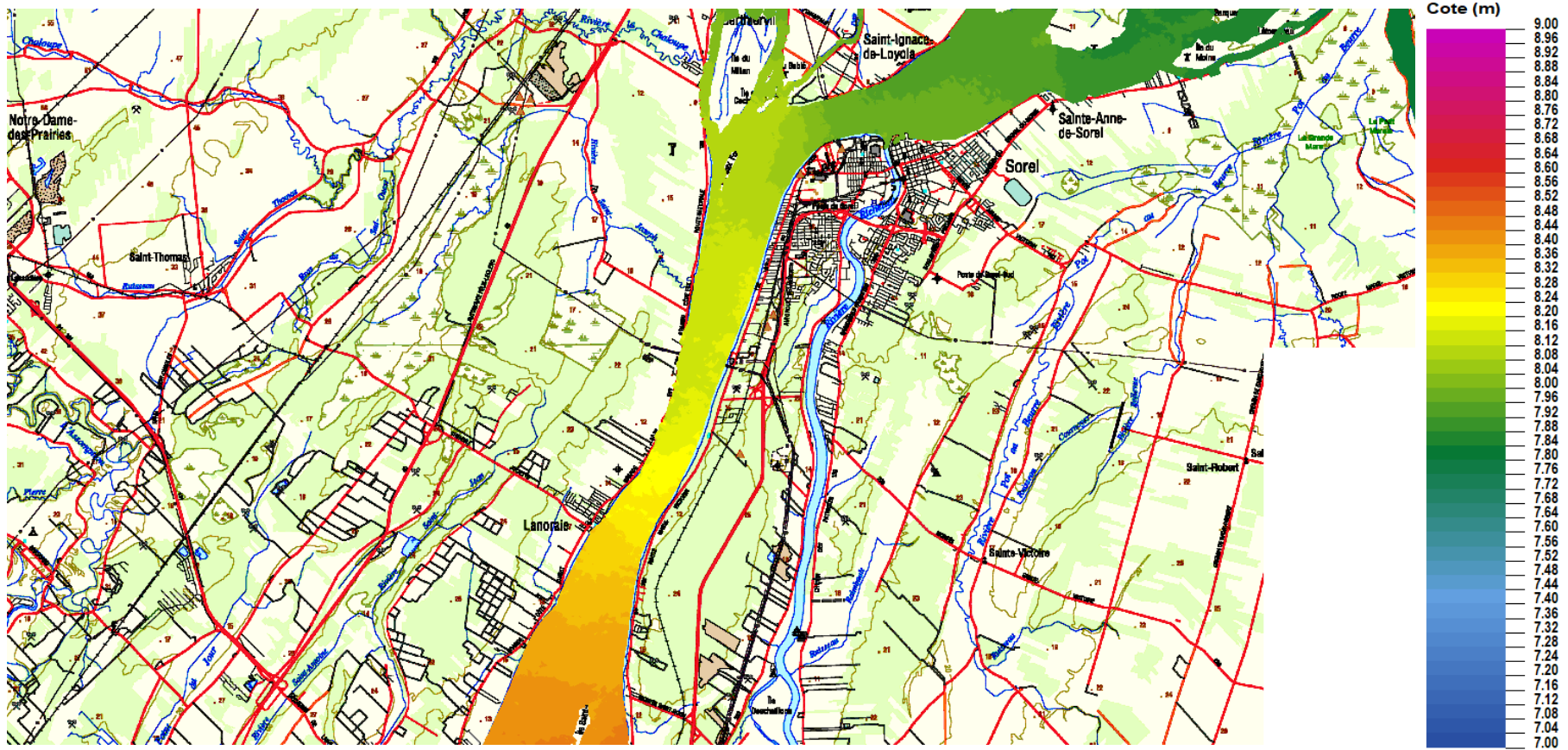


Figure 6-20 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P8, zone centrale

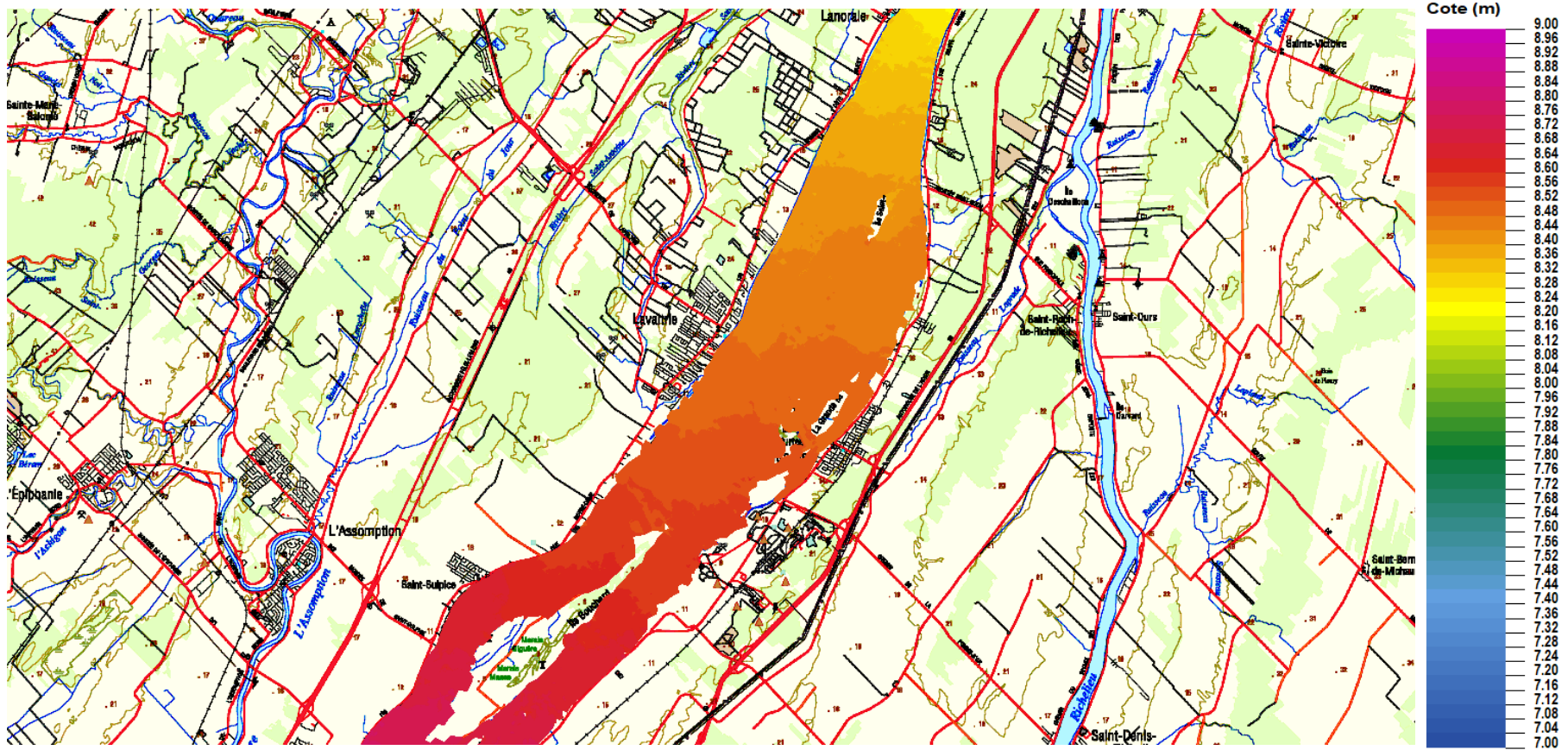


Figure 6-21 Élévation de la surface du fleuve Saint-Laurent calculée pour le scénario P8, zone sud

## L 7 Profils en long de la ligne d'eau pour les cas simulés

La Figure 7-1 permet d'apprécier le rehaussement de la surface le long du parcours qui longe la rive gauche du fleuve Saint-Laurent le long des rives de Repentigny et Saint-Sulpice pour chacun des cinq cas simulés qui ont été obtenus d'Environnement Canada. La région d'intérêt pour Saint-Barthélemy se situe entre les traits verticaux pointillés rouge et verts qui délimitent respectivement l'extrémité du rang Berthelet à l'ouest et l'extrémité de la route de la langue de terre à l'est.

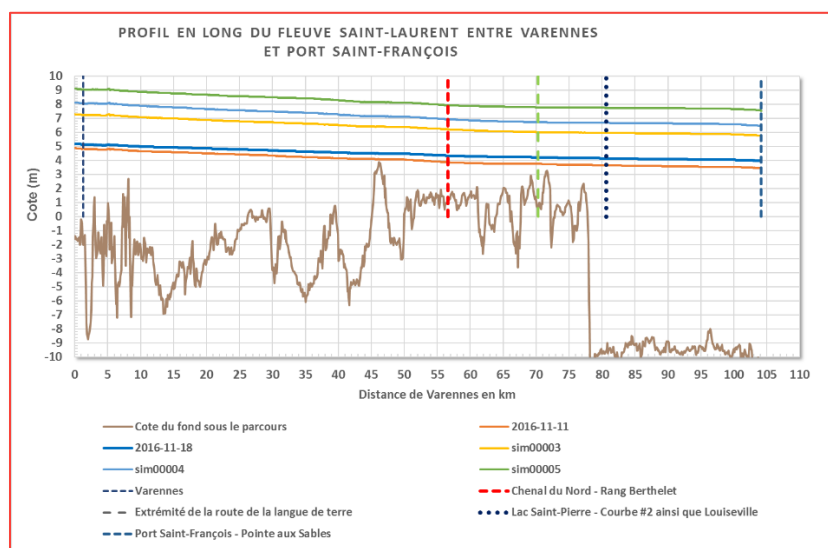


Figure 7-1 Profil de la surface de l'eau du fleuve Saint-Laurent

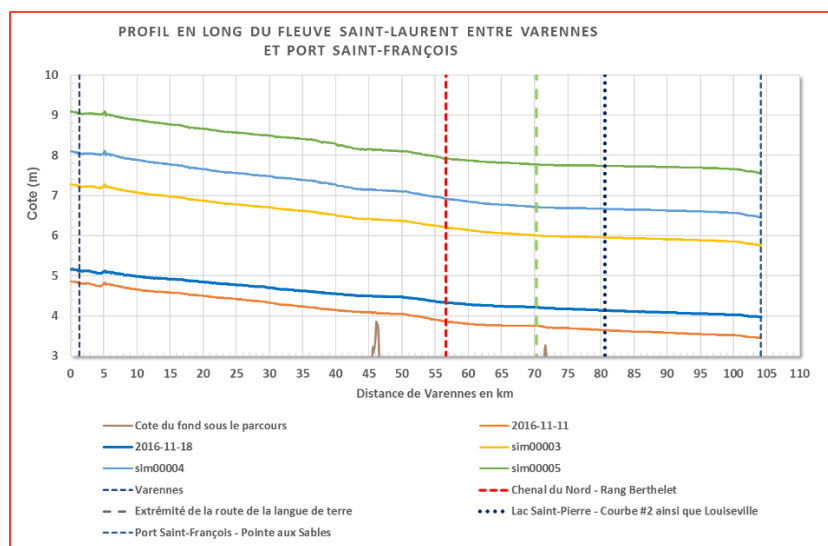


Figure 7-2 Profil de la surface de l'eau du fleuve Saint-Laurent le long du parcours imposé en rive gauche (agrandi sur la cote verticale)



