



**BARRAGE DE NORTH HATLEY - ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ
POUR L'ÉVALUATION DU GAIN POTENTIEL SUR LES
INONDATIONS SUIVANT UN ABAISSEMENT DU SEUIL DE LA
CRÊTE DÉVERSANTE**

ÉTUDE HYDRAULIQUE

Septembre 2025

BARRAGE DE NORTH HATLEY - ÉTUDE DE PRÉFAISABILITÉ POUR L'ÉVALUATION DU GAIN POTENTIEL SUR LES INONDATIONS SUIVANT UN ABAISSEMENT DU SEUIL DE LA CRÊTE DÉVERSANTE

ÉTUDE HYDRAULIQUE

Version finale

Septembre 2025

Équipe de réalisation - GBI

Responsable du mandat

Mélanie Boudreault, ing.

Équipe de réalisation - FLUVIO

Chargée de projet

Claudine Breton, ing., M. Sc. A.

Ingénieure de projet

Marilou Béland, CPI, M. Sc.

Aviseur technique

Pierre Pelletier, ing. M. Sc.

Préparée par



Marilou Béland, CPI, M. Sc.
OIQ 6071158

Approuvée par

Claudine Breton, ing., M. Sc. A.
OIQ 116294

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction	viii
1.1	Mise en contexte et objectifs.....	1
1.2	Localisation du site	1
2	Données de base.....	3
2.1	Liste des intrants.....	3
2.2	Systèmes de référence	4
2.3	Description du système hydrique	4
2.4	barrage de North Hatley	5
2.4.1	Description.....	5
2.4.2	Opération du barrage.....	7
2.5	Débits de la rivière Massawippi	8
2.5.1	Données hydrométriques.....	8
2.5.2	Crues statistiques	9
2.5.3	Impacts des changements climatiques	9
2.6	Niveaux du lac Massawippi.....	10
2.6.1	Données hydrométriques.....	10
2.6.2	Niveaux de crues statistique	10
3	Analyse de la problématique des crues	12
3.1	Débit de la rivière Massawippi	12
3.2	Niveau du lac Massawippi	12
3.3	Inondations de 2014 et de 2023	12
3.4	Taux de montée du niveau du lac.....	12
3.5	Synthèse.....	12
4	Analyse de l'effet de l'abaissement de la crête du barrage	13
4.1	Approche	13

4.2	Effet de l'abaissement de la crête déversant du barrage	15
4.3	Effet de la modification du pont du chemin Vaughan	19
4.4	Effet combiné de l'abaissement de la crête déversante et de la modification du pont du chemin Vaughan	20
4.5	effet de l'abaissement de la crête déversante et de la modification du pont du chemin Vaughan sur les événements historiques	21
5	Synthèse et recommandations	23
5.1	Synthèse	23
5.2	Recommandations	24
6	Conclusion	26
7	Références	27

TABLEAUX

Tableau 2-1 :	Liste des intrants	3
Tableau 2-2 :	Débits de crues au barrage de North Hatley tirés des études antérieures .	9
Tableau 2-3 :	Niveaux de crues au lac Massawippi, tirées des études antérieures.....	11
Tableau 4-1 :	Niveaux du lac simulés en crue 2 ans (78,7 m ³ /s) selon l'élévation de la crête du déversoir	15
Tableau 4-2 :	Niveaux du lac simulés en crue 100 ans (169,4 m ³ /s) selon l'élévation de la crête du déversoir	15
Tableau 4-3 :	Perte de charge (m) aux ponts de la rivière Massawippi en conditions de crue	19
Tableau 4-4 :	Pertes de charge (m) au pont du chemin Vaughan et niveau du lac (m) selon la configuration du pont Vaughan pour différentes crues.....	20
Tableau 4-5 :	Abaissement du niveau du lac Massawippi par l'abaissement de la crête déversante et la modification du pont du chemin Vaughan	21
Tableau 4-6 :	Abaissement du niveau du lac Massawippi pour la crue printanière de 2014 (117,9 m ³ /s) selon différentes configurations.....	22
Tableau 4-7 :	Abaissement du niveau du lac Massawippi pour la crue de juillet 2023 (75,1 m ³ /s) selon différentes configurations.....	22

FIGURES

Figure 2-1 :	Profil en long de la rivière Massawippi dans le secteur du barrage de North Hatley, issu du Lidar	4
Figure 2-2 :	Ponts localisés sur la rivière Massawippi entre le lac et le barrage	5
Figure 2-3 :	Vue amont du barrage de North Hatley	6
Figure 2-4 :	Vue aval du barrage de North Hatley	7
Figure 2-5 :	Vue aval du pertuis d'évacuation et de la passe à poisson	7
Figure 2-6 :	Historique des débits moyens journaliers de la rivière Massawippi enregistrés à la station 030220.....	8
Figure 2-7 :	Historique des niveaux d'eau journaliers du lac Massawippi enregistrés à la station 030241	10
Figure 4-1 :	Modélisation du barrage de North Hatley avec la vanne 100% ouverte	14
Figure 4-2 :	Modélisation du barrage de North Hatley avec la vanne 13% ouverte	14
Figure 4-3 :	Profil en long du niveau d'eau simulé pour un débit de récurrence de 2 ans sur la rivière Massawippi selon l'abaissement de la crête déversante.....	17
Figure 4-4 :	Profil en long du niveau d'eau simulé sur la rivière Massawippi pour un débit de récurrence de 100 ans selon l'abaissement de la crête déversante	18

SOMMAIRE EXÉCUTIF

Le niveau du lac Massawippi est généralement contrôlé par le barrage de North Hatley situé sur la rivière du même nom à 1,2 kilomètre en aval du lac. Ce barrage est équipé d'une crête déversante et d'un pertuis d'évacuation (opéré pour maintenir un niveau relativement constant dans le lac et pour évacuer les crues). En période de forte crue, la rivière en aval peut ennoyer le barrage, limitant ainsi sa capacité d'évacuation. Le niveau du lac est alors contrôlé par ce tronçon de rivière.

En lien avec différents événements d'inondations survenus dans le secteur du lac Massawippi, notamment ceux plus récents d'avril 2014 et de juillet 2023, deux problématiques ont été identifiées :

- **Crues printanières** : les niveaux d'eau élevés, causant des inondations autour du lac, surviennent principalement au printemps ;
- **Crues estivales** : la difficulté à maintenir le niveau d'opération visé en été lors des périodes prolongées de fortes pluies, nuisant alors à certains usages.

La crue d'avril 2014 avait une période de récurrence d'environ 20 ans. Les inondations printanières causant des dommages semblent donc être relativement peu fréquentes. La problématique observée en juillet 2023, qui a empêché l'accès aux quais durant plus d'une semaine, est cependant survenue au passage d'une crue relativement faible (récurrence annuelle) provoquée par des précipitations tombées sur plusieurs jours.

La solution proposée par les riverains pour contrer ces problématiques consiste à **abaisser la crête du barrage** pour en augmenter la capacité d'évacuation et ainsi diminuer les niveaux d'eau au lac en crue.

Toutefois, plusieurs contraintes doivent être prises en compte pour bien évaluer le potentiel réel de cette solution, notamment les limitations sur le taux d'ouverture quotidien des vannes du barrage (limité à 10%) et l'exigence de maintenir un niveau minimal en hiver (160,3 m) et en été (160,5 m). Les gains potentiels sur le niveau du lac Massawippi ont été évalués pour un abaissement de la crête de 0,25 m, 0,5 m et 1,0 m et différents scénarios d'opération de la vanne.

Un **abaissement de la crête limité à 0,25 m** permettrait de conserver les niveaux opérationnels visés hors des périodes de crues en limitant les travaux au barrage. Avec cet abaissement, le gain sur le niveau d'une crue comme celle de 2014 au lac Massawippi est limité à 0,16 m et **le risque d'inondation demeure**. Pour un événement comme celui de juillet 2023, le gain serait de seulement 0,15 m et le niveau d'eau atteint **limiterait encore certains usages**.

Pour des **abaissements plus importants de la crête du barrage, de 0,5 m à 1,0 m**, le gain sur le niveau maximal du lac est limité par **l'effet de refoulement dans la rivière en aval**, qui limite la capacité d'évacuation du barrage. Ce gain est de 0,34 m pour un événement comme la crue d'avril 2014 et de 0,31 m pour la crue de juillet 2023. Avec cette modification de la crête du barrage, **le risque d'inondation printanière demeure mais le niveau de la crue estivale est suffisamment atténué pour ne plus limiter les usages**. Par contre cet abaissement de la crête sous le niveau d'opération du lac Massawippi devrait être compensée par l'ajout d'une vanne pour maintenir les niveaux d'eau minimaux hors des périodes de crue.

Bien qu'il semble être une solution pour atténuer la hausse du niveau du lac Massawippi au passage des crues, sans toutefois éliminer le risque d'inondation, l'abaissement de la crête du barrage implique certains **enjeux et impacts à considérer**, en particulier les coûts des études environnementales et d'ingénierie, les coûts de construction et d'entretien, en particulier si une vanne doit être ajoutée en crête pour maintenir les niveaux d'opération du lac hors des crues.

Il est nécessaire de **bien évaluer le gain réel d'un tel investissement** compte tenu de la faible fréquence des événements d'inondation.

1 INTRODUCTION

1.1 MISE EN CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le barrage de North Hatley est situé dans le canton de Hatley sur la rivière Massawippi, à 1,2 km en aval du lac Massawippi, dont il contrôle le niveau d'eau. La dernière inondation majeure des rives du lac est survenue en avril 2014, à la suite d'une crue dont la période de retour était d'environ 20 ans. Cependant, en juillet 2023, de fortes pluies ont entraîné des niveaux élevés qui ont submergé plusieurs quais pendant plus d'une semaine, empêchant l'accès au lac. Ces pluies ont provoqué une crue d'une période de retour d'environ 2 ans. Les citoyens de la région se questionnent à savoir si l'abaissement de la crête déversante du barrage de North Hatley pourrait réduire l'intensité des événements d'inondation du secteur.

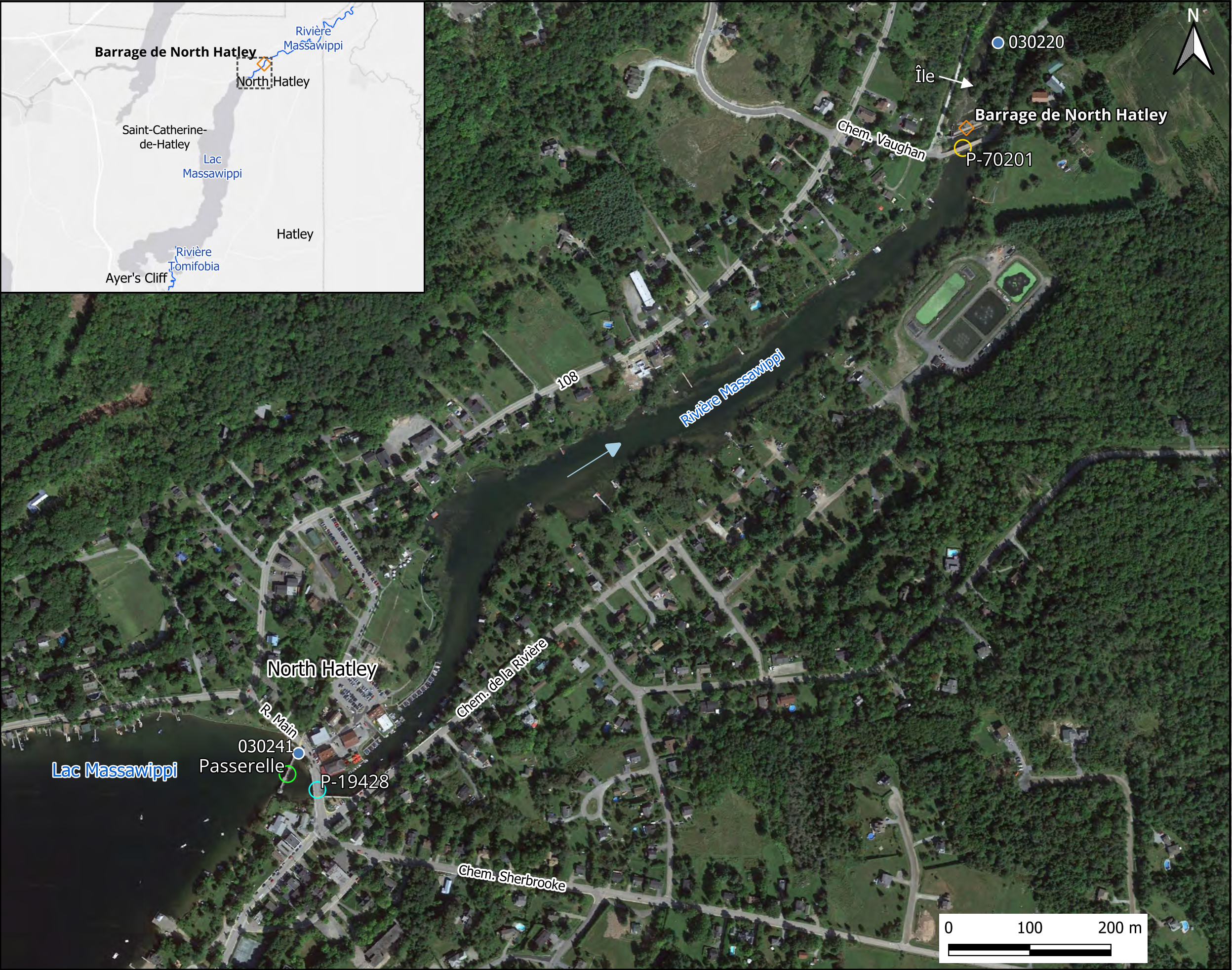
Dans ce contexte, la firme GBI a été mandatée par le village de North Hatley pour réaliser une étude de préféabilité. L'objectif de cette étude est d'évaluer, à partir des données disponibles, le potentiel d'un abaissement de la crête déversante du barrage comme mesure de mitigation des inondations. Dans le cadre de ce mandat, GBI a confié à FLUVIO l'analyse des aspects hydrauliques de l'étude.

Compte tenu des hypothèses posées pour combler certaines données manquantes, cette étude hydraulique sert d'outil d'aide à la décision pour évaluer le potentiel d'efficacité d'un abaissement de la crête et pour déterminer les actions subséquentes à entreprendre pour protéger les riverains.

Ce document présente les données utilisées, l'analyse de la situation, l'approche de calcul retenue et les impacts de l'abaissement du barrage. Il identifie également les principaux enjeux liés à ce projet et émet des recommandations sur les étapes subséquentes.

1.2 LOCALISATION DU SITE

La carte 1-1 présente la localisation du barrage, le réseau hydrographique local, les principaux ouvrages présents sur la rivière, ainsi que la position des stations hydrométriques en fonction.



Légende

Stations hydrométriques

Barrage de North Hatley

Ponts

Passerelle

P-19428

P-70201

●

◇

○

○

○

○

Notes

Étude de préfaaisabilité pour l'évaluation du gain potentiel sur les inondations suivant un abaissement du seuil de la crête déversante

Carte 1-1

Localisation du site à l'étude

Sources

Fond de carte :

Google Satellite

© Google, Maxar Technologies, Landsat

Copernicus. 2025

NAD 1983 CSRS MTM Zone 7

Préparée par : Marilou Béland, CPI, M. Sc.

Approuvée par : Claudine Breton, ing., M. Sc. A.

Août 2025

FLUVIO

2 DONNÉES DE BASE

2.1 LISTE DES INTRANTS

Le tableau 2-1 présente la liste des intrants consultés dans le cadre du présent mandat.

Tableau 2-1 : Liste des intrants

Catégorie	Titre de l'intrant	Référence
Topographie	LiDAR - Feuillet 21E05	Données Québec, 2016
Rapports et études	Programme de détermination des cotes de crues – Rivière Tomifobia - Municipalité de Hatley – PDCC 05-007	Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2003
	Programme de détermination des cotes de crues – Rivière Massawippi - Ville de Waterville – PDCC 05-010	Centre d'expertise hydrique du Québec (CEHQ), 2004
	Évaluation de la sécurité du barrage de la rivière Massawippi X007340	BPR, 2009
	Plan de gestion des eaux retenues Barrage X007340	BPR, 2009
	Études techniques Barrage Massawippi – Concept de réhabilitation – X0007340	BPR, 2010
	Étude de plaines inondables – Rivière Massawippi. Village de North Hatley	exp., 2013
	Rapport d'inspection du barrage Massawippi	VANEX, 2014
	Étude hydraulique/rivière Massawippi Pont P-07203	MTMD, 2016
	Gestion intégrée des barrages face aux changements climatiques et résilience des communautés locales : Acclimatons-nous ! Barrages.	Frizzle et al., 2023
Hydrométrie (niveaux et débits)	Stations hydrométriques – Atlas hydroclimatique (en ligne)	MELCCFP, 2025a
Barrages	Répertoire des barrages (en ligne)	MELCCFP, 2025b

2.2 SYSTÈMES DE RÉFÉRENCE

Les niveaux d'eau, de même que les élévations du terrain issus du LiDAR et les élévations des différentes composantes du barrage, sont présentés dans ce rapport dans les systèmes de référence suivants :

- Coordonnées : NAD83 (SCRS) avec projection MTM fuseau 8
- Vertical : CGVD28

2.3 DESCRIPTION DU SYSTÈME HYDRIQUE

Le bassin versant au barrage de North Hatley couvre une superficie de 610 km². Il inclut le lac Massawippi et son principal affluent, la rivière Tomifobia. Le barrage se situe sur la rivière Massawippi, qui constitue l'effluent du lac, à 1,2 km en aval de celui-ci. La figure 2-1 illustre le profil longitudinal de la rivière Massawippi. En aval du barrage, la rivière a une pente plus prononcée sur environ 3 km, où son écoulement est peu profond, avec une succession de seuils et de cuvettes.

Trois ponts traversent la rivière Massawippi entre le lac et le barrage. Ces ouvrages sont susceptibles d'occasionner un rehaussement du niveau d'eau en amont en raison de la perte de charge, principalement en période de crue. Cette perte de charge sera d'autant plus importante si le niveau d'eau atteint le dessous du pont (soffite) et que l'écoulement entre en charge. Ces ponts sont localisés sur la carte 1-1 et illustrés à la figure 2-2, et l'élévation du soffite est tirée des intrants disponibles (BPR, 2009 et MTMD, 2016):

- Passerelle à l'exutoire du lac (ancien pont ferroviaire) – Soffite à l'élévation 162,3;
- Pont de la rue Main (P-19428, reconstruit en 2020) – Soffite à l'élévation 162,90;
- Pont du chemin Vaughan (P-07201, construit en 1952) – Soffite à l'élévation 161,925.

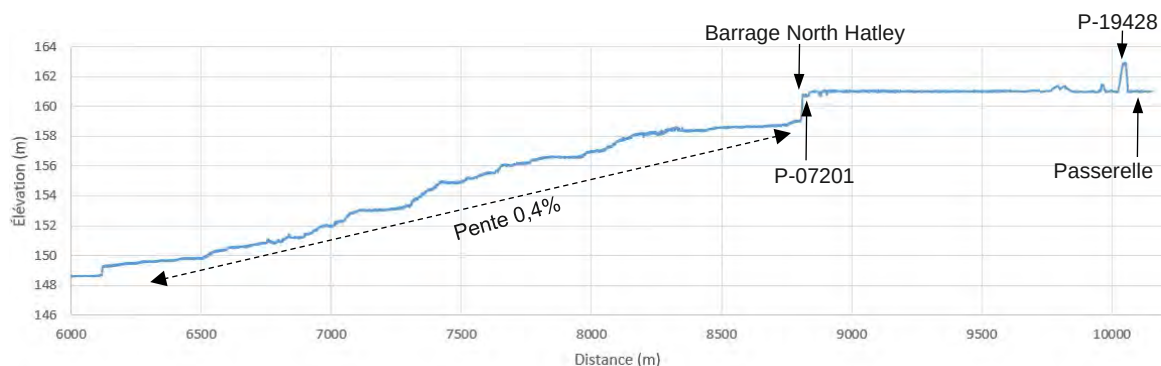


Figure 2-1 : Profil en long de la rivière Massawippi dans le secteur du barrage de North Hatley, issu du Lidar



Passerelle



Pont de la rue Main
P-19428



Pont du chemin Vaughan
P-07201

Figure 2-2 : Ponts localisés sur la rivière Massawippi entre le lac et le barrage

2.4 BARRAGE DE NORTH HATLEY

2.4.1 Description

Le barrage de North Hatley¹ est un ouvrage à crête déversante de type « béton-gravité », équipé d'un pertuis d'évacuation muni d'une vanne verticale. Il a été construit en 1964 afin de réguler le niveau du lac Massawippi et le débit de la rivière Massawippi. Le barrage a une

¹ Ouvrage X0007340 selon le répertoire des barrages du MELCCFP

hauteur de 3,8 m et la hauteur de la retenue est de 2,5 m. Les figures 2-3 à 2-5 montrent le barrage et ses différentes composantes, de même que la rivière en aval du barrage, où on retrouve une petite île et plusieurs sections de contrôle hydraulique à faible débit. Lors de la prise de ces photos, le 28 juillet 2025, le débit de la rivière était de 2,0 m³/s.

Des travaux majeurs de réfection ont été réalisés en 2009, incluant une reconstruction du pertuis d'évacuation et l'ajout d'une passe migratoire. Les plans disponibles dans l'étude d'évaluation de la sécurité du barrage (BPR, 2009) contiennent les informations suivantes :

- Élévation du dessus de la crête du déversoir : 160,751 m;
- Longueur du déversoir : 50,55 m;
- Largeur de la passe à poisson : 0,4 m;
- Élévation du bas de la passe à poisson : 159,77 m;
- Largeur du pertuis d'évacuation : 6,0 m
- Élévation du bas du pertuis d'évacuation : 159,410 m;
- Hauteur de la vanne : 1,6 m;
- Ouverture maximale du pertuis d'évacuation : 3,2 m.



Figure 2-3 : Vue amont du barrage de North Hatley



Figure 2-4 : Vue aval du barrage de North Hatley



Figure 2-5 : Vue aval du pertuis d'évacuation et de la passe à poisson

2.4.2 Opération du barrage

Le barrage est géré par un comité regroupant ses cinq propriétaires, soit les municipalités de Hatley, du Village d'Ayer's Cliff, de Sainte-Catherine-de-Hatley, du Village de North Hatley et du Canton de Hatley. La vanne du barrage est opérée manuellement de manière à maintenir les niveaux d'opération suivants au lac Massawippi:

- Niveau estival : 160,5 m;
- Niveau hivernal : 160,3 m.

S'il n'y a pas de précipitations significatives, ces niveaux cibles peuvent être maintenus sans déversement sur la crête tout le débit empruntant le pertuis d'évacuation et la passe migratoire.

Selon l'information reçue de l'opérateur du barrage, en tout temps, le MELCCFP exige une ouverture minimale de la vanne de 3% de l'ouverture complète, pour satisfaire aux besoins de la faune aquatique en aval du barrage. Pour les mêmes raisons, l'opération de la vanne est restreinte à une variation quotidienne de 10%. L'opérateur du barrage consulte quotidiennement les prévisions météorologiques afin de procéder à des ouvertures préventives visant à limiter la hausse du niveau du lac en cas de pluies abondantes, sans toutefois abaisser le lac à des niveaux nuisant aux usages. La capacité d'évacuation du barrage et celle du lac à absorber les crues demeurent limitées, car à la suite de fortes précipitations, le niveau du lac et le débit augmentent.