# ANNEXE

## **M** INTERPOLATION SUR UN QUADANGLE





# ANNEXE M

## Interpolation sur un quadangle

### TABLE DES MATIÈRES

<b>M 1</b>	<b>INTERPOLATION SUR UN QUADANGLE.....</b>	<b>2</b>
<b>M 1.1</b>	<b>INTERPOLATION SUR UN ÉLÉMENT QUADRILATÉRAL ISOPARAMÉTRIQUE.....</b>	<b>2</b>
M 1.1.1	CHOIX DE LA BASE POLYNOMIALE .....	2
M 1.1.2	ÉVALUATION DE P EN CHACUN DES 4 NŒUDS DE COORDONNÉES $\xi$ .....	2
M 1.1.3	INVERSION DE [PN] .....	3
M 1.1.4	EXPRESSION DE $\langle N \rangle$ .....	3
<b>M 1.2</b>	<b>DÉTERMINATION DE <math>\xi</math> ET <math>\eta</math> À PARTIR DU POINT X,Y SITUÉ À L'INTÉRIEUR DE L'ÉLÉMENT .....</b>	<b>4</b>
M 1.2.5	CAS GÉNÉRAL.....	4
<b>M 1.3</b>	<b>CAS DÉGÉNÉRÉS .....</b>	<b>6</b>
M 1.3.6	PREMIER CAS DÉGÉNÉRÉ .....	6
M 1.3.7	SECOND CAS DÉGÉNÉRÉ.....	6
<b>M 1.4</b>	<b>CALCUL DE LA VALEUR NODALE INTERPOLÉE .....</b>	<b>7</b>



## M 1 Interpolation sur un quadangle

### M 1.1 Interpolation sur un élément quadrilatéral isoparamétrique

Pour un élément du type présenté à la Figure 1-1 à droite, nous désirons connaître la valeur de  $\xi, \eta$  de l'élément de référence. Une fois les valeurs de  $\xi, \eta$  connues, on peut calculer la valeur interpolée à partir des valeurs nodales aux quatre nœuds. La théorie de base (section 1) est tirée de l'ouvrage de Gouri Dhatt et Gilbert Touzot « Une présentation de la méthode des éléments finis, Maloine S.A. Éditeur » édité aux Presses de l'Université Laval en 1981. Les développements additionnels (sections suivantes) sont de l'auteur.

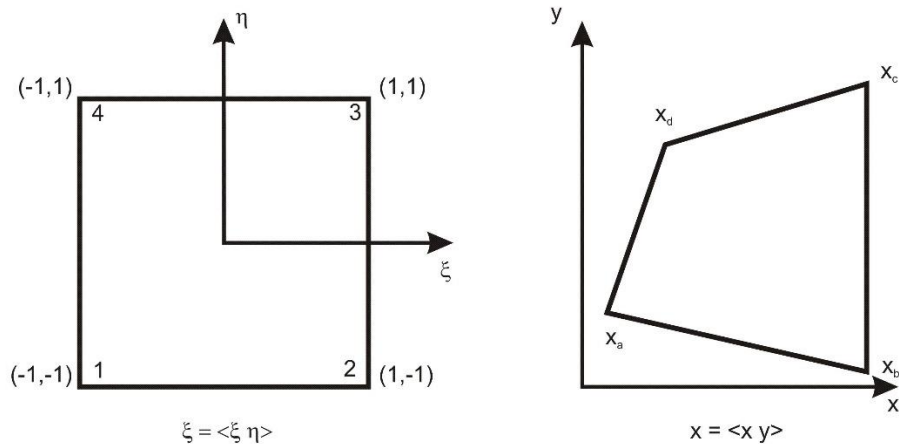


Figure 1-1 Élément de référence et élément réel de type quadrilatéral isoparamétrique

#### M 1.1.1 Choix de la base polynomiale

Nous avons quatre variables nodales ( $n_d = 4$ ). On ne peut utiliser une base polynômiale complète. Le meilleur choix qui respecte la symétrie et la continuité de  $u$  entre les éléments est une base bilinéaire en  $\xi$  et  $\eta$

$$\langle P \rangle = \langle 1 \quad \xi \quad \eta \quad \xi\eta \rangle$$

#### M 1.1.2 Évaluation de $P$ en chacun des 4 nœuds de coordonnées $\xi$

$$[P_n] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \quad \{\xi_n\} = \begin{Bmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \end{Bmatrix} \quad \{\eta_n\} = \begin{Bmatrix} -1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

### M 1.1.3 Inversion de $[P_n]$

Dans ce cas, la matrice  $[P_n]$  est orthogonale puisque les produits scalaires de ses différentes colonnes sont nuls. Chaque vecteur colonne a pour norme une valeur de 4. Donc :

$$[P_n]^{-1} = \frac{1}{4}[P_n]^T = \frac{1}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

### M 1.1.4 Expression de $\langle N \rangle$

$$\langle N \rangle = \langle N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4 \rangle = \langle P \rangle [P_n]^{-1}$$

$$N_1 = \frac{1 - \xi - \eta + \xi\eta}{4} = \frac{(1 - \xi)(1 - \eta)}{4} \quad [1]$$

$$N_2 = \frac{1 + \xi - \eta - \xi\eta}{4} = \frac{(1 + \xi)(1 - \eta)}{4} \quad [2]$$

$$N_3 = \frac{1 + \xi + \eta + \xi\eta}{4} = \frac{(1 + \xi)(1 + \eta)}{4} \quad [3]$$

$$N_4 = \frac{1 - \xi + \eta - \xi\eta}{4} = \frac{(1 - \xi)(1 + \eta)}{4} \quad [4]$$

L'élément est isoparamétrique :

$$x(\xi, \eta) = \langle N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4 \rangle \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{Bmatrix} \quad y(\xi, \eta) = \langle N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4 \rangle \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} \quad [5]$$

## M 1.2 Détermination de $\xi$ et $\eta$ à partir du point $x,y$ situé à l'intérieur de l'élément

### M 1.2.5 Cas général

Insérons les équations 1 à 4 dans 5 (voir section précédente)

$$\begin{aligned}
 4x = & \begin{aligned} & (1-\xi-\eta+\xi\eta) x_1 \\ & + (1+\xi-\eta-\xi\eta) x_2 \\ & + (1+\xi+\eta+\xi\eta) x_3 \\ & + (1-\xi+\eta-\xi\eta) x_4 \end{aligned} & \quad 4y = & \begin{aligned} & (1-\xi-\eta+\xi\eta) y_1 \\ & + (1+\xi-\eta-\xi\eta) y_2 \\ & + (1+\xi+\eta+\xi\eta) y_3 \\ & + (1-\xi+\eta-\xi\eta) y_4 \end{aligned}
 \end{aligned}$$

Travaillons sur  $x$  et distribuons les variables

$$\begin{aligned}
 4x - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4) = & \begin{aligned} & (\xi x_1 - \eta x_1 + \xi\eta x_1) \\ & + (\xi x_2 - \eta x_2 - \xi\eta x_2) \\ & + (\xi x_3 + \eta x_3 + \xi\eta x_3) \\ & + (\xi x_4 + \eta x_4 - \xi\eta x_4) \end{aligned}
 \end{aligned}$$

On obtient

$$(x_2 + x_3 - x_1 - x_4)\xi + (x_3 + x_4 - x_2 - x_1)\eta + (x_1 + x_3 - x_2 - x_4)\xi\eta = 4x - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)$$

Qui peut se réécrire

$$a_1 \xi + b_1 \eta + c_1 \xi\eta = d_1 \quad [6]$$

$$\text{avec } a_1 = (x_2 + x_3 - x_1 - x_4)$$

$$b_1 = (x_3 + x_4 - x_2 - x_1)$$

$$c_1 = (x_1 + x_3 - x_2 - x_4)$$

$$d_1 = 4x - (x_1 + x_2 + x_3 + x_4)$$

Il en va de même pour  $y$  :

$$a_2 \xi + b_2 \eta + c_2 \xi\eta = d_2 \quad [7]$$

$$\text{avec } a_2 = (y_2 + y_3 - y_1 - y_4)$$

$$b_2 = (y_3 + y_4 - y_2 - y_1)$$

$$c_2 = (y_1 + y_3 - y_2 - y_4)$$

$$d_2 = 4y - (y_1 + y_2 + y_3 + y_4)$$

Isolons  $\xi$  de l'équation 6

$$(a_1 + c_1\eta) \xi = 4x - d_1 - b_1\eta \quad \xi = \frac{d_1 - b_1\eta}{a_1 + c_1\eta} \quad [8a]$$

$$(a_2 + c_2\eta) \xi = 4x - d_2 - b_2\eta \quad \xi = \frac{d_2 - b_2\eta}{a_2 + c_2\eta} \quad [8b]$$

Portons 8a dans 7

$$a_2 \left( \frac{d_1 - b_1\eta}{a_1 + c_1\eta} \right) + b_2\eta + c_2 \left( \frac{d_1 - b_1\eta}{a_1 + c_1\eta} \right) \eta = d_2$$

$$a_2(d_1 - b_1\eta) + b_2\eta(a_1 + c_1\eta) + c_2(d_1 - b_1\eta)\eta = d_2(a_1 + c_1\eta)$$

$$a_2d_1 - a_2b_1\eta + a_1b_2\eta + c_1b_2\eta^2 + c_2d_1\eta - c_2b_1\eta^2 = d_2a_1 + d_2c_1\eta$$

Il s'agit d'une équation quadratique

$$(c_1b_2 - c_2b_1)\eta^2 + (a_1b_2 - a_2b_1 + c_2d_1 - c_1d_2)\eta + (a_2d_1 - a_1d_2) = 0$$

$$A\eta^2 + B\eta + C = 0$$

dont les racines sont données par l'équation :

$$\eta = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad [9]$$

Une seule de ces racines est bonne, soit celle qui donne une valeur de  $\eta$  qui se situe à l'intérieur du domaine normalisé  $[-1.0 \ 1.0]$  de l'élément de référence.

La valeur de  $\xi$  est obtenue en insérant la valeur valide obtenue pour  $\eta$  dans l'équation 8.



### M 1.3 Cas dégénérés

Reprenons l'équation [6]. Lorsque l'élément quadrilatéral s'avère être un rectangle orienté selon le référentiel  $X-Y$  dans le monde réel. Sous ces conditions certaines de équations obtenues à la section précédente deviennent invalides car le dénominateur peut être nul. Il existe plusieurs combinaisons de cas dégénérés. En effet, chacun des paramètres  $a$ ,  $b$  et  $c$  peut être nul et certaines combinaisons mènent à des conditions de division par zéro, notamment pour les équations [8a] et [8b]. Ces cas sont décrits aux sous-sections qui suivent.