2.5 DÉBITS DE LA RIVIÈRE MASSAWIPPI

2.5.1 Données hydrométriques

La station hydrométrique 030220² se situe sur la rivière Massawippi à environ 200 m en aval du barrage de North Hatley, et est opération depuis 1952 pour la mesure du débit. La figure 2-6 présente l'historique des débits journaliers évalués à cette station de 1970 à 2011 de même que le débit journalier de janvier à septembre 2025 (trait rouge). Il n'inclut donc pas la crue de 2014, ni celle de juillet 2023.

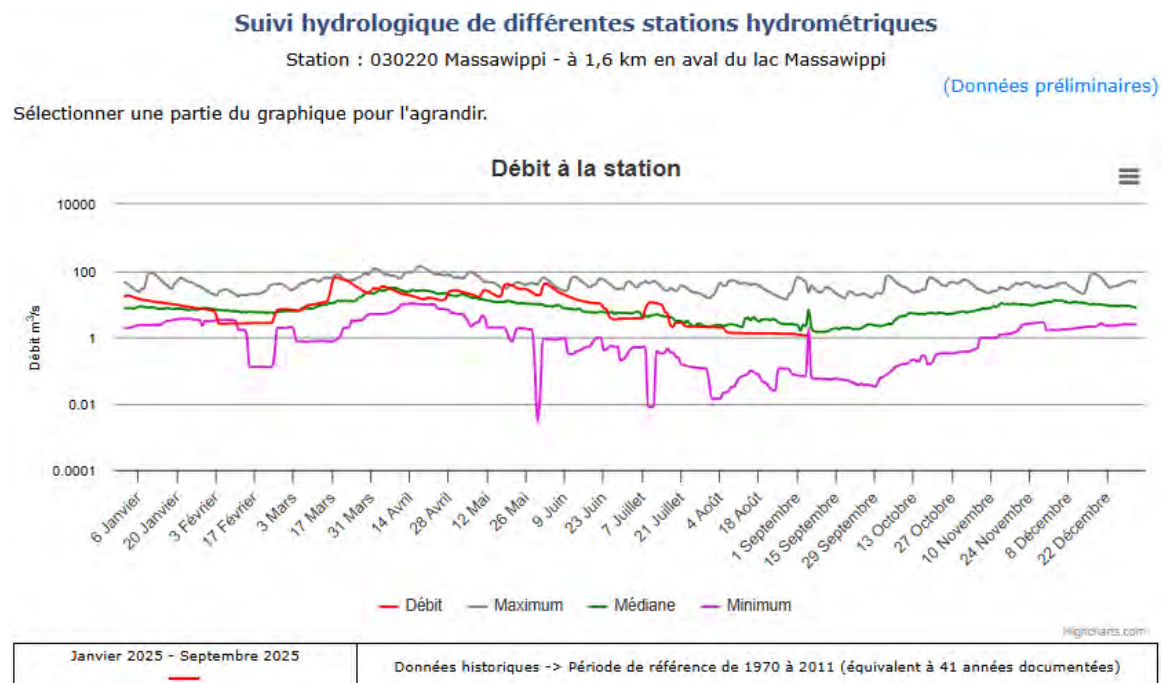


Figure 2-6 : Historique des débits moyens journaliers de la rivière Massawippi enregistrés à la station 030220

² <https://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/graphique.asp?NoStation=030220>

2.5.2 Crues statistiques

Les débits de crues statistiques de la rivière Massawippi ont été établis dans le cadre de diverses études antérieures. Le tableau 2-2 résume les valeurs répertoriées.

Les débits varient d'une étude à l'autre, certains étant des valeurs instantanées et d'autre des valeurs journalières, avec ou sans majoration pour les changements climatiques. Pour les besoins de la présente étude, nous utilisons les **valeurs de l'étude de sécurité de 2009**, ces débits étant des valeurs instantanées et plus conservatrices.

Tableau 2-2 : Débits de crues au barrage de North Hatley tirés des études antérieures

Source / étude	Débit de la crue (m³/s)			Note
	2 ans	20 ans	100 ans	
Cotes de crues – rivière Massawippi CEHQ, 2004	66,6 ¹	123,0	149,1	Débits instantané, climat actuel
Évaluation sécurité – BPR, 2009	78,7	134,4	169,4²	Débits instantané, climat futur
Étude plaine inondable- Rivière Massawippi, 2013	62,2	113,0	146,0	Débits journaliers, climat actuel
Étude hydraulique/Rivière Massawippi P19428 MTMD, 2016	62,9	-	156,0	Débits journaliers, climat actuel
Atlas hydroclimatique, MELCCFP, 2025	60,5	115,1	150,0	Débits journaliers - Tronçon SLSO02087 – Valeur de référence (climat actuel)

¹ : Débit journalier

² : Crue de sécurité du barrage de North Hatley

2.5.3 Impacts des changements climatiques

Afin de connaître les tendances des débits de la rivière Massawippi dans un contexte de changement climatiques, l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional a été consulté³. Dans un horizon temporel de 2041 à 2100, pour un scénario d'émissions de gaz à effets de serre moyennes ou élevées, les tendances sont les suivantes :

- Les crues maximales annuelles auront tendance à diminuer de l'ordre de 5%;
- Les crues d'été-automne augmenteront cependant de 10% à 24% selon l'horizon temporel et le scénario d'émissions;

³ <https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/carte-indicateurs/index.htm>

- Toutefois, globalement, l'hydraulicité moyenne de juillet diminuera de 10% à 17% et les étiages estivaux seront plus marqués.

On s'attend donc à connaître des crues printanières un peu moins intenses, mais des événements de forte pluie causant des crues estivales plus importantes en lien avec un climat plus instable, malgré une diminution de l'hydraulicité moyenne en période estivale.

2.6 NIVEAUX DU LAC MASSAWIPPI

2.6.1 Données hydrométriques

La station hydrométrique 030241 se situe dans lac Massawippi près de son exutoire, à North Hatley et est en opération depuis 1965 pour la mesure du niveau d'eau. La figure 2-7 présente l'historique des niveaux d'eau journaliers enregistrés à cette station depuis entre 1970 et 2024 de même que le niveau journalier de janvier à septembre 2025 (trait rouge).

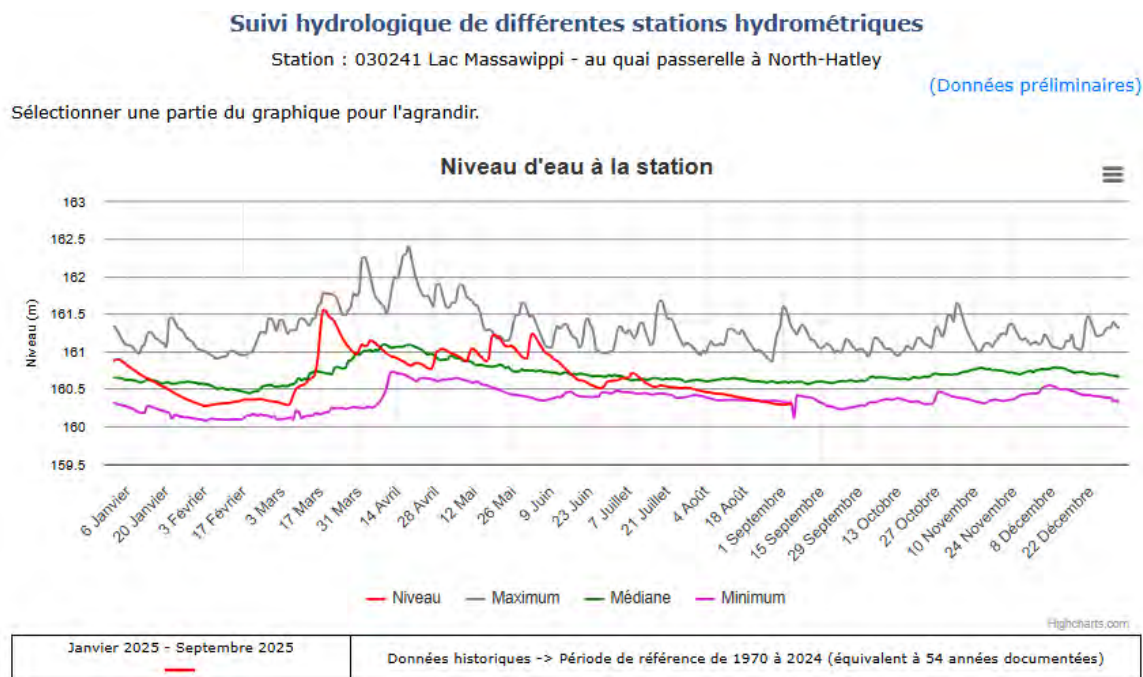


Figure 2-7 : Historique des niveaux d'eau journaliers du lac Massawippi enregistrés à la station 030241

2.6.2 Niveaux de crues statistique

Diverses études antérieures présentent les niveaux de crues statistiques au lac Massawippi. Le tableau 2-3 présente les valeurs des niveaux de crue journalière d'une récurrence de 2, 20 et 100 ans. Dans le cas des études de 2003 et 2013, les niveaux d'eau sont calculés à partir des données de la station hydrométrique 030241. Dans le cas de l'étude hydraulique de 2016, ce niveau est calculé par une modélisation hydraulique des débits de crue, car il tient compte de la modification du pont de la rue Main (P-19428) lors de sa reconstruction en 2020. Le

niveau de crue centennale, présenté dans le plan de gestion des eaux retenues (BPR, 2009), n'est pas documenté mais semble aussi être issue d'une modélisation hydraulique.

Tableau 2-3 : Niveaux de crues au lac Massawippi, tirées des études antérieures

Source / étude	Crue 2 ans	Crue 20 ans	Crue 100 ans
Cotes de crues – rivière Tomifobia (PDCC 05-007) CEHQ, 2003	161,59	162,20	162,58
Étude plaine inondable- Rivière Massawippi, 2013	161,54	162,16	162,56
Étude hydraulique/Rivière Massawippi P-19428 MTMD, 2016 (avec pont projeté)	161,46	-	162,25
Évaluation sécurité – BPR, 2009 (Plan de gestion des eaux retenues)			162,88

3 ANALYSE DE LA PROBLÉMATIQUE DES CRUES

3.1 DÉBIT DE LA RIVIÈRE MASSAWIPPI

L'analyse des crues de la rivière Massawippi, basé sur le débit moyen journalier entre 1954 et 2024 (67 années de données complètes) démontre que les crues maximales annuelles ont été observées majoritairement au printemps en mars ou avril (53 fois). Les quatre plus fortes crues journalières sont toutes survenues en avril, soit 124 m³/s en 1982, 135 m³/s en 1994 et 116 m³/s en 1998 et en 2014. Le plus fort débit en crue d'été-automne enregistré (entre juin et décembre) est de 83 m³/s en décembre 1983.

3.2 NIVEAU DU LAC MASSAWIPPI

Il est possible de faire la même analyse avec les données de niveau moyen journalier du lac Massawippi disponibles entre 1966 et 2004, puis entre 2011 et 2024, sur 29 ans de données complètes. Les niveaux maximaux sont associés aux événements de crue printanière recensés en avril. Ils ont atteint des valeurs maximales de 162,26 m en avril 1998 et de 162,40 m en avril 1994.

3.3 INONDATIONS DE 2014 ET DE 2023

La dernière inondation par le lac Massawippi remonte à 2014, alors que le niveau du lac a atteint 162,30 m et la rivière Massawippi a atteint un débit maximal de 116 m³/s, ce qui correspond à une crue d'une récurrence d'environ 20 ans.

Cependant, en juillet 2023, l'accès au lac n'a pas été possible pendant plus d'une semaine à la suite de fortes précipitations, alors que les quais ont été submergés et que le niveau du lac a atteint un maximum de 161,67 m. Les niveaux d'eau se sont maintenus à 161,4 m et plus durant 6 jours. Ce niveau problématique durant la période estivale correspond à peu près au niveau de la crue annuelle. La crue de juillet 2023 n'est donc pas un événement qu'on pourrait qualifier de crue exceptionnelle, mais une crue de cette ampleur semble être problématique si elle survient durant la période estivale.