#### M 1.3.6 Premier cas dégénéré

De l'équation 8a, on constate que si  $a_1$  et  $c_1$  sont nuls, il y a division par zéro.

$$(a_1 + c_1)\xi = 4x - d_1 - b_1\eta \quad \xi = \frac{d_1 - b_1\eta}{a_1 + c_1\eta} \quad [8a]$$

Posons  $a_1$  et  $c_1$  comme étant nuls. L'équation [6] se simplifie alors à

$$b_1\eta = d_1 \quad [6a]$$

Auquel cas la valeur de  $\eta$  est donnée par :

$$\eta = \frac{d_1}{b_1}$$

Finalement valeur de  $\xi$  est alors tirée de l'équation [8b]

$$(a_2 + c_2)\xi = 4x - d_2 - b_2\eta \quad \xi = \frac{d_2 - b_2\eta}{a_2 + c_2\eta} \quad [8b]$$

#### M 1.3.7 Second cas dégénéré

Le développement est similaire à celui de la section 3.3.1 à l'exception que ce sont les valeurs des variables  $a_2$  et  $c_2$  qui sont nulles, il y a division par zéro.

$$(a_2 + c_2)\xi = 4x - d_2 - b_2\eta \quad \xi = \frac{d_2 - b_2\eta}{a_2 + c_2\eta} \quad [8b]$$

Posons  $a_2$  et  $c_2$  comme étant nuls. L'équation [7] se simplifie alors à

$$b_2\eta = d_2 \quad [6b]$$

Auquel cas la valeur de  $\eta$  est donnée par :

$$\eta = \frac{d_2}{b_2}$$

Finalement valeur de  $\xi$  est alors tirée de l'équation [8a]

$$(a_1 + c_1\eta) \xi = 4x - d_1 - b_1\eta \quad \xi = \frac{d_1 - b_1\eta}{a_1 + c_1\eta} \quad [8a]$$

## M 1.4 Calcul de la valeur nodale interpolée

Une fois les valeurs  $\xi$ ,  $\eta$  connues, on peut calculer les fonctions d'interpolation N1 à N4 (équations 1 à 4) et ensuite la valeur interpolée à la position  $x$ ,  $y$  à partir des valeurs aux 4 nœuds de la variable nodale  $z$  de l'élément.

$$z(\xi, \eta) = \langle N_1 \quad N_2 \quad N_3 \quad N_4 \rangle \begin{Bmatrix} z_1 \\ z_2 \\ z_3 \\ z_4 \end{Bmatrix}$$

# ANNEXE

## **N** LA CRUE DE 2017





# ANNEXE N

## La crue de 2017

### TABLE DES MATIÈRES

<b>N 1</b>	<b>LA CRUE EXCEPTIONNELLE DE 2017.....</b>	<b>2</b>
<b>N 2</b>	<b>NIVEAU D’EAU DU LAC ONTARIO EN 2017 .....</b>	<b>2</b>
<b>N 3</b>	<b>DÉBIT SORTANT DU LAC ONTARIO À CORNWALL.....</b>	<b>4</b>
<b>N 4</b>	<b>LE NIVEAU D’EAU AU LAC DES DEUX MONTAGNES .....</b>	<b>4</b>
N 4.1	NIVEAU D’EAU MESURÉ À LA STATION DE SAINTE-ANNE-DE-BELLEVUE .....	4
N 4.2	NIVEAU D’EAU MESURÉ À POINTE-CALUMET .....	6
<b>N 5</b>	<b>CONDITIONS POUR LE LAC SAINT-LOUIS.....</b>	<b>7</b>
<b>N 6</b>	<b>DÉBIT DU FLEUVE SAINT-LAURENT À LASALLE .....</b>	<b>8</b>
<b>N 7</b>	<b>CONDITIONS POUR LA RIVIÈRE DES MILLE ÎLES .....</b>	<b>10</b>
<b>N 8</b>	<b>CONDITIONS POUR LA RIVIÈRE DES PRAIRIES.....</b>	<b>10</b>
<b>N 9</b>	<b>LES ÉVÉNEMENTS AU MOMENT DU PIC DE CRUE AU LAC DES DEUX MONTAGNES .....</b>	<b>13</b>
<b>N 10</b>	<b>LA CRUE DE 2017 AU LAC SAINT-PIERRE .....</b>	<b>15</b>



## N 1 La crue exceptionnelle de 2017

L'analyse des séries hydrologiques confirme que la crue du printemps 2017 s'avère être un événement exceptionnel du point de vue des annales hydrologiques. Un événement exceptionnel est souvent caractérisé par une combinaison inhabituelle de plusieurs facteurs qui concourent à produire des conséquences extrêmes rarement vécues. L'année 2017 se situe dans un cycle considéré comme humide lorsqu'on analyse l'évolution des stocks en eau disponible provenant du bassin des Grands Lacs.

Les niveaux élevés du lac Ontario, au début de la crue de la rivière des Outaouais de 2017, ont forcé les autorités à gérer le débit sortant du lac Ontario de façon très serrée. Le débit sortant à Cornwall a longtemps été maintenu sous la barre des 8 000 m<sup>3</sup>/s et a même été abaissé à 6 200 m<sup>3</sup>/s quelques jours avant le pic de crue qui était anticipé se produire le 8 mai au lac des Deux Montagnes. Une série de systèmes dépressionnaires gorgés d'eau, qui ont tous suivi une trajectoire les faisant passer au-dessus du lac Ontario et du bassin de la rivière des Outaouais, a exacerbée les quantités précipitées et ruissellées sur ces bassins. On parlait souvent de dépressions qui déversaient de 40 à 70 mm de pluie en une courte période de temps. Des sols gorgés d'eau, limitant de ce fait l'infiltration, ont contribué à un fort ruissellement vers les plans d'eau importants. Comme la prévision efficace du passage d'une dépression n'est valable que pour quelques jours, il était impossible, pour les spécialistes, de prédire à moyen terme les volumes additionnels qui allaient contribuer à la crue. A ces dépressions s'ajoute une épaisseur du couvert nival plus important que d'habitude dans la partie septentrionale du bassin de la rivière des Outaouais. Sa fonte, provoquée par l'arrivée du temps doux et des plusieurs épisodes pluvieux, allait contribuer à augmenter les apports en eau dans le système et à faire perdurer la crue. Il faut en effet comprendre que si la gestion des apports permet de limiter la cote atteinte lors d'une crue, elle a par contre comme conséquence de l'étirer dans le temps. Une durée plus longue nécessairement requise pour évacuer tout le volume d'eau précipité.

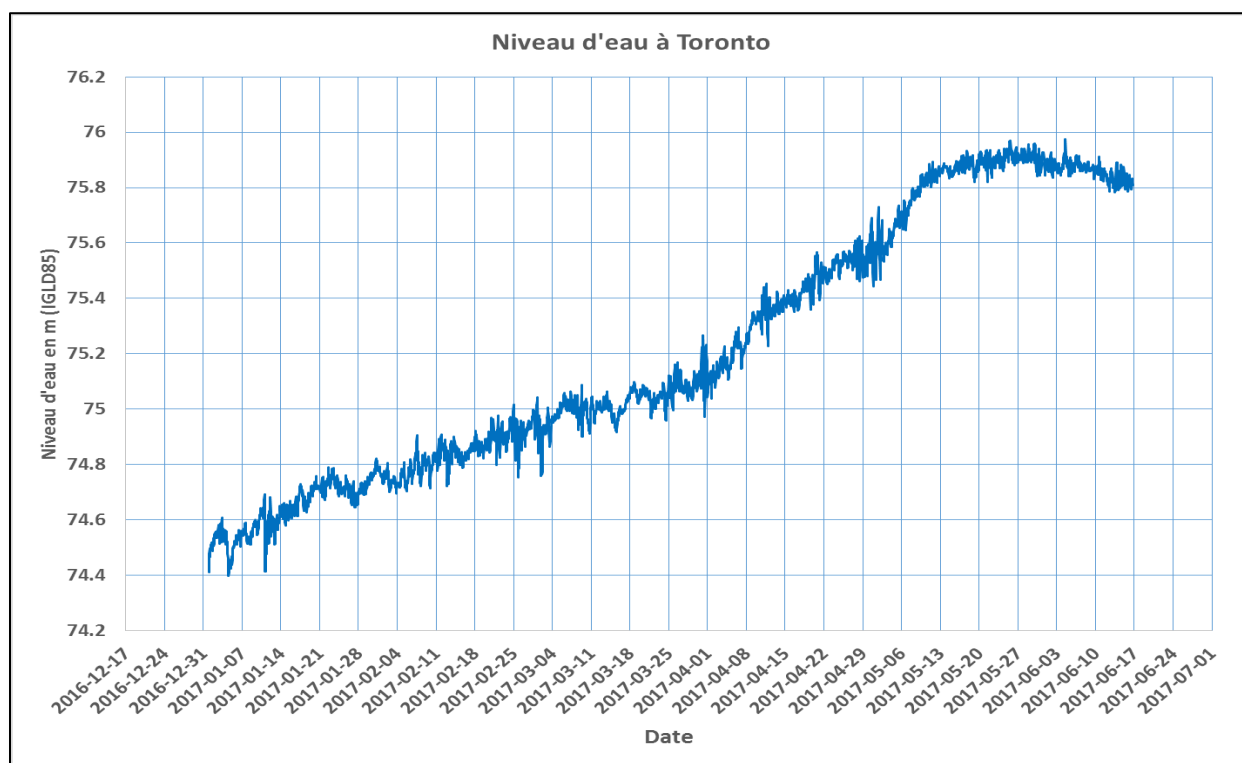
## N 2 Niveau d'eau du lac Ontario en 2017

Depuis 1918, les niveaux d'eau du lac Ontario ont varié entre la cote 73,4 m et 75,73. Durant la crue 2017, cette valeur historique a été atteinte le 7 mai 2017 et la cote du lac était toujours supérieure à cette valeur le 17 juin 2017. Le niveau maximum du lac a été atteint le 4 juin 2017, avec une cote 75,975 m, mais en fait, le pic de crue se situerait plutôt le 27 mai 2017. Les variations de quelques centimètres (bruit du signal) peuvent s'expliquer par l'effet du vent sur le plan d'eau (Figure 2-1).

**Tableau 2-1 Niveaux extrêmes enregistrés pour le lac Ontario selon le USACE-Détroit**

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
<b>Lac Ontario</b>												
<b>Moy</b>	74.55	74.58	74.67	74.87	75.01	75.05	74.99	74.88	74.74	74.61	74.54	74.52
<b>Max</b>	75.16 1946	75.27 1952	75.37 1952	75.65 1973	75.73 1973	75.76 1952	75.66 1947	75.58 1947	75.41 1947	75.22 1945	75.18 1945	75.20 1945
<b>Min</b>	73.81 1935	73.78 1936	73.94 1935	74.03 1935	74.11 1935	74.19 1935	74.14 1934	74.00 1934	73.91 1934	73.82 1934	73.75 1934	73.74 1934

Source : USACE-Détroit (IGLD 85) – Période 1918-2015



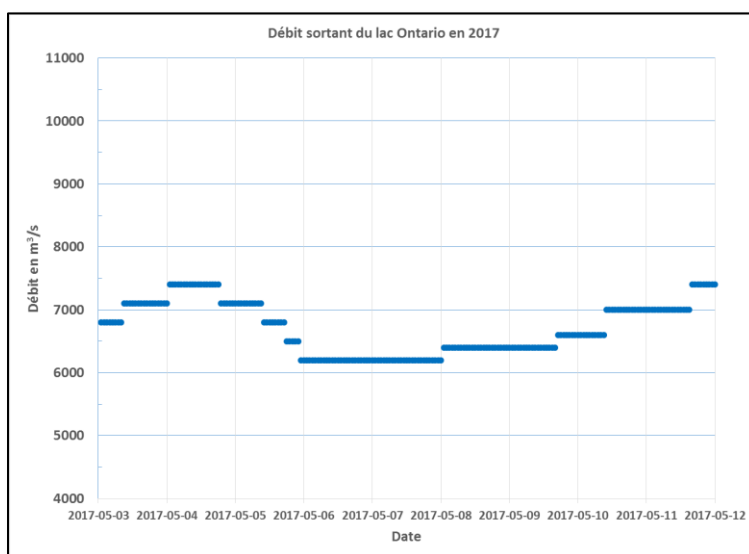
**Figure 2-1 Niveau d'eau du lac Ontario mesuré à Toronto durant la crue 2017**

On constate que le niveau d'eau du lac Ontario a dépassé le maximum historique à partir du 7 mai. Le niveau est demeuré plus élevé que le seuil historique depuis cette date, le niveau étant de 75,8 m au moment d'écrire ces lignes (16 juin 2017). Idéalement, il faudrait bénéficier d'une marge de manœuvre correspondant à une tranche d'eau d'au moins 30 centimètres d'épaisseur pour pouvoir gérer efficacement le débit sortant à Cornwall durant la crue de la rivière des Outaouais sans créer d'impact majeur pour les résidents du lac Ontario.



## N 3 Débit sortant du lac Ontario à Cornwall

L'hydrogramme des débits à Cornwall a été présenté à la section 3.4. Nous nous intéressons ici à la gestion qui a prévalu durant les jours qui précèdent et qui suivent le pic de la crue au lac des Deux Montagnes. La Figure 3-1 indique qu'en dépit du fait que le niveau maximal historique du lac Ontario ait été atteint le 7 mai, les débits évacués à Cornwall ont été limités à des valeurs inférieures à 7 000 m<sup>3</sup>/s durant plusieurs jours. En fait, on avait décidé d'abaisser les débits jusqu'à 6 200 m<sup>3</sup>/s pour compenser pour les débits accrus dans la rivière des Outaouais et ainsi maintenir des niveaux d'eau à un maximum tolérable dans la région de l'Archipel, notamment au Lac Saint-Louis. Le niveau au lac Saint-Louis dépassait alors 22,5 m, ce qui est relativement élevé. Considérant les conditions à ce moment et le peu de marge de manœuvre, cette gestion était logique pour minimiser l'impact de la crue dans la région de Montréal.

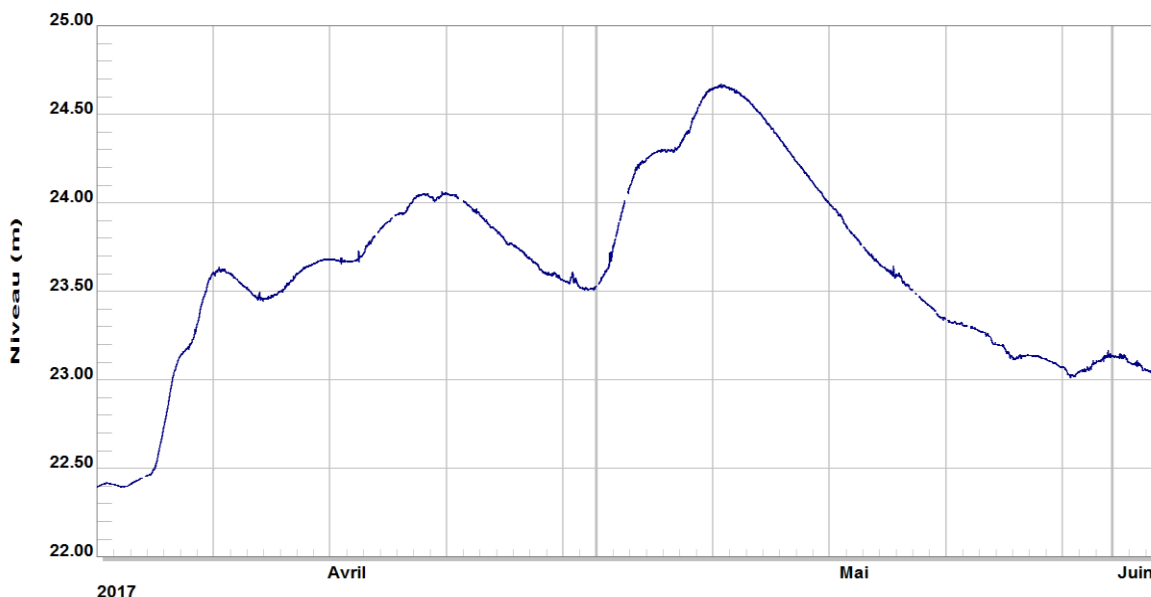


**Figure 3-1** Débits sortant du lac Ontario au barrage Moses-Saunders à Cornwall pour la période du pic de crue au lac des Deux Montagnes

## N 4 Le niveau d'eau au lac des Deux Montagnes

### N 4.1 Niveau d'eau mesuré à la station de Sainte-Anne-de-Bellevue

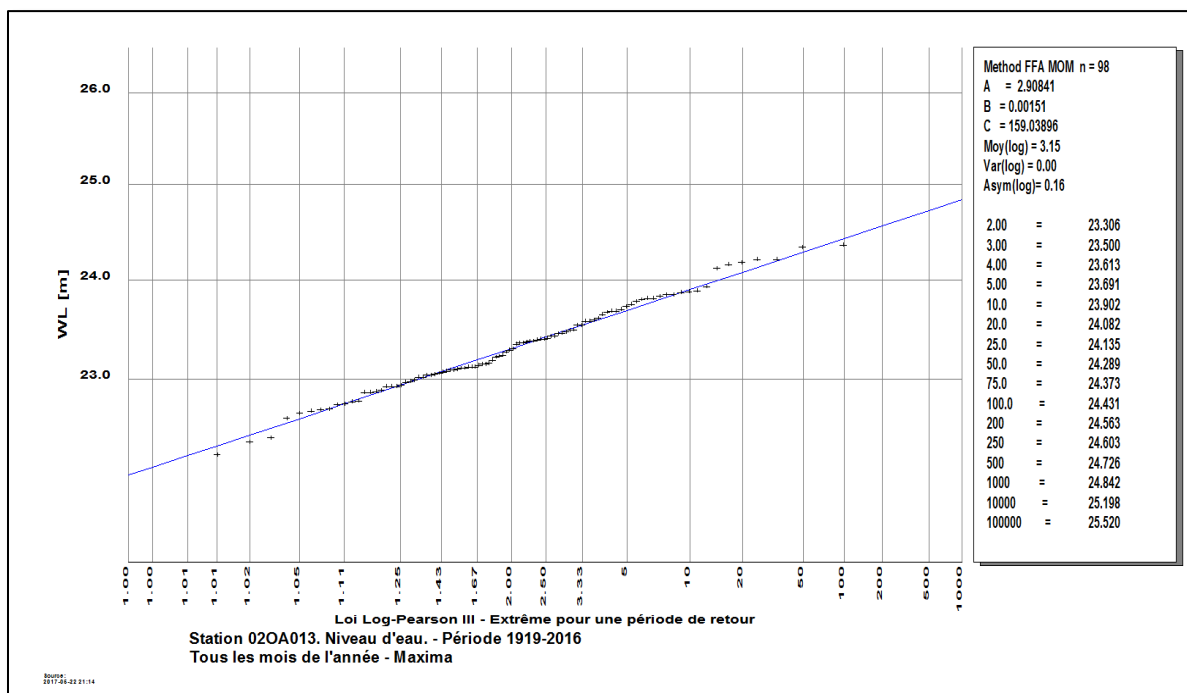
Le 8 mai 2017, la crue a atteint une cote maximale de 24,67 m à la station fédérale de Sainte-Anne-de-Bellevue (Figure 4-1). Cette cote dépassait largement la cote maximale précédemment enregistrée à cette station et qui était de 24,36 m, enregistrée le 4 avril 1976. Il s'agit donc d'une hausse de 31 centimètres par rapport au maximum historique antérieur. Une analyse statistique des niveaux extrêmes annuels a été réalisée avec la séquence débutant en 1919 et se terminant en 2016. La valeur de 2017 n'a pas été incluse dans la série afin d'établir quelle est sa période de retour relativement à près d'une centaine d'années d'enregistrements. L'ajustement d'une loi d'extrêmes de type Log-Pearson III permet d'établir la récurrence à environ 375 ans (Figure 4-2). Cet exercice permet de conclure qu'il s'agit d'un événement réellement exceptionnel.



02OA013 - Sainte-Anne-de-Bellevue

Source: 2017-06-19 09:24

**Figure 4-1** Limnigramme de la crue 2017 à la station 02OA013 de Sainte-Anne-de-Bellevue au lac des Deux Montagnes



**Figure 4-2** Ajustement statistique d'une loi Log-Pearson III aux niveaux d'eau extrêmes annuels mesurés à la station Sainte-Anne-de-Bellevue

## N 4.2 Niveau d'eau mesuré à Pointe-Calumet

Le niveau d'eau est mesuré à Pointe-Calumet depuis 1986, année de la mise en opération du barrage Grand Moulin. Le limnigramme pour l'année 2017, publié par le MDDELCC, est affiché en rouge à la Figure 4-3. L'analyse statistique, réalisée sur les niveaux maxima annuels, est affiché à la Figure 4-4. De cet ajustement, une cote de 24,78 m, enregistrée le 8 mai, serait d'une récurrence de l'ordre de 488 ans.