3.4 TAUX DE MONTÉE DU NIVEAU DU LAC

À titre indicatif, le taux de montée du niveau du lac Massawippi en crue printanière se situe entre 0,15 m et 0,35 m en 24 heures, alors que le taux de montée des crues survenant en période d'été-automne se situe entre 0,25 m et 0,30 m en 24 h. Généralement, les crues printanières ont tendance à être de plus longue durée que celles en période d'été-automne et à faire monter le niveau du lac moins rapidement.

3.5 SYNTHÈSE

La problématique en lien avec la dynamique des crues dans le lac Massawippi dans le cadre de cette étude est donc double :

- Au printemps : les niveaux des crues peuvent causer des inondations sur les berges dans certains secteurs;
- Durant la saison estivale : la difficulté à maintenir les niveaux d'opération durant les périodes prolongées de fortes pluies.

4 ANALYSE DE L'EFFET DE L'ABAISSMENT DE LA CRÊTE DU BARRAGE

4.1 APPROCHE

Une solution potentielle aux problématiques d'inondation, identifiée par les riverains, serait l'abaissement de la crête déversante du barrage, afin d'en augmenter la capacité d'évacuation. Dans un contexte de préfaisabilité, il importe d'analyser la problématique dans son ensemble afin de juger de l'efficacité potentielle de ces travaux. Ainsi, les questions suivantes doivent être soulevées :

- Est-ce que l'abaissement de la crête déversante permettrait d'augmenter la capacité d'évacuation au barrage (et d'abaisser le niveau du lac en période de crue), considérant la possibilité d'un refoulement par l'aval du barrage, donc un niveau d'eau en aval du barrage potentiellement plus haut que la crête déversante?
- Quel devrait être l'abaissement de la crête déversante, en termes de hauteur, pour que celui-ci soit efficace, et considérant qu'un abaissement sous la cote 160,5 m aurait un impact certain sur le maintien du niveau du lac hors des périodes de crue?
- Est-ce que d'autres structures (autres que le barrage) causent un rehaussement du niveau d'eau au lac Massawippi, et contribuent ainsi potentiellement aux inondations? Notamment, le pont du chemin Vaughan pourrait entrer en charge durant les plus fortes crues en raison de son soffite relativement bas, et de sa configuration qui limite l'ouverture hydraulique, avec deux piliers dont la largeur est de l'ordre de 3,4 m;
- Est-ce que les événements de crue du printemps 2014 et de juillet 2023 auraient pu être atténués par l'abaissement du barrage?

Pour répondre à ces questionnements, un modèle hydraulique numérique a été mis en œuvre afin de simuler les écoulements de la rivière Massawippi, entre le secteur du barrage et le lac, en considérant les ouvrages actuels, puis en modifiant ces ouvrages pour évaluer l'impact de ces travaux sur les niveaux d'eau au lac Massawippi. La mise en œuvre du modèle hydraulique est présentée à l'annexe A. Comme le modèle a été construit avec les données disponibles seulement, il possède certaines limitations :

- Très peu de données bathymétriques sont disponibles entre le barrage et le lac, notamment au pont du chemin Vaughan, où la configuration du fond a été estimée à partir des observations visuelles;
- Aucune données bathymétriques ne sont disponibles en aval du barrage, et le modèle numérique de terrain a dû être basé sur les élévations du LiDAR, ce qui peut mener à une surestimation des niveaux d'eau en aval du barrage, surtout pour les plus faibles débits;
- L'étalonnage du modèle a été effectué uniquement à partir des débits et niveau d'eau enregistrés aux deux stations hydrométriques en opération.

Néanmoins, malgré ces incertitudes, la modélisation effectuée permet une première analyse de solution dans le contexte d'une étude de préfaisabilité.

Pour répondre à la problématique double qui survient au printemps et en été, les simulations ont été réalisées sur la base de plusieurs scénarios d'opération du barrage selon la période de l'année. Ainsi, les crues ont été simulées pour des scénarios d'abaissement de la crête de

0,25 m, 0,50 m et 1,00 m et des ouvertures de vanne de 3%, 13%, 33%, 50% et 100%. Afin de faciliter la lecture et la compréhension du rapport, seulement un échantillon des résultats est présenté dans les sections suivantes. Les deux scénarios les plus représentatifs sont présentés dans ce rapport, soit :

- La vanne 100% ouverte lors des crues printanières (figure 4-1);
- La vanne 13% ouverte pour les crues en période d'été-automne, puisque la limitation de variation quotidienne est de 10% et l'ouverture minimale est de 3% (figure 4-2).

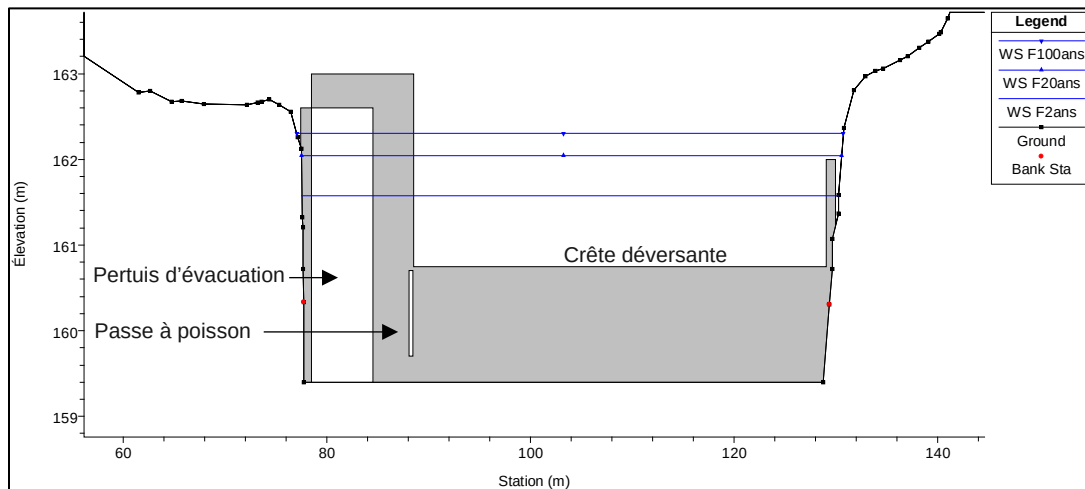


Figure 4-1 : Modélisation du barrage de North Hatley avec la vanne 100% ouverte

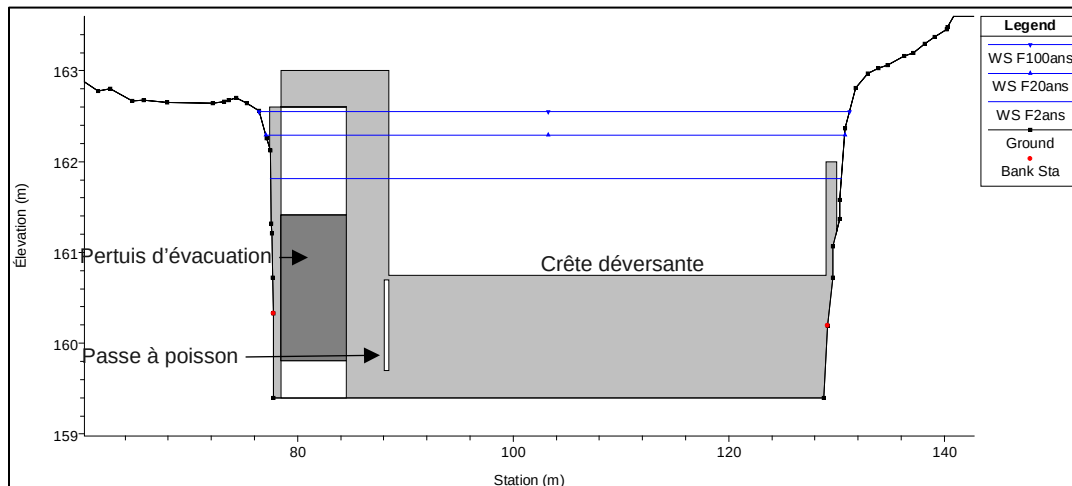


Figure 4-2 : Modélisation du barrage de North Hatley avec la vanne 13% ouverte

Les résultats de l'ensemble des simulations réalisées sont présentés à l'Annexe B. Les crues ont également été simulées avec des modifications de géométrie du pont du chemin Vaughan pour des conditions de vanne ouverte à 100%. Ces résultats sont présentés à l'annexe C.

4.2 EFFET DE L'ABAISSEMENT DE LA CRÊTE DÉVERSANT DU BARRAGE

L'abaissement maximal de la crête déversante du barrage permettant de maintenir un niveau d'opération à 160,5 m sans l'ajout d'une vanne sur la crête est de 0,25 m. Deux hauteurs d'abaissement plus grandes, soit de 0,50 m et 1,00 m ont aussi été étudiées pour évaluer leur impact sur les niveaux du lac Massawippi en période de crue. Le tableau 4-1 présente les niveaux du lac ainsi que le gain potentiel selon l'abaissement de la crête pour une crue 2 ans, alors que le tableau 4-2 présente ces mêmes résultats pour la crue 100 ans.

Tableau 4-1 : Niveaux du lac simulés en crue 2 ans (78,7 m³/s) selon l'élévation de la crête du déversoir

Abaissement de la crête du déversoir (m)	Actuelle	0,25	0,50	1,00
Élévation de la crête (m)	160,75	160,50	160,25	159,75
Vanne 100% ouverte				
Niveau du lac (m)	161,75	161,59	161,46	161,39
Abaissement du niveau du lac par rapport à l'état actuel (m)	-	0,16	0,29	0,36
Vanne 13% ouverte				
Niveau du lac (m)	161,94	161,75	161,57	161,42
Abaissement du niveau du lac par rapport à l'état actuel (m)	-	0,19	0,37	0,52

Tableau 4-2 : Niveaux du lac simulés en crue 100 ans (169,4 m³/s) selon l'élévation de la crête du déversoir

Abaissement de la crête du déversoir (m)	Actuelle	0,25	0,50	1,00
Élévation de la crête (m)	160,75	160,50	160,25	159,75
Vanne 100% ouverte				
Niveau du lac (m)	162,73	162,54	162,44	162,44
Abaissement du niveau du lac par rapport à l'état actuel (m)	-	0,19	0,29	0,29
Vanne 13% ouverte				
Niveau du lac (m)	162,91	162,73	162,56	162,44
Abaissement du niveau du lac par rapport à l'état actuel (m)	-	0,18	0,35	0,47

L'abaissement de la crête du déversoir de 0,25 m permet d'abaisser le niveau du lac Massawippi de 0,16 m à 0,19 m en période de crue. Avec un abaissement de la crête de 0,50 m, ce gain augmente entre 0,29 m et 0,37 m. L'abaissement de 1,00 m de la crête permet d'augmenter le gain principalement lorsque la vanne est partiellement ouverte, conditions susceptibles de survenir en été et automne. Par contre, les plus fortes crues sont moins susceptibles de se produire durant cette période. Lorsque la vanne est complètement ouverte, en période printanière, l'abaissement jusqu'à 1,00 m n'apporte pas de gain plus important que ceux du scénario d'abaissement de 0,50 m, en raison des niveaux d'eau élevés en aval du barrage qui limitent sa capacité d'évacuation.

Les figures 4-3 et 4-4 présentent le profil en long de la rivière Massawippi pour les conditions actuelles et les scénarios d'abaissement pour les crues de récurrence 2 ans et 100 ans en considérant l'ouverture complète de la vanne. Elles indiquent que le niveau d'eau en aval du barrage est dans plusieurs cas plus élevé que la crête déversante et crée un effet de refoulement qui restreint le débit évacué par le barrage.

Les niveaux d'eau à l'exutoire du lac n'atteignent pas le soffite du pont de la rue Main (qui se situe à l'élévation 162,90 m), cependant pour tous les scénarios simulant une crue 100 ans, le niveau d'eau en amont du pont du chemin Vaughan est plus élevé que son soffite ce qui cause un écoulement en charge. L'effet du rehaussement du soffite du pont et de la modification des piles est analysé dans la section suivante.