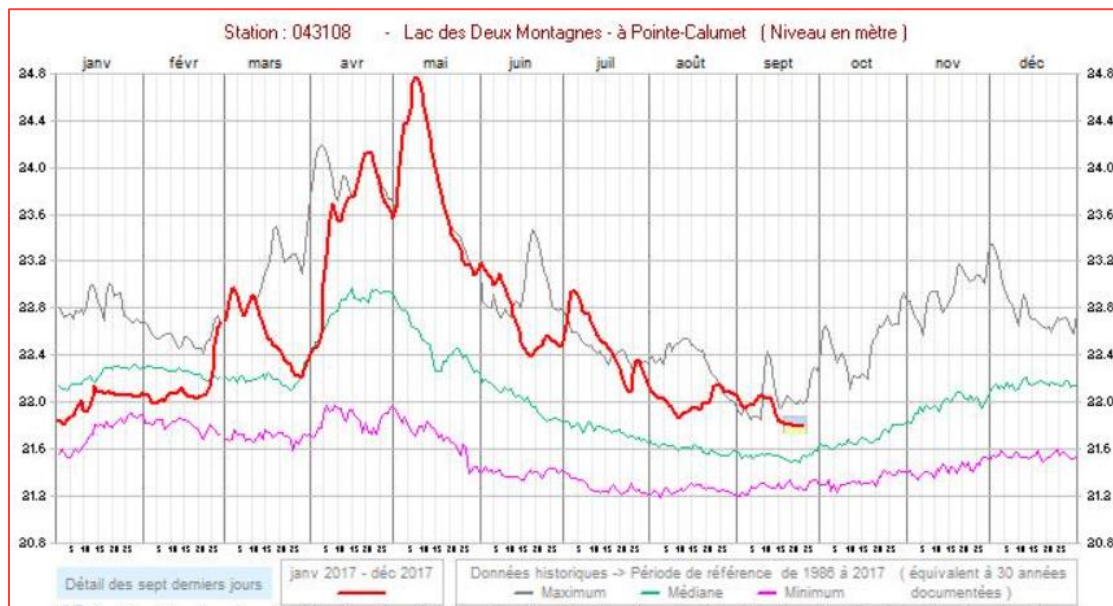


Figure 4-3 Évolution du niveau d'eau mesuré à Pointe-Calumet en 2017

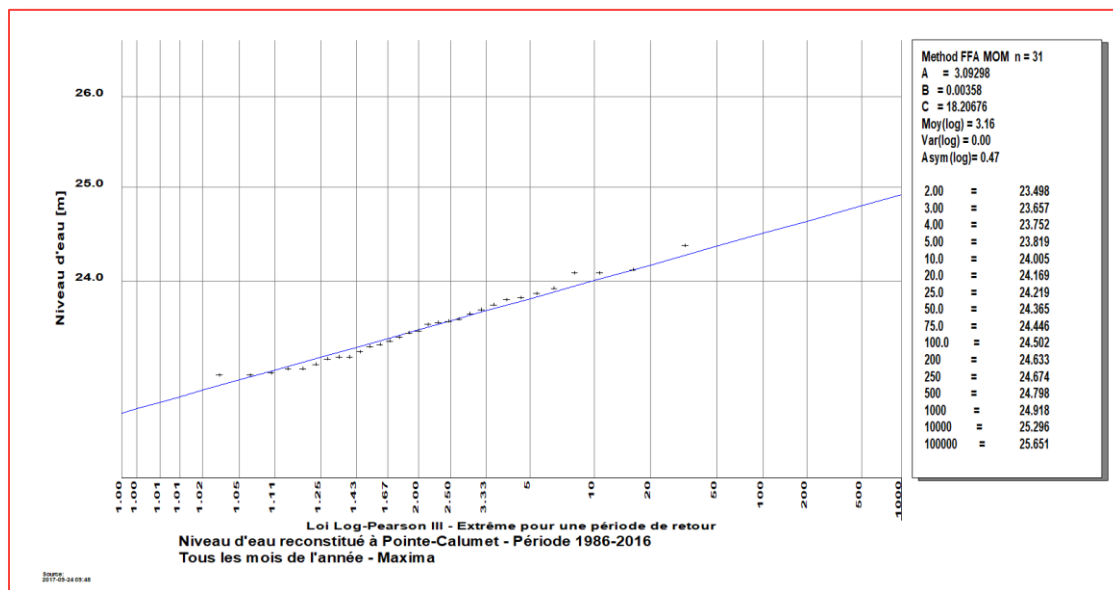


Figure 4-4 Ajustement statistique des niveaux extrêmes annuels à Pointe-Calumet

## N 5 Conditions pour le lac Saint-Louis

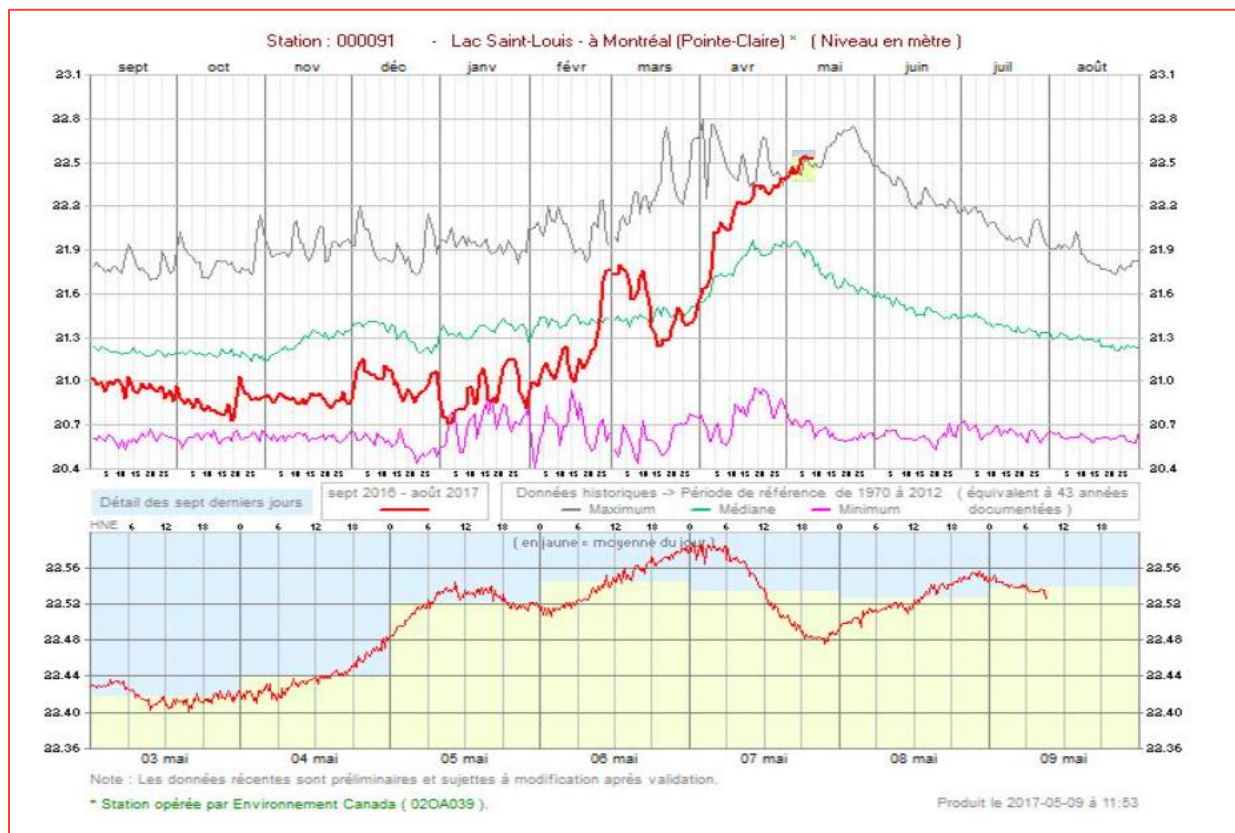
Le lac Saint-Louis reçoit les eaux du fleuve Saint-Laurent ainsi qu'une fraction des eaux provenant de la rivière des Outaouais via les chenaux Vaudreuil et Sainte-Anne. La quantité varie, selon l'importance du débit qui provient de la rivière des Outaouais et de la rivière du Nord, ainsi qu'en fonction de la dénivellée existant entre les deux plans d'eau que sont le lac des Deux Montagnes et le lac Saint-Louis.

La lecture du limnigramme présenté ci-dessous permet d'observer qu'au début avril, le niveau d'eau a monté rapidement à la cote 22 m et a oscillé entre les cotes 22,0 et 22,2 m pour atteindre cette dernière valeur et y rester durant quelques jours. Par la suite, il y a eu montée graduelle des eaux jusqu'au 7 mai, entrecoupée par plusieurs baisses rapides d'une dizaine de centimètres. Le niveau d'eau a culminé à la cote 22,58 m au début de la nuit de 7 mai 2017. Au moment du pic de crue dans le lac des Deux Montagnes, le niveau du lac Saint-Louis avait chuté à la cote 22,52 m. Cette valeur maximale dépasse de 0,38 m la valeur maximale visée qui est normalement de 22,2 m. Les niveaux du lac Saint-Louis demeurent élevés tout au long du mois de mai du fait que la Commission mixte internationale augmente le débit sortant à Cornwall en fonction de la décrue de la rivière des Outaouais pour pouvoir soulager les riverains du lac Ontario le plus rapidement possible car ces derniers subissent les conséquences d'un niveau fort élevé du lac.

Depuis le début des années 1970', le niveau maximum a presque atteint la cote 22,8 m, surtout durant les mois de mars ou avril. Il semble donc que la gestion des débits à Cornwall a permis de limiter les cotes de crues atteintes cette année, en dépit de la récurrence exceptionnelle de la crue de la rivière des Outaouais.



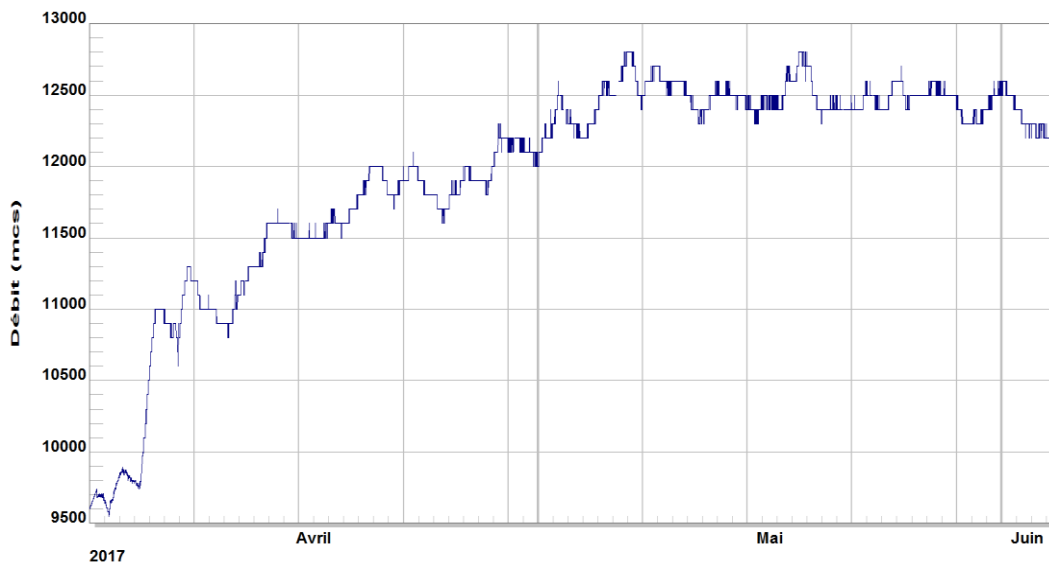
**Figure 5-1** Limnigramme de la crue 2017 à la station 02OA039 de Pointe-Claire au lac Saint-Louis