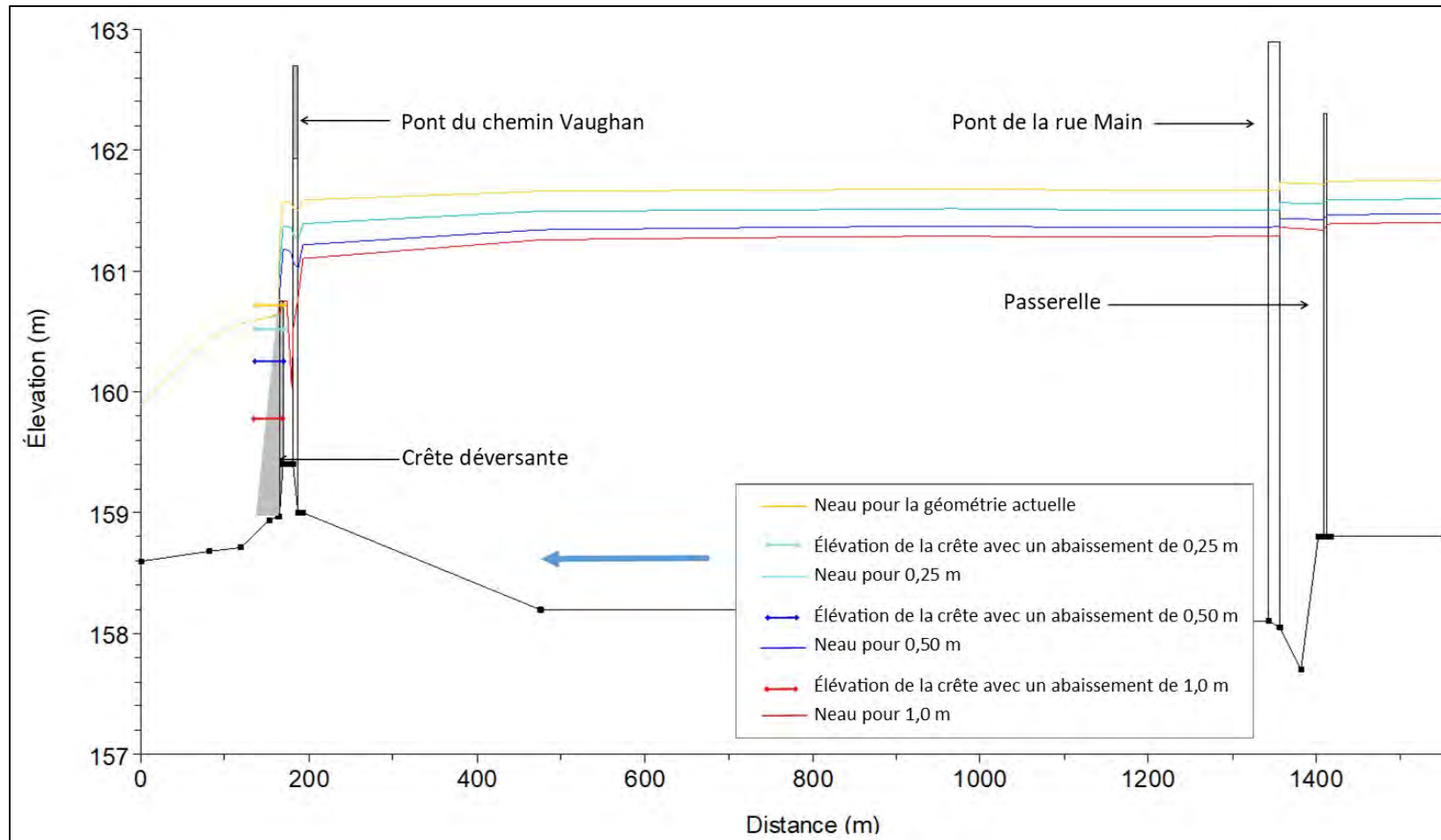


Figure 4-3 : Profil en long du niveau d'eau simulé pour un débit de récurrence de 2 ans sur la rivière Massawippi selon l'abaissement de la crête déversante

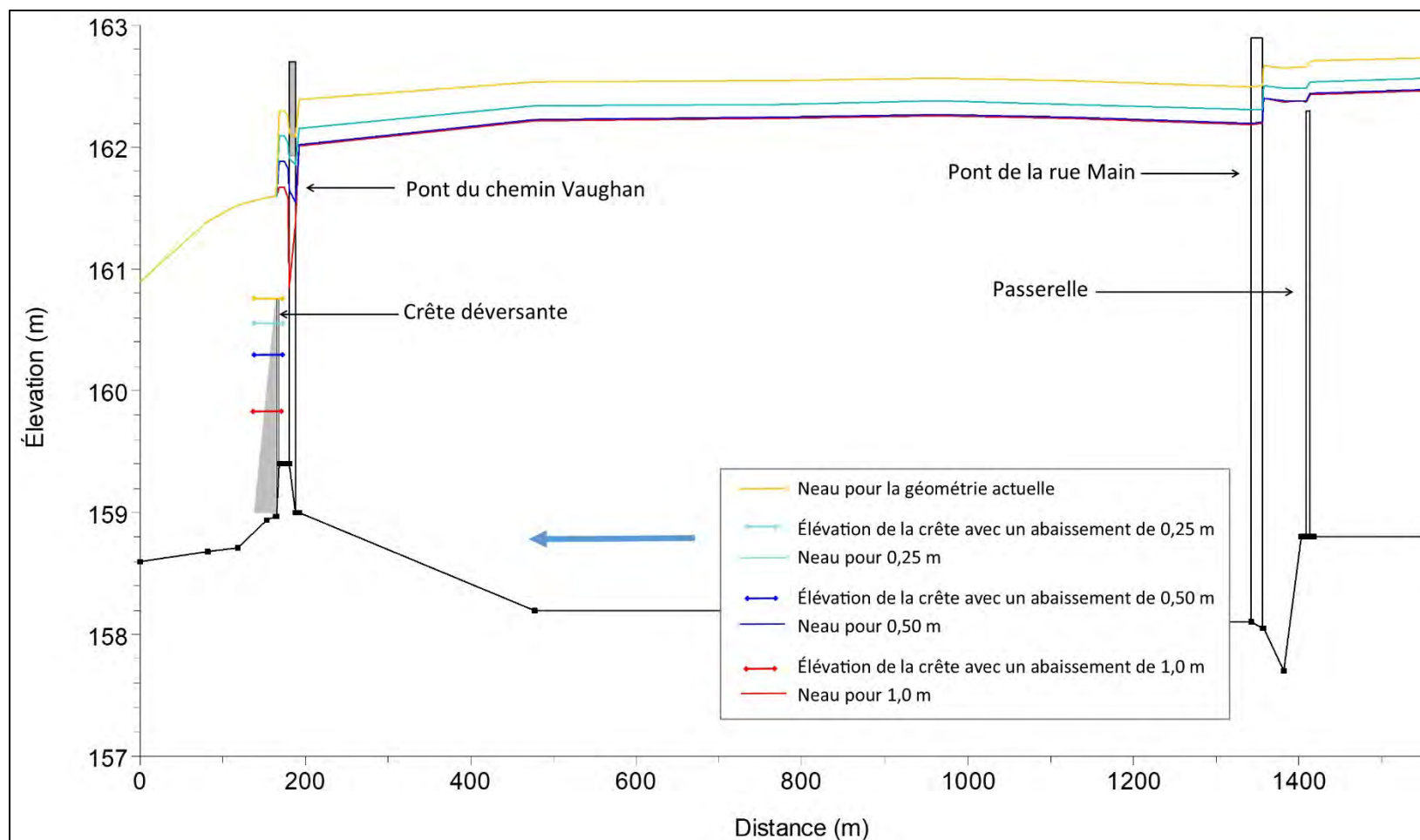


Figure 4-4 : Profil en long du niveau d'eau simulé sur la rivière Massawippi pour un débit de récurrence de 100 ans selon l'abaissement de la crête déversante

4.3 EFFET DE LA MODIFICATION DU PONT DU CHEMIN VAUGHAN

Les trois ponts entre le lac Massawippi et le barrage de North Hatley causent des pertes de charge (rehaussement du niveau d'eau en amont du pont) lors du passage des crues. Le tableau 4-3 présente les pertes de charges pour les crues de récurrence 2 ans, 20 ans et 100 ans considérant la configuration actuelle des ouvrages.

Tableau 4-3 : Perte de charge (m) aux ponts de la rivière Massawippi en conditions de crue

Pont	Crue 2 ans	Crue 20 ans	Crue 100 ans
Chemin Vaughan (P-07201)	0,03	0,06	0,13
Rue Main (P-19428)	0,06	0,10	0,13
Passerelle	0,02	0,04	0,05

Cette perte de charge est relativement faible pour la crue 2 ans pour l'ensemble des ponts. Elle est également faible à la passerelle pour tous les scénarios. Elle devient plus importante aux ponts de la rue Main et du chemin Vaughan pour les crues 20 ans et 100 ans.

Le pont de la rue Main a été reconstruit en 2020, mais continue de créer une restriction à l'écoulement en raison du milieu bâti qui l'encadre et limite son ouverture hydraulique.

Le pont du chemin Vaughan, construit en 1952, donc avant le barrage actuel, crée une restriction de la section d'écoulement dans la rivière Massawippi juste en amont du barrage de North Hatley. L'impact de la modification du pont afin d'en augmenter la capacité hydraulique a été brièvement étudiée. Les modifications du pont prévoient :

- Le remplacement des deux larges piliers (environ 3,4 m de largeur chacun) par un seul pilier de 1,5 m de largeur;
- Le rehaussement du soffite à 162,70 m (soit un rehaussement de 0,775 m, à une cote qui correspond à 0,3 m au-dessus de la crue de récurrence 100 ans).

Cette configuration est donnée à titre indicatif car la conception d'un nouveau pont nécessiterait des études plus approfondies. Le tableau 4-4 présente les pertes de charge au pont du chemin Vaughan ainsi que le niveau d'eau du lac selon les géométries actuelle et modifiée du pont. Les résultats sont obtenus pour des scénarios de crue printanière de périodes de retour de 2 ans, 20 ans et 100 ans où la vanne d'évacuation au barrage est complètement ouverte.

Tableau 4-4 : Pertes de charge (m) au pont du chemin Vaughan et niveau du lac (m) selon la configuration du pont Vaughan pour différentes crues

Configuration du pont du chemin Vaughan	Perte de charge au pont du chemin Vaughan	Niveau du lac Massawippi
Crue 2 ans – 78,7 m ³ /s		
Actuelle	0,03	161,75
Modifiée	0,00	161,73
Crue 20 ans – 134,4 m ³ /s		
Actuelle	0,06	162,36
Modifiée	0,01	162,32
Crue 100 ans – 169,4 m ³ /s		
Actuelle	0,13	162,73
Modifiée	0,01	162,64

Le rehaussement du soffite et l'élargissement de l'ouverture hydraulique en réduisant l'empreinte des piliers sous le pont permettrait de diminuer les pertes de charge à l'endroit du pont Vaughan. Ces modifications entraîneraient une baisse du niveau du lac de l'ordre de 0,02 m à 0,09 m en situation de crue.

4.4 EFFET COMBINÉ DE L'ABAISSMENT DE LA CRÊTE DÉVERSANTE ET DE LA MODIFICATION DU PONT DU CHEMIN VAUGHAN

Dans un scénario dans lequel il est possible d'abaisser la crête déversante du barrage et de modifier le pont du chemin Vaughan, la combinaison des deux interventions a été modélisée pour évaluer l'ampleur de l'effet sur les niveaux du lac Massawippi. Le tableau 4-5 présente les résultats de la simulation en crue printanière, avec une combinaison des modifications du pont du chemin Vaughan telles que décrites précédemment et un abaissement de la crête de 0,25 m. L'abaissement de 0,25 m a été retenu pour la présentation des résultats puisqu'il présente l'avantage d'entraîner une baisse du niveau du lac en période de crue tout en permettant de conserver les niveaux opérationnels visés plus facilement hors des crues.