**Figure 5-2 Niveaux extrêmes mesurés depuis 1970 à la station 020A039, Lac Saint-Louis à Pointe-Claire**

## N 6 Débit du fleuve Saint-Laurent à LaSalle

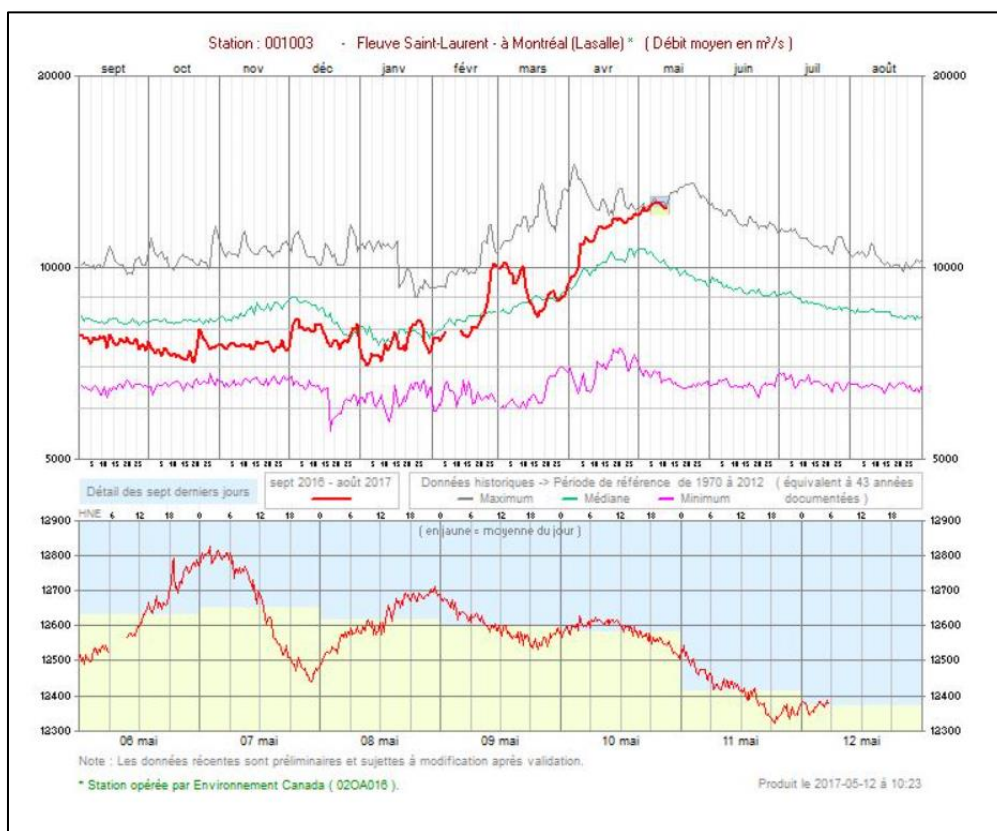
Le débit du fleuve Saint-Laurent à la station de LaSalle dépend directement du niveau d'eau observé à Pointe-Claire sur le lac Saint-Louis (Figure 6-1). La comparaison du signal à LaSalle avec celui de Pointe-Claire le confirme. Il faut noter que les débits sont publiés avec 3 chiffres significatifs, ce qui se traduit par un diagramme affichant les débits en multiple de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le débit a culminé à  $12\,800 \text{ m}^3/\text{s}$  au début du 7 mai et a diminué de  $350 \text{ m}^3/\text{s}$  pour atteindre  $12\,450 \text{ m}^3/\text{s}$  le matin du 8 mai. De ce fait, la dénivelée entre les lacs des Deux Montagnes et le lac Saint-Louis s'est accrue, permettant de faire transiter un débit accru du lac des Deux Montagnes vers le lac Saint-Louis. Cette valeur de  $12\,800 \text{ m}^3/\text{s}$  est à comparer avec le débit évacué à Cornwall les deux jours précédents (6 et 7 mai) qui était constant à  $6\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ . Au premier juin, le débit passant à Cornwall était supérieur de  $4\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ , étant stable à  $10\,200 \text{ m}^3/\text{s}$ . On voit bien l'effet de la gestion qui, suite à la décrue dans le lac des Deux Montagnes, vise à augmenter les débits sortant à Cornwall pour permettre d'abaisser plus rapidement le niveau du lac Ontario. Le corollaire à cette opération est que le niveau du fleuve Saint-Laurent à Montréal varie peu durant tout le mois de mai, demeurant élevé.



02OA016 - Fleuve Saint-Laurent à LaSalle

Rapport  
2017-06-12 10:04

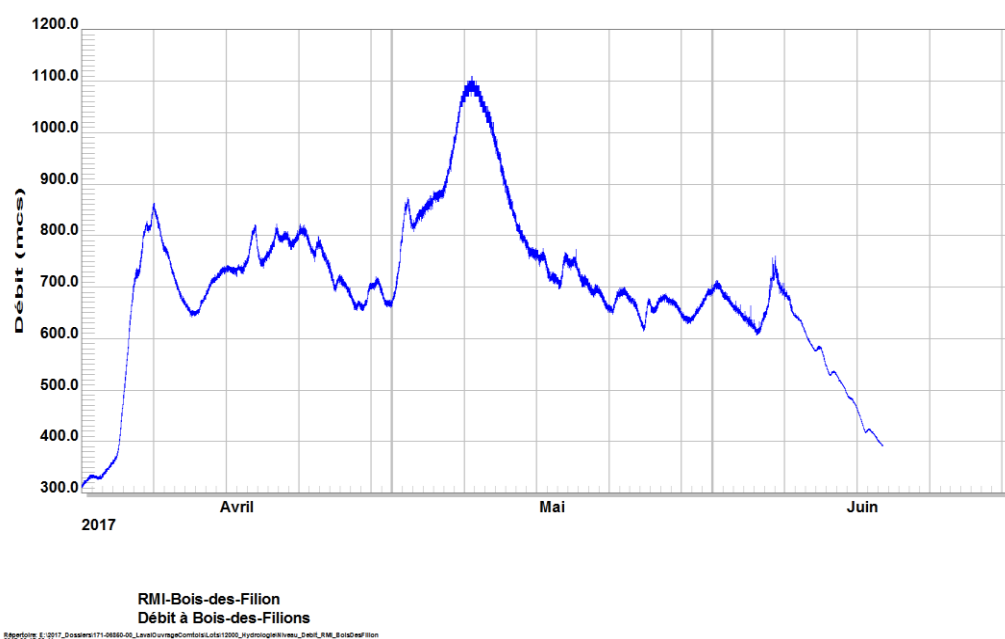
**Figure 6-1 Hydrogramme de la crue 2017 du fleuve Saint-Laurent à la station 02OA016 à LaSalle**



**Figure 6-2 Débits extrêmes mesurés depuis 1970 à la station 02OA016, LaSalle**

## N 7 Conditions pour la rivière des Mille Îles

Selon les données publiées par Environnement Canada, les débits ont atteint la valeur de 1 100 m<sup>3</sup>/s au pic de la crue le 8 mai 2017. Ce débit est légèrement supérieur à celui de 1 074 m<sup>3</sup>/s établi en 2014 par WSP pour une crue de récurrence de 20 ans (voir section 3.7). Il faut toutefois mentionner que ce débit a été évalué en considérant la présence de l'ouvrage Grand Moulin mais en absence de toute gestion. Ceci signifie que les vannes étaient considérées abaissées au niveau du seuil de l'ouvrage. Lors de la crue de 2017, toutes les vannes étaient levées à leur position la plus haute, ce qui a rehaussé le seuil de façon significative, avec comme conséquence un débit limité au maximum, produisant cette valeur de 1 100 m<sup>3</sup>/s.

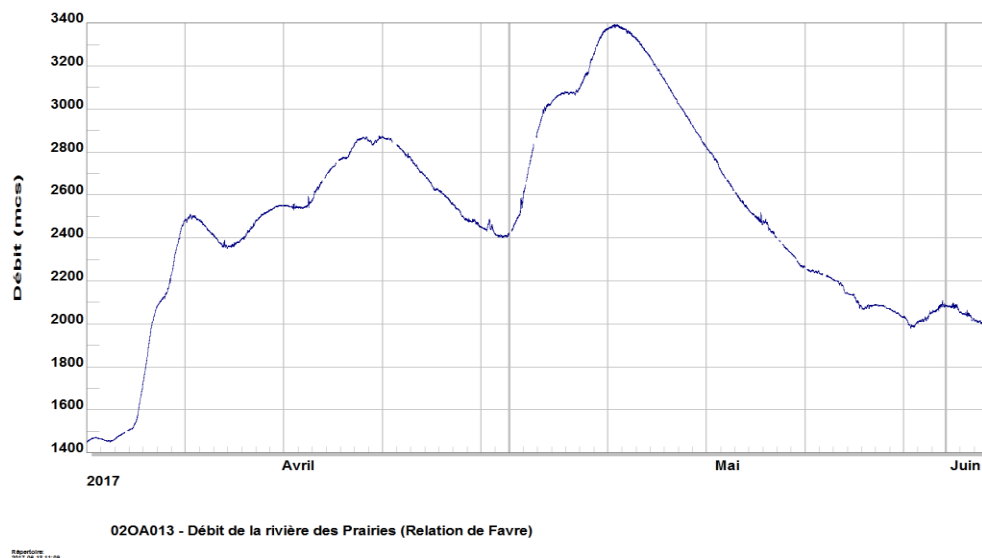


**Figure 7-1 Hydrogramme de la crue 2017 pour la rivière des Mille Îles à Bois-des-Filion**

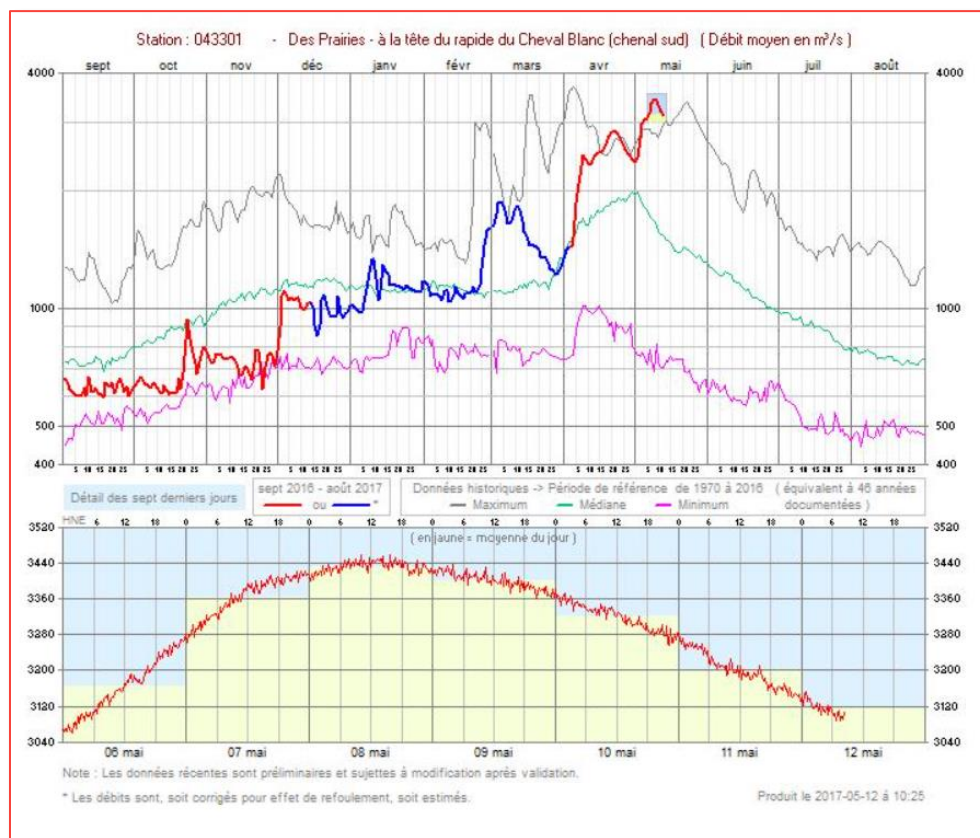
## N 8 Conditions pour la rivière des Prairies