L'effet combiné de l'abaissement de la crête et de la modification du pont permet d'abaisser les niveaux du lac de 0,18 m en crue 2 ans, 0,20 m en crue 20 ans et 0,23 m en crue 100 ans pendant la période printanière alors que la vanne est complètement ouverte.

Tableau 4-5 : Abaissement du niveau du lac Massawippi par l'abaissement de la crête déversante et la modification du pont du chemin Vaughan

Configuration	Niveau du lac Massawippi(m)	Abaissement du niveau du lac par rapport à la configuration actuelle (m)
Crue 2 ans – 78,7 m ³ /s		
Actuelle	161,75	-
Crête abaissée de 0,25 m	161,60	0,15
Crête abaissée de 0,25 m et pont modifié	161,57	0,18
Crue 20 ans – 134,4 m ³ /s		
Actuelle	162,36	-
Crête abaissée de 0,25 m	161,22	0,14
Crête abaissée de 0,25 m et pont modifié	162,16	0,20
Crue 100 ans – 169,4 m ³ /s		
Actuelle	162,73	-
Crête abaissée de 0,25 m	162,56	0,15
Crête abaissée de 0,25 m et pont modifié	162,50	0,23

4.5 EFFET DE L'ABAISSEMENT DE LA CRÊTE DÉVERSANTE ET DE LA MODIFICATION DU PONT DU CHEMIN VAUGHAN SUR LES ÉVÈNEMENTS HISTORIQUES

Les deux évènements problématiques les plus récents sont les inondations printanières d'avril 2014 alors que le niveau du lac a atteint un niveau de 162,29 m et la montée du niveau du lac en juillet 2023 alors que le niveau du lac a atteint 161,7 m. Les tableaux 4-6 et 4-7 présentent le gain potentiel sur le niveau du lac Massawippi pour ces deux événements en simulant la crête du barrage abaissée et le pont du chemin Vaughan modifié. Les gains identifiés, en termes de niveau maximal atteint durant la crue, sont les suivants :

- Crue d'avril 2014 (la vanne complètement ouverte) : les gains potentiels sont de 0,16 m à 0,34 m selon l'abaissement de la crête déversante. Les modifications apportées au pont du chemin Vaughan pourraient ajouter 0,05 m à ces gains. Le niveau maximal du lac demeure élevé, avoisinant les 162,0 m;
- Crue de juillet 2023 (simulations avec la vanne ouverte à 50%) : les gains potentiels sont de 0,15 m à 0,31 m selon l'abaissement de la crête déversante. Les modifications du pont du chemin Vaughan ajouteraient environ 0,03 m aux gains potentiels. Le niveau maximal du lac attendrait tout de même un niveau élevé, au-dessus de 161,0 m.

Tableau 4-6 : Abaissement du niveau du lac Massawippi pour la crue printanière de 2014 (117,9 m³/s) selon différentes configurations

Configuration	Niveau du lac simulé (m)	Abaissement du niveau du lac (m)
Actuelle	162,17	-
Abaissement de la crête déversante : 0,25 m	162,03	0,16
Abaissement de la crête déversante : 0,50 m	161,91	0,28
Abaissement de la crête déversante : 1,00 m	161,85	0,34
Pont du chemin Vaughan modifié	162,14	0,05
Abaissement 0,25 m + pont du chemin Vaughan modifié	161,98	0,21

Tableau 4-7 : Abaissement du niveau du lac Massawippi pour la crue de juillet 2023 (75,1 m³/s) selon différentes configurations

Configuration	Niveau du lac simulé (m)	Abaissement du niveau du lac (m)
Actuelle	161,65	-
Abaissement de la crête déversante : 0,25 m	161,50	0,15
Abaissement de la crête déversante : 0,50 m	161,40	0,25
Abaissement de la crête déversante : 1,00 m	161,34	0,31
Pont Vaughan du chemin modifié	161,62	0,03
Abaissement 0,25 m + pont Vaughan modifié	161,46	0,19

5 SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS

5.1 SYNTHÈSE

Le niveau du lac Massawippi est généralement contrôlé par le barrage de North Hatley situé sur la rivière du même nom à 1,2 kilomètre en aval du lac. Ce barrage est équipé d'une crête déversante et d'un pertuis d'évacuation qui est opéré de manière à maintenir un niveau relativement constant dans le lac et à évacuer les crues. En période de forte crue, le barrage peut être ennoyé par l'aval et le niveau du lac est alors contrôlé par le tronçon de rivière en aval du barrage. Cette situation limite la capacité d'évacuation du barrage.

En lien avec différents événements d'inondations survenus dans le secteur du lac Massawippi, notamment ceux plus récents d'avril 2014 et de juillet 2023, deux problématiques ont été identifiées :

- Les niveaux d'eau en crue, qui peuvent causer des inondations sur le pourtour du lac, surviennent principalement au printemps ;
- La difficulté à maintenir le niveau d'opération visé en période estivale durant les périodes prolongées de fortes pluies, nuisant alors à certains usages.

La crue d'avril 2014 avait une période de récurrence d'environ 20 ans. Les inondations printanières causant des dommages semblent donc être relativement peu fréquentes.

La problématique observée en juillet 2023, qui a empêché l'accès aux quais durant plus d'une semaine, est par contre survenue au passage d'une crue relativement faible (récurrence annuelle) provoquée par des précipitations tombées sur plusieurs jours. Un tel événement a des probabilités plus élevées de se reproduire particulièrement dans un contexte de perturbations climatiques tel qu'observé actuellement.

La solution proposée par les riverains pour contrer ces problématiques consiste à abaisser la crête du barrage pour en augmenter la capacité d'évacuation et ainsi diminuer les niveaux d'eau au lac en crue. Toutefois, plusieurs contraintes doivent être prises en compte pour bien évaluer le potentiel réel de cette solution :

- L'effet de la présence des ponts et de la passerelle sur le niveau du lac Massawippi au passage des crues;
- Les limitations sur le taux d'ouverture quotidien des vannes du barrage;
- La configuration de la rivière en aval du barrage qui impose des niveaux d'eau élevés au droit du barrage en période de crue et limitant la capacité d'évacuation de ce dernier;
- L'exigence de maintenir un niveau minimal en hiver et en été limitant l'abaissement potentiel de la crête déversante sans devoir ajouter d'autres vannes de régulation pour maintenir les niveaux visés.

Avec les limitations du contexte d'une étude de préféabilité, ces contraintes ont pu être intégrées aux différentes analyses. Les gains potentiels sur le niveau du lac Massawippi ont été évalués pour différentes géométries du barrage, du pont du chemin Vaughan et différents scénarios d'opération de la vanne.

En résumé, un abaissement de la crête du barrage aurait un effet limité sur le niveau du lac Massawippi en périodes de crues. Un abaissement de la crête limité à 0,25 m permettrait de conserver les niveaux opérationnels visés plus facilement hors des périodes de crues en limitant les travaux au barrage. Avec cet abaissement, le niveau lors de la crue de 2014 demeure élevé à environ 162,0 m et la crue de juillet 2023 serait atténuée mais le niveau du lac atteindrait tout de même 161,50 m.

Pour des abaissments plus importants de la crête du barrage, le gain sur le niveau maximal du lac est limité par l'effet de refoulement dans la rivière en aval du barrage, qui limite la capacité d'évacuation de ce dernier. Le niveau de la rivière en aval du barrage dépasse l'élévation de la crête déversante et c'est la capacité de la rivière elle-même qui devient limitante.

Outre ces premiers constats généraux, l'étude a permis de faire les observations suivantes :

- En conditions de crue, il serait possible d'obtenir un abaissement de l'ordre de 0,18 m à 0,35 m du niveau du lac Massawippi avec un abaissement du niveau de la crête de 0,25 m ou 0,50 m;
- Un gain du même ordre de grandeur est réalisé entre le scénario avec la vanne partiellement fermée et avec la vanne complètement ouverte;
- L'abaissement de la crête déversante jusqu'à 1 m présente un gain supérieur seulement dans le cas d'une ouverture partielle de la vanne. Lorsqu'elle est complètement ouverte, le niveau d'eau en aval du barrage limite le débit pouvant être déversé;
- La modification du pont du chemin Vaughan à elle seule a un effet limité sur l'abaissement du niveau du lac (un maximum de 0,08 m en crue centennale);
- Les effets de la modification du pont et de l'abaissement de la crête du barrage s'additionnent pour mener à des abaissments du niveau de crue plus intéressants.

5.2 RECOMMANDATIONS

Quoiqu'elle apparaisse comme étant une solution permettant d'atténuer la hausse du niveau du lac Massawippi au passage des crues, l'abaissement de la crête du barrage implique certains **enjeux et impacts** devant être considérés dans l'élaboration d'un éventuel projet :

- L'abaissement de la crête du barrage sous le niveau d'opération du lac (soit 160,5 m en période estivale, correspondant à un abaissement de 0,25 m) ne permettra plus le maintien de ce niveau sans l'ajout d'une vanne sur la portion de crête déversante (par exemple une vanne gonflable, qui devra être opérée);
- L'abaissement de la crête peut impliquer des travaux de reconstruction complète de l'ouvrage, donc les coûts seraient conséquents;
- Des restrictions existent sur l'ouverture de la vanne du pertuis d'évacuation. Ce même type de restriction pourrait s'appliquer à l'opération d'une vanne située en crête du barrage, car ces restrictions visent à protéger l'habitat faunique de la rivière en aval;
- La problématique des inondations autour du lac Massawippi ne serait pas complètement éliminée par la modification du barrage car, en forte crue (dont la

période de récurrence est supérieure à 2 ans), c'est la capacité de la rivière en aval du barrage qui limite l'écoulement.

Les gains possibles énumérés par rapport à l'ampleur des travaux pour la modification d'un barrage semblent limités. Toutefois, si ces gains étaient jugés suffisants pour développer un projet, les recommandations suivantes s'appliquent:

- Vérifier s'il est possible d'optimiser le mode d'opération du barrage en période de crue, en tenant compte des contraintes environnementales (espèces fauniques présentes, aire d'alimentation et frayères, etc.) durant les différentes saisons et du contexte morphologique (nature des sols, mobilité, érosion, etc.). Une telle optimisation nécessiterait une caractérisation environnementale et des analyses hydrologiques spécifiques aux espèces de poissons présentes dans le tronçon de rivière en aval du barrage
- Si une reconstruction du barrage est envisagée, évaluer l'option d'allonger le déversoir, par exemple en lui donnant une forme trapézoïdale, pour augmenter sa capacité d'évacuation, tout en maintenant l'élévation du seuil et les niveaux d'eau en étiage et en limitant les opérations requises;
- Réaliser des études complémentaires afin de valider la faisabilité technique, l'efficacité hydraulique et les impacts environnementaux et socio-économique des modifications envisagées, notamment :
 - o Dans le cadre d'une étude d'ingénierie, procéder à une modélisation hydraulique basée sur une bathymétrie relevée de la rivière, des jaugeages et lignes d'eau en crue, et des simulations en régime transitoire;
 - o Vérifier les impacts d'une augmentation de la capacité d'évacuation sur le risque d'inondation en aval;
 - o Valider les contraintes d'opération du barrage en fonction du cycle de vie du poisson et optimiser la gestion en conditions de crue si possible.

6 CONCLUSION

Cette étude de pré faisabilité a démontré qu'un simple abaissement de la crête déversante n'est pas suffisant pour obtenir un gain significatif pour contrer les inondations au lac Massawippi. Des modifications importantes seraient requises au barrage, voire sa reconstruction, dans le but d'augmenter sa capacité d'évacuation en crue tout en ayant les équipements requis pour maintenir les niveaux visés en périodes estivale et hivernales.

Outre les coûts de construction, de tels travaux nécessiteraient plusieurs études environnementales et d'ingénierie et il y a lieu de bien évaluer le gain réel d'un tel investissement compte tenu de la faible fréquence des évènements d'inondation.

7 RÉFÉRENCES

BPR. 2009. *Barrage de la rivière Massawippi – Évaluation de la sécurité du barrage (X0007340)*. Sherbrooke, Québec. 63 pages.

BPR. 2009. *Barrage de la rivière Massawippi (X0007340). Plan de gestion des eaux retenues*. Sherbrooke, Québec. 24 pages.

BPR. 2010. *Études techniques Barrage Massawippi – Concept de réhabilitation – X0007340*. Sherbrooke, Québec.

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). 2004. *Rivière Massawippi. Ville de Waterville. Programme de détermination des cotes de crues*. Québec. 72 pages

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). 2003. *Rivière Tomifobia. Programme de détermination des cotes de crues*. Québec. 82 pages

DONNÉES QUÉBEC. 2016. LiDAR Feuillet 21E05. <https://www.foretouverte.gouv.qc.ca/>

EXP. 2013. *Étude des plaines inondables – Rivière Massawippi*. Sherbrooke. 78 pages.

Frizzle, C., Choquette, C., Trudel, M., Leconte, R., Nozais, C., Cloutier, C., Ghribi, T., Gandouzi, E., Baillon, L. Tremblay, R., et Santos Silva, J. (2023). *Gestion intégrée des barrages face aux changements climatiques et résilience des communautés locales: Études de cas du projet Acclimatons-nous! Barrages*. Rapport présenté à Ouranos, Sherbrooke, 66 p.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP). 2025a. *Atlas hydroclimatique du Québec méridional - Stations hydrométriques*. <https://www.cehq.gouv.qc.ca/atlas-hydroclimatique/stations-hydrometriques/index.htm>

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP). 2025b. *Répertoire des barrages*. <https://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages/default.asp>

MTMD. 2016. *Étude hydraulique/Rivière Massawippi Pont P-07203 sur la rue Main/Municipalité du Village de North Hatley*. Sherbrooke. 197 pages.

USACE. 2024. *Logiciel HEC-RAS – River Analysis System - Version 6.5* US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center.

VANEX. 2014. *Inspection régulière barrage et digues*. Identification : Barrage Massawippi. 26 pages.

ANNEXE A

MISE EN ŒUVRE DU MODÈLE HYDRAULIQUE

1 DESCRIPTION DU MODÈLE

1.1 APPROCHE ET LOGICIEL UTILISÉ

Un modèle hydraulique unidimensionnel (1D) a été élaboré afin de simuler les écoulements sur un tronçon de la rivière Massawippi dans le secteur du lac Massawippi et du barrage de North Hatley. Le modèle hydraulique est construit à l'aide du logiciel HEC-RAS, version 6.6, développé et fourni publiquement par le Corps des ingénieurs de l'armée américaine¹.

Le modèle a été utilisé pour simuler un écoulement permanent, représentant les niveaux d'eau stabilisés et les vitesses d'écoulement pour un débit donné. Ce modèle permet d'intégrer la géométrie actuelle des ponts et du barrage, puis d'abaisser la crête du barrage et/ou modifier la géométrie des ponts.

1.2 DOMAINE MODÉLISÉ

La figure 1 illustre l'étendue du modèle hydraulique et l'emplacement des sections transversales le définissant. La limite amont du tronçon de rivière modélisé se situe au lac Massawippi et se termine à 0,20 km en aval du barrage de North Hatley, à la station hydrométrique 030220. La géométrie de la rivière et des terrains adjacents est représentée par 17 sections transversales.

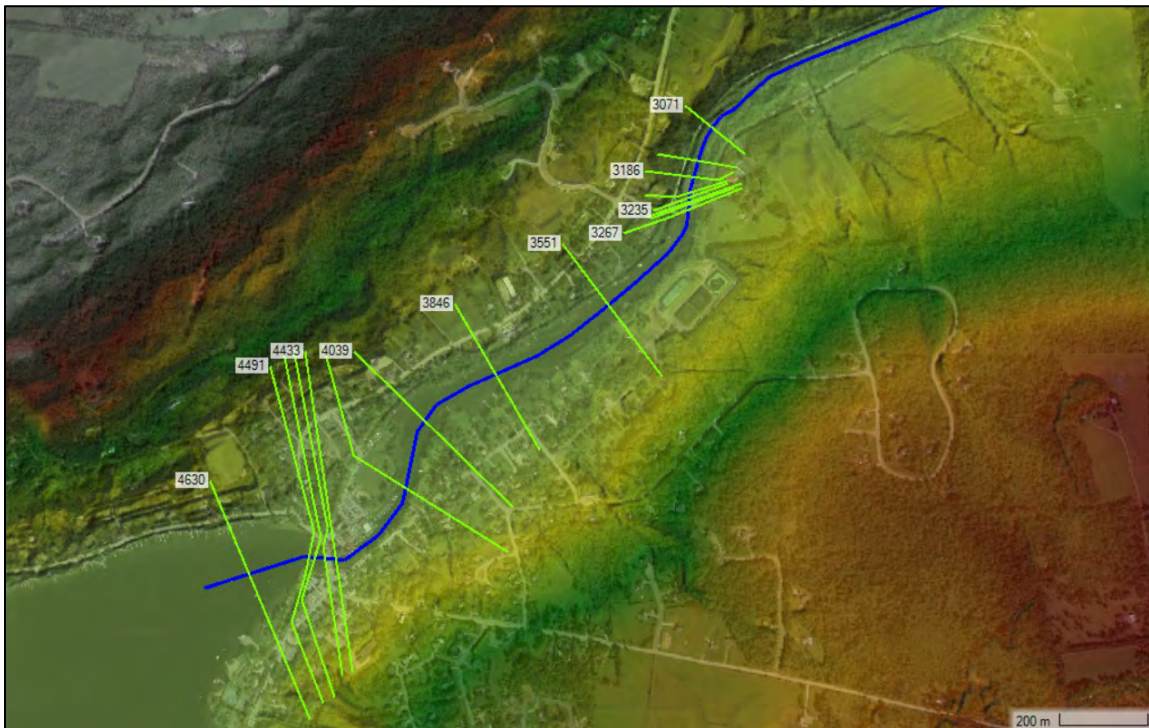


Figure 1 : Étendue du modèle hydraulique de la rivière Massawippi dans le secteur du barrage de North Hatley et sections transversales

¹ USACE, 2024 : <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/default.aspx>

Les sections transversales de la rivière ont été définies à partir de la combinaison des données topographiques LiDAR de Données Québec (2016), des sections disponibles de l'étude hydraulique sur la rivière Massawippi pour le pont P-07203 sur la rue Main (MTMD, 2016) et des observations lors de la visite de terrain effectuée le 28 juillet 2025. Les géométries du pont P-19428 sur la rue Main et du barrage de North Hatley ont été réalisées à partir des plans obtenus dans le cadre du mandat. Les géométries de la passerelle et du pont P-07201 sur le chemin Vaughan ont été établies à partir des observations de terrain de l'équipe FLUVIO et des indications retrouvées dans les différentes études fournies.

1.3 GÉOMÉTRIE DU MODÈLE

Les figures 2 à 4 illustrent les sections transversales du modèle dans la portion amont du barrage de North Hatley ainsi obtenues. Le niveau d'eau simulé de la crue journalière d'une récurrence de 2 ans est également présenté sur ces figures.

Tel que mentionné dans le rapport, les principales caractéristiques des ponts et du barrage sont :

- Élévation minimale du soffite de la passerelle : 162,3 m;
- Élévation minimale du pont P-19428 (Rue de la Main): 162,90 m;
- Élévation minimale du pont P-07201 (Chemin Vaughan) : 161,925 m;
- Élévation de la crête déversante du barrage : 160,751 m;
- Longueur de la crête déversante : 50,55 m;
- Largeur de la passe à poisson : 1,0 m;
- Largeur du pertuis d'évacuation : 6,0 m

1.4 CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions imposées aux frontières du modèle hydraulique sont un débit constant entrant à la limite amont et un niveau d'eau imposé à la limite aval du modèle, située au droit de la station hydrométrique 030220. La station mesure des niveaux d'eau et ceux-ci ont été obtenus auprès de l'opérateur de la station (le MELCCFP). Les élévations obtenues, présentées dans le système référentiel vertical CGVD2013, ont été converties au référentiel CGVD28 en additionnant une constante² de 0,37 m.

² <https://webapp.csr-scrs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/gpsh.php?locale=fr>

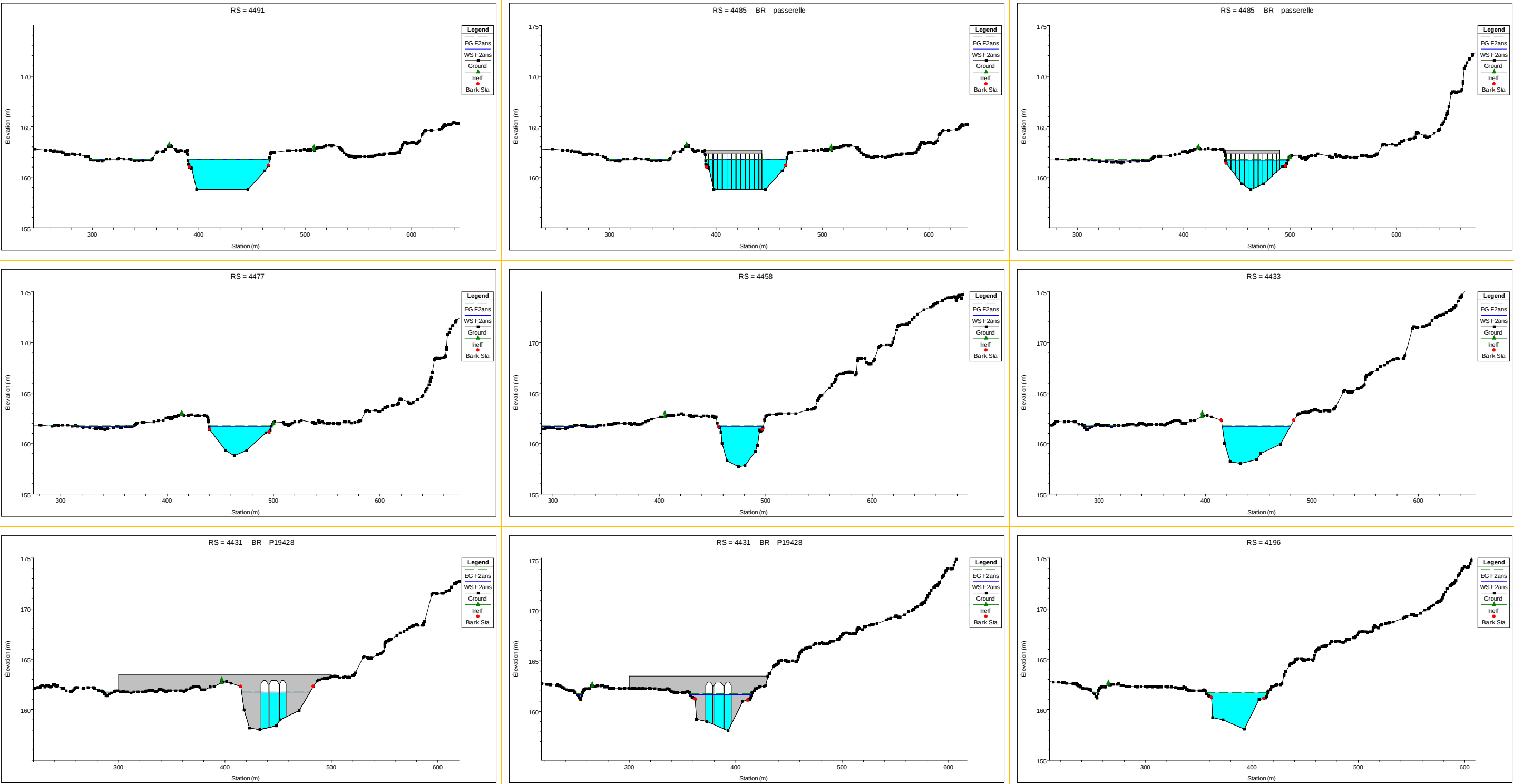


Figure 2 : Sections transversales du modèle hydraulique – Secteur du lac Massawippi et du pont P-19428 sur la rue Main