La station localisée en amont des rapides du Cheval Blanc est opérée par le MDDELCC. Tel que mentionné à la section 3.8, les débits jaugés en 2017 ont corroboré la qualité de la relation niveau-débit établie par Favre en 2010. Les données récentes de débits publiées par le MDDELCC sont légèrement supérieures (de quelques points de pourcentage) par rapport aux valeurs jaugées mais toutes les valeurs se situent dans la zone d'imprécision acceptée qui est, rappelons-le, de 5 %.

Comme le débit dépend essentiellement du niveau du lac des Deux Montagnes, la période de récurrence associée au pic de crue de 2017 est évaluée à 375 ans. Le débit aurait alors atteint une valeur de 3 395 m<sup>3</sup>/s selon la relation de Favre. Cette valeur est à comparer avec la valeur établie par WSP en 2014 pour la crue centennale qui était de 3 180 m<sup>3</sup>/s (au 5 m<sup>3</sup>/s près). Le débit maximum a donc dépassé le débit centennial publié par WSP de 215 m<sup>3</sup>/s.

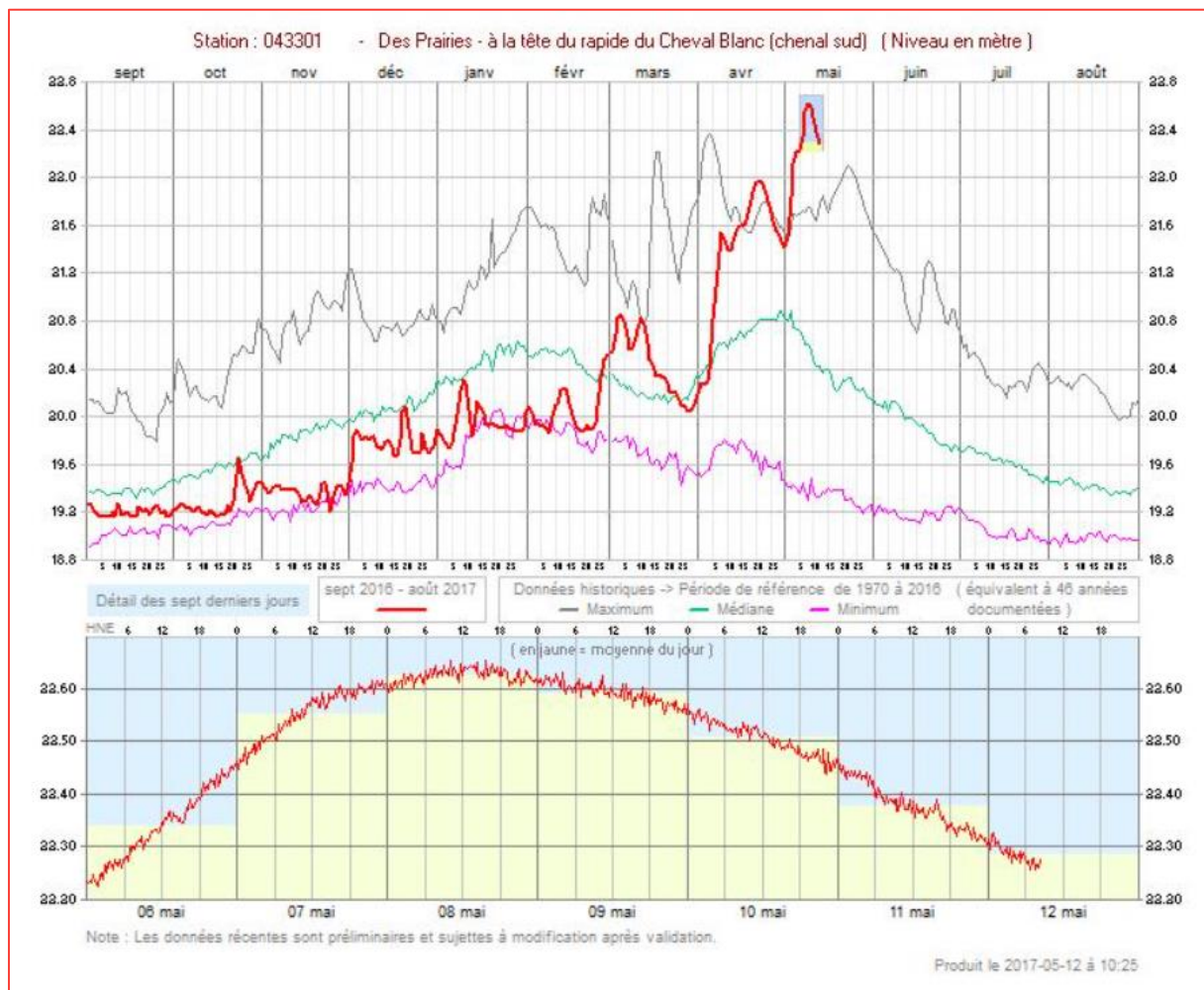


**Figure 8-1** Hydrogramme de la crue 2017 pour la rivière des Prairies en amont des rapides du Cheval-Blanc



**Figure 8-2** Débit maximum de la rivière des Prairies atteint au pic de la crue à la station en tête des rapides du Cheval Blanc





**Figure 8-3 Niveau maximum de la rivière des Prairies atteint au pic de la crue à la station en tête des rapides du Cheval Blanc**

La comparaison de la Figure 8-2 avec la Figure 8-3 permet de dénoter une incohérence quant à la courbe enveloppe des valeurs extrêmes. On constate que le débit maximum historique aurait été supérieur à celui établi cette année (Figure 8-2), alors que les niveaux d'eau indiquent que la valeur extrême mesurée cette année est largement supérieure à tout ce qui a été mesuré à ce jour. Comme le niveau d'eau est une valeur mesurée et que le débit est une valeur calculée à partir d'une relation niveau-débit, il faut accepter la mesure de niveau d'eau comme valide. Les valeurs erronées de débit s'expliquent par l'application de différentes relations niveau-débit au fil du temps; aucune correction n'a été apportée à la série historique des débits. La courbe enveloppe des débits maxima par jour julien de la Figure 8-2 est donc inexacte.

## N 9 Les événements au moment du pic de crue au lac des Deux Montagnes

L'analyse des données mesurées à plusieurs stations permettent de mieux comprendre la séquence des événements survenus en 2017. Il faut comprendre que les conditions vécues au printemps 2017 résultent de fluctuations dans les conditions naturelles qu'on ne peut contrôler et de choix relatifs à la gestion des flux d'eau provenant des bassins des Grands Lacs et de la rivière des Outaouais par des gestionnaires qualifiés. Cette gestion est complexe et requiert que tous les intervenants concernés soient en contact durant la crue pour dégager un consensus et prendre les actions requises pour limiter les dommages. Durant la crue, ces décisions sont prises sur une base quotidienne, en fonction des prévisions météorologiques et hydrologiques disponibles. Ces prévisions, qui proviennent de modèles numériques prévisionnels, sont fréquemment mises à jour pour donner un portrait des conditions qui soit représentatif du temps présent. Pour protéger l'Archipel de Montréal en conditions de crues, on peut faire varier le débit sortant au barrage Moses-Saunders à Cornwall et/ou retenir les eaux dans certains réservoirs situés dans la région septentrionale du bassin de la rivière des Outaouais. Comme la réponse du système à un changement dans la gestion n'est pas immédiate, il y a un délai plus ou moins long avant que l'effet ne se fasse sentir en un endroit donné du système. Ceci rend les décisions à prendre d'autant plus complexes que dans l'intervalle les conditions météorologiques peuvent évoluer. L'analyse des limnigrammes et hydrogrammes publiés par les autorités gouvernementales permet de suivre en partie la gestion des opérations, notamment pour les débits du fleuve Saint-Laurent à Cornwall. Nous savons que le pic de crue au lac des Deux Montagnes a été atteint le 8 mai 2017, avec un niveau d'eau qui a culminé à la cote 24,67 m à Sainte-Anne-de-Bellevue. À la station de Pointe-Calumet la crue a atteint 24,78 m, soit 11 cm plus haut que le niveau mesuré à Sainte-Anne-de-Bellevue (effets du vent inclus). Finalement la crue aurait atteint la cote 25,08 m sur la rivière des Outaouais à l'exutoire de la rivière Rigaud. Les débits jaugés par Environnement Canada la journée du 8 mai 2017, indiquent un débit de l'ordre de 9300 m<sup>3</sup>/s à l'amont de l'ouvrage de Carillon et un débit total sortant du lac des Deux Montagnes évalués à 9 900 m<sup>3</sup>/s. Cette différence s'explique par les apports du bassin intermédiaire, notamment ceux de la rivière du Nord. Ces valeurs sont supérieures à la valeur de 8 830 m<sup>3</sup>/s qu'a affiché Hydro-Québec.

Par ailleurs, la cote maximale du lac Saint-Louis a été atteinte au début de la nuit du 7 mai à Pointe-Claire (22,58 m). Le niveau du lac Saint-Louis s'est abaissé d'une dizaine de centimètres en fin de soirée du 7 mai, à la cote 22,48 m.

Il semble y avoir eu peu de désagréments subis par les résidents du lac Saint-Louis, comparativement à certains secteurs du lac des Deux Montagnes et de la rivière des Prairies. La gestion du débit sortant du lac Ontario a, semble-t-il, permis de limiter les dégâts le long du lac Saint-Louis et du fleuve Saint-Laurent. Par contre l'augmentation du débit évacué à Cornwall, lors de la décrue de la rivière des Outaouais, a prolongé l'épisode de hauts niveaux d'eau le long du fleuve durant les deux dernières semaines de mai et au début du mois de juin. Au moment d'écrire ces lignes, début septembre 2017, les niveaux du fleuve Saint-Laurent à Pointe-Claire étaient toujours élevés.

Les vannes du barrage Grand Moulin ont été levées à leur maximum pour restreindre le débit vers la rivière des Mille Îles. Cette gestion a permis de limiter le débit maximum à environ 1 100 m<sup>3</sup>/s, soit des conditions légèrement supérieures à celles d'une crue de récurrence de 20 ans, établie par WSP en

considérant toutefois l'absence de gestion de l'ouvrage. On peut en conclure que la présence du barrage ainsi que sa gestion ont eu des conséquences heureuses pour les riverains de cette rivière.

Pour la rivière des Prairies, il faut comprendre que peu importe l'importance de la crue, Hydro-Québec opère les vannes de l'évacuateur de crue du barrage Rivière-des-Prairies de façon garder le niveau d'eau amont sous ou au niveau minimum d'exploitation. De ce fait, l'écart de niveau d'eau est faible près de la centrale et va augmentant lorsqu'on remonte vers l'amont. Pour les rives de la rivière des Prairies qui sont à proximité du lac des Deux Montagnes, le niveau d'eau s'approche de celui du lac. Il y a donc un rehaussement graduel de la ligne d'eau lorsqu'on part du barrage Rivière-des-Prairies et que l'on se dirige vers le lac des Deux Montagnes.

Le même principe de gestion s'applique à l'amont de la centrale de Carillon et c'est ce qui explique que certains riverains aient conclu, à tort, qu'il y avait encore une capacité de stockage à utiliser. L'abaissement est provoqué par l'augmentation des vitesses d'approche du courant à proximité de l'évacuateur de crue, accroissement nécessaire pour permettre l'évacuation du débit. La gestion au barrage de Carillon était donc adéquate et justifiée.

La crue pour la rivière des Prairies dépend essentiellement du niveau du lac des Deux Montagnes et la crue de 2017 est donc d'une récurrence estimée à 375 ans si on se base sur toutes les données historiques remontant jusqu'à 1919 à Sainte-Anne-de-Bellevue. Elle serait d'une récurrence supérieure à une crue de 1000 ans si on considère la période récente 1986-2016 à Sainte-Anne-de-Bellevue qui est plus représentative de la gestion des bassins. L'analyse statistique réalisée avec les données de la station de Pointe-Calumet donne une récurrence de 488 ans. Peu importe la série retenue, les valeurs obtenues indiquent sans l'ombre d'un doute qu'il s'agissait d'un événement exceptionnel.

## N 10 La crue de 2017 au lac Saint-Pierre

La crue de 2017 au lac Saint-Pierre peut être qualifiée d'importante puisque le niveau d'eau a atteint la cote 6.96 m. Les limnigrammes au lac Saint-Pierre pour les années 1983 et 2017 sont superposés aux fins de les comparer car le niveau atteint en 1983 est du même ordre que celui atteint en 2017.



Figure 10-1 Limnigrammes enregistrés en 1983 et 2017 au lac Saint-Pierre

Son caractère exceptionnel tient au fait que les niveaux sont demeurés supérieurs à la cote 6,0 m durant un mois et que les niveaux durant l'été ont été supérieurs d'environ 1 m aux niveaux d'eau qui se situent sous la cote 4,5 m durant l'été tel qu'affiché à la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** La détermination des cotes de rues pour les récurrences de 2, de 20 et de 100 ans pour le lac Saint-Pierre est traitée au chapitre 8. Les résultats sont affichés ci-bas, qui permettent de qualifier le niveau maximum atteint en termes de récurrence. Sous cet angle, la crue serait d'une récurrence légèrement supérieure à une crue de récurrence de 20 ans. Par contre, cet approche ne permet pas de qualifier l'importance de la durée de l'inondation, qui provoque également son lot de problèmes et désagréments. Mentionnons, à titre d'exemple, la surélévation de la nappe phréatique durant une période prolongée qui peut avoir comme conséquence d'asphyxier certains végétaux, comme ce fut le cas le long du Haut-Richelieu durant les années 1970'.

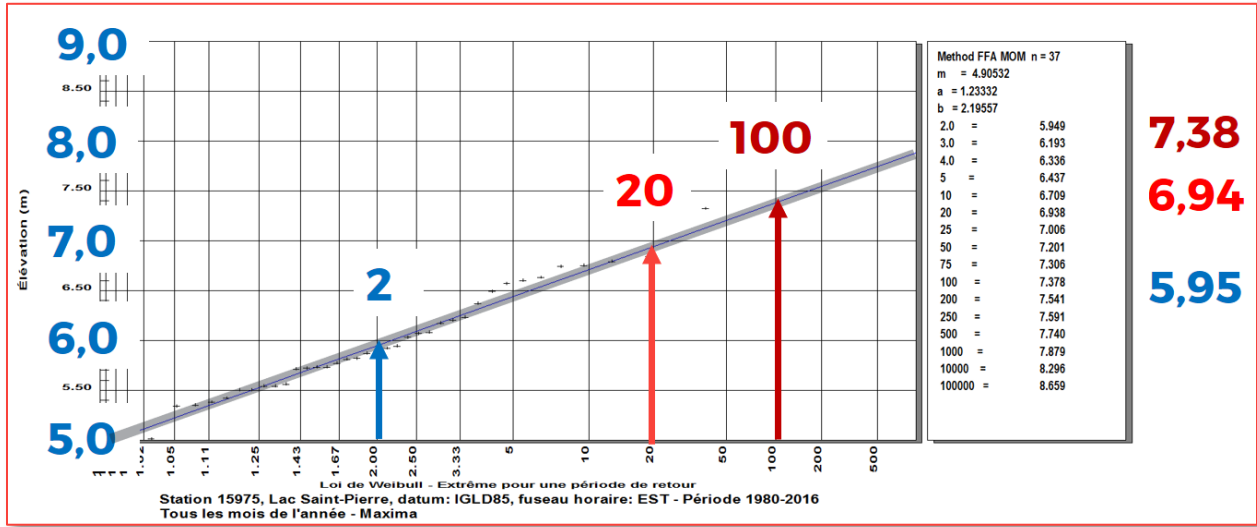


Figure 10-2 Cotes de crues établies à la station de la courbe #2



# ANNEXE

## **O** LICENCE D'UTILISATION DES DONNÉES PUBLIÉES PAR ENVIRONNEMENT ET CHANGEMENT CLIMATIQUE CANADA





# ANNEXE O

## Licence d'utilisation des données publiées par Environnement et Changement Climatique Canada

### TABLE DES MATIÈRES

<b>TERMES ET CONDITIONS</b> .....	<b>2</b>
RELATIVEMENT AUX RENSEIGNEMENTS TECHNIQUES QUE PRÉSENTE CE SERVEUR.....	2



# Termes et conditions

## Relativement aux Renseignements Techniques que présente ce serveur

Attendu que Environnement et Changement Climatique Canada (ECCC) est propriétaire de droits sur les données accessibles via le site internet suivant:

(« Renseignements Techniques ICI »):

(<http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/rpn/SHOP/> ;

Par la présente, la permission vous est octroyée de télécharger et d'utiliser les Renseignements techniques, sous réserve des termes et conditions suivants :

1. Le téléchargement et/ou l'utilisation des Renseignements Techniques accessibles via le site internet : (<http://collaboration.cmc.ec.gc.ca/science/rpn/SHOP/>), témoignent de votre acceptation des conditions générales des droits d'utilisation établie avec Sa Majesté la Reine du Chef du Canada. Si vous ne voulez pas vous soumettre aux conditions générales décrites ci-après, vous ne devez pas télécharger ou utiliser les Renseignements Techniques accessibles via le site précédemment mentionné.
2. ECCC vous accorde une licence permanente, libre de redevances, non exclusive, et incessible vous permettant d'utiliser les Renseignements Techniques, sous réserve des conditions décrites ci-dessous. Si vous agissez au nom d'une organisation, vous déclarez à ECCC que vous êtes dûment autorisé à contracter au nom de cette organisation, et que ladite organisation a donné son assentiment à être liée à ECCC par les termes et conditions de la présente entente de licence. Dans cette Entente, « vous » et « votre » réfère à vous et à toute organisation au nom de laquelle vous agissez pour les fins des présentes.
3. Vous avez accès auxdits Renseignements Techniques tels qu'ils sont offerts au moment où vous accédez à ceux-ci. ECCC n'a aucune obligation de poursuivre la prestation des services et/ou la mise à niveau desdits Renseignements Techniques.
4. Les Renseignements Techniques, ainsi que toute la documentation qui les accompagne sont sous la protection du droit d'auteur, avec tous les droits réservés à Sa Majesté la Reine du Chef du Canada. Vous pouvez utiliser les Renseignements Techniques, ainsi que les modifier pour les adapter à vos propres besoins, et vous pouvez facturer pour des services à valeur ajoutée uniquement. Vous ne pouvez redistribuer les Renseignements Techniques tels que téléchargés.
5. De plus, en considération de la licence libre de redevances qui vous est octroyée vous devez reconnaître ECCC comme la source des Renseignements Techniques accessibles via le site internet. Il doit être aisé pour toute personne ayant accès à vos services ou produits de comprendre que les Renseignements Techniques ont été obtenues d'Environnement et Changement Climatique Canada.
6. Lorsque les Renseignements Techniques sont utilisés par vous ou toute autre entité liée à votre organisation pour développer un produit à valeur ajoutée, vous devez inclure à un endroit visible sur ledit produit à valeur ajoutée une mention à l'effet que ledit produit a été élaboré avec des Renseignements Techniques fournis par Environnement et Changement Climatique Canada.
7. ECCC ne garantit pas la qualité, l'exactitude ni l'intégralité de tous Renseignements Techniques que vous retrouvez sur le site internet. De tels Renseignements Techniques sont fournis « tels quels », sans garantie ni condition de toute sorte. ECCC rejette toute autre garantie, expresse ou

tacite, y compris, mais non de façon limitative, les garanties implicites de la qualité marchande ou leur utilité aux fins d'un usage particulier.

8. De plus, vous dégagez de toute responsabilité et renoncez à exercer toute poursuite, réclamation, action, recours ou procédure contre Sa Majesté, le gouvernement du Canada, ECCC, ainsi que tous leurs officiers, employés et agents pour tout dommage quel qu'il soit, pouvant résulter de votre utilisation ou incapacité d'utilisation des Renseignements Techniques ou lié à la performance de ceux-ci.

Cette licence d'utilisation et les droits accordés en vertu des présentes seront automatiquement retirés si vous omettez de vous conformer aux conditions décrites aux présentes et vous n'y remédiez pas dans les 30 jours suivant la réception d'un avis écrit de la part d'ECCC