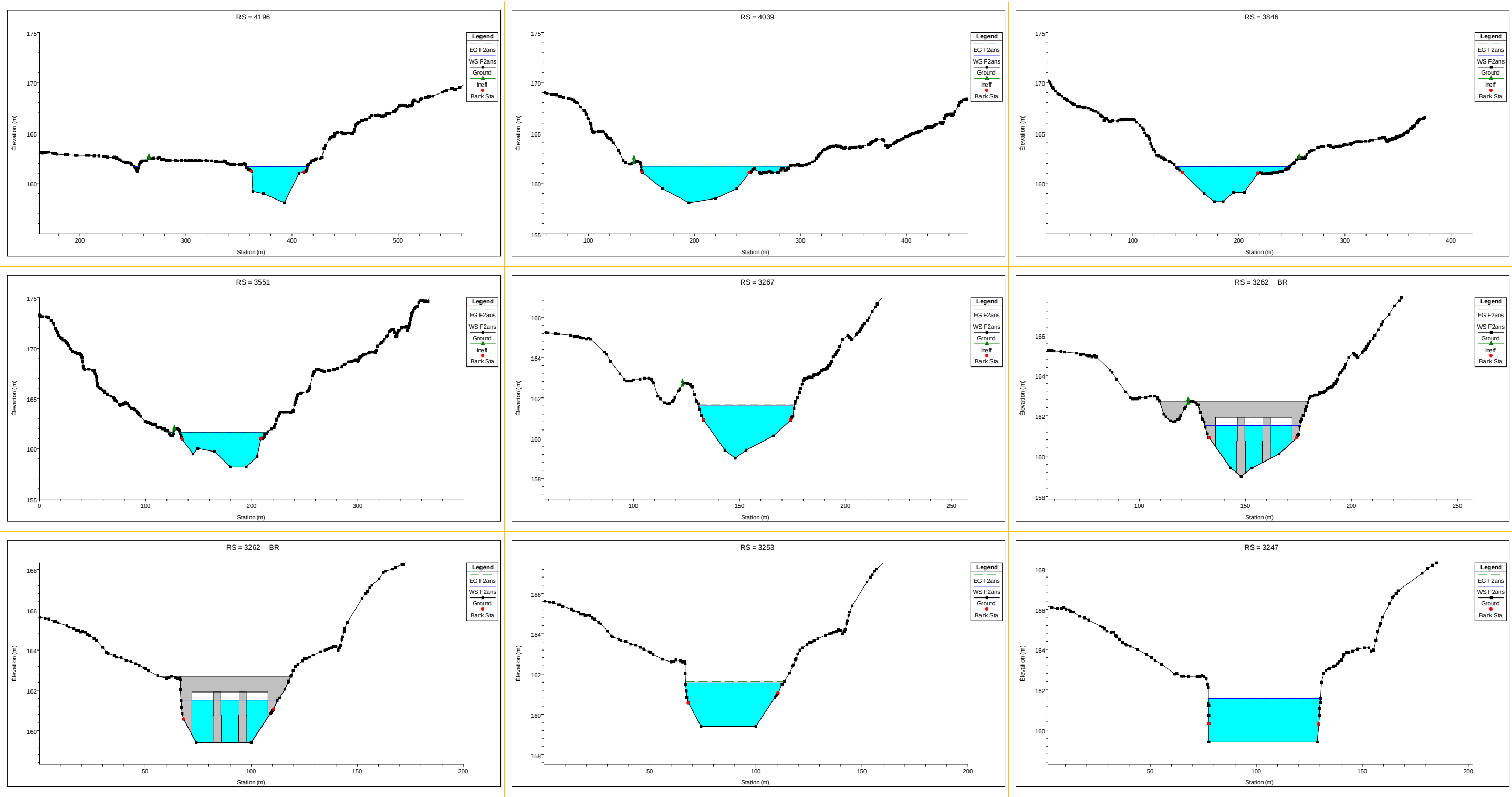


Figure 3 : Sections transversales du modèle hydraulique – En amont du barrage de North Hatley

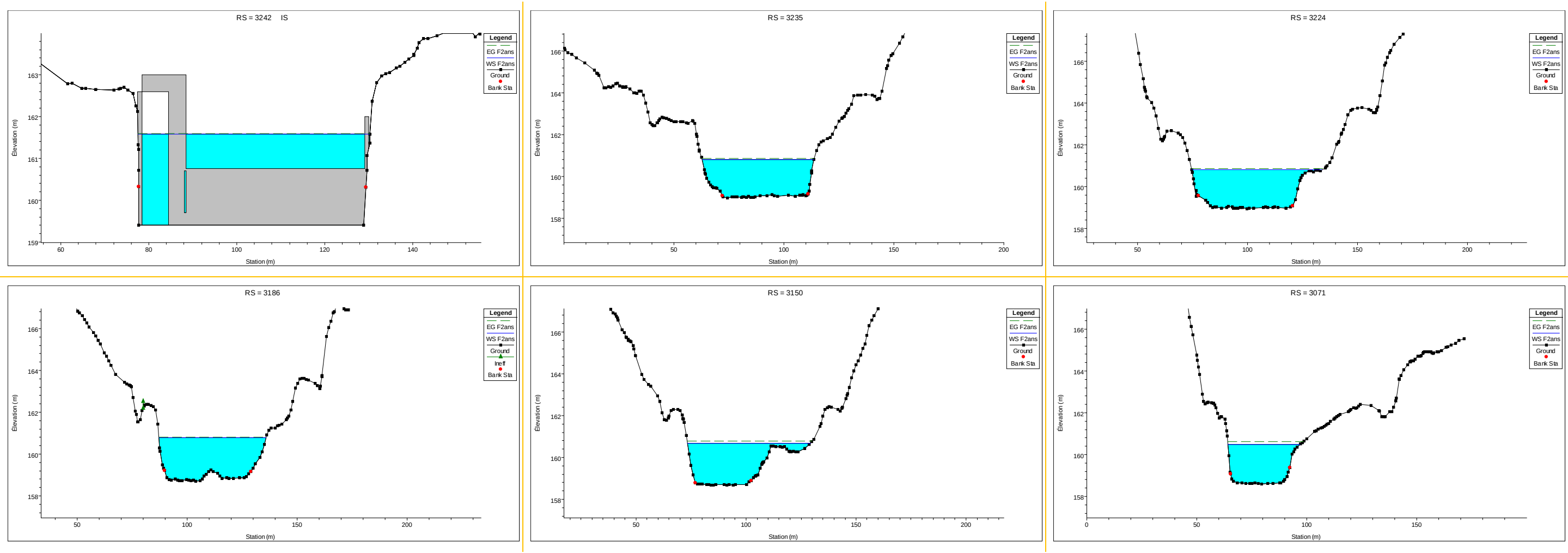


Figure 4 : Sections transversales du modèle hydraulique – Barrage de North Hatley et secteur en aval

2 ÉTALONNAGE DU MODÈLE

Peu de données de niveau d'eau sont disponibles pour étalonner le modèle de la rivière Massawippi. Les données de la station hydrométrique 030241 qui mesurent le niveau à la sortie du lac Massawippi et de la station 030220 qui mesure les niveaux et les débits en aval du barrage ont été utilisées pour vérifier la qualité du modèle. Ces données ont également permis d'imposer le niveau d'eau à la limite aval du modèle pour chacun des débits simulés. Des valeurs usuelles du coefficient de Manning entre 0,021 et 0,045 pour le lit de la rivière et de 0,06 pour les berges ont été utilisées, en fonction des observations faites sur le site. Les conditions d'ouverture de la vanne sont connues en situation de crue printanière, où la vanne est complètement ouverte et lors de la journée de la visite de terrain, où la vanne était ouverte à 3%. Les données utilisées pour l'étalonnage sont présentées au tableau 1, soit les niveaux correspondants au débit lors de la visite de terrain et à deux crues printanières.

Dans un contexte d'étude de pré faisabilité, considérant que l'écart entre le niveau d'eau observé et le niveau simulé est d'au plus 10 cm pour les trois conditions hydrologiques simulées, les résultats de l'étalonnage du modèle sont jugés satisfaisants.

Tableau 1 : Scénarios d'étalonnage du modèle hydraulique de la rivière Massawippi

Débit station 030220 (m³/s)	Niveau station 030220 (m)	Date	Ouverture de la vanne	Niveau station 030241 au lac Massawippi (m)	Niveau simulé au lac Massawippi (section 4491) (m)	Différence (m)
2,0	158,2	18-07-2025	3%	160,51	160,51	0,00
64,2	159,7	8-04-2023	100%	161,50	161,58	+0,08
117,0	160,3	16-04-2014	100%	162,28	162,18	- 0,10

ANNEXE B

RÉSULTATS DES SIMULATIONS D'ABAISSEMENT DE LA CRÊTE DÉVERSANTE



Sorties de niveaux d'eau du modèle 1D HEC-RAS

Date : 4/9/2025

# Mandat :	M25015		Surverse par-dessus de la vanne
Titre Mandat :	Barrage de North Hatley		Écoulement en charge au puits d'évacuation
Conçu par :	Marilou Béland		Écoulement en charge au pont du chemin Vaughan
Date :	04/09/25		Surface libre
Vérif par :	Claudine Breton	B.V.	Niveau du bas de la vanne
Date :	4/9/2025	H.V.	Niveau du haut de la vanne

			Barrage actuel - 160,75 m				Abaissement de la crête de 0,25 m - 160,50 m				
Vanne	Crues	Débits (m³/s)	Niveau au lac 4491 (m)	Niveau amont P-07201 3267 (m)	Niveau amont du barrage 3247 (m)	Débit vannes (m³/s)	Niveau au lac 4491 (m)	Niveau amont P-07201 3267 (m)	Niveau amont du barrage 3247 (m)	Débit vannes (m³/s)	Niveau aval 3071 (m)
100% B.V. 162.6	2ans	78,7	161,74	161,59	161,57	34,1	161,59	161,39	161,37	29,8	160,64
	20ans	134,4	162,34	162,07	162,04	45,8	162,2	161,89	161,84	40,6	161,27
	100ans	169,4	162,71	162,39	162,29	52,4	162,54	162,16	162,09	46,7	161,6
50% B.V. 161.0	2ans	78,7	161,69	161,53	161,51	38,7	161,54	161,33	161,3	35,4	160,64
	20ans	134,4	162,38	162,13	162,08	41,6	162,24	161,95	161,91	33,6	161,27
	100ans	169,4	162,81	162,52	162,41	39,3	162,66	162,32	162,23	31,2	161,6
33% B.V. 160.4 H.V. 162	2ans	78,7	161,82	161,69	161,68	25,7	161,64	161,46	161,44	24,3	160,64
	20ans	134,4	162,47	162,25	162,2	29,8	162,31	162,03	162	24,3	161,27
	100ans	169,4	162,85	162,6	162,49	31,1	162,71	162,39	162,3	24,0	161,6
13% B.V. 158.81 H.V. 161.41	2ans	78,7	161,94	161,82	161,81	14,5	161,75	161,6	161,59	12,0	160,64
	20ans	134,4	162,55	162,34	162,28	20,6	162,36	162,11	162,07	17,5	161,27
	100ans	169,4	162,91	162,65	162,54	25,5	162,73	162,43	162,33	20,0	161,6
3% B.V. 159.49 H.V. 161.09	2ans	78,7	161,98	161,86	161,86	10,7	161,79	161,64	161,63	7,9	160,64
	20ans	134,4	162,57	162,37	162,31	18,3	162,38	162,13	162,09	14,6	161,27
	100ans	169,4	162,93	162,67	162,56	23,3	162,75	162,44	162,34	18,5	161,6

			Abaissement de la crête de 0,50 m - 160,25 m				Abaissement de la crête de 1,0 m - 159,75 m				
Vanne	Crues	Débits (m³/s)	Niveau au lac 4491 (m)	Niveau amont P-07201 3267 (m)	Niveau amont du barrage 3247 (m)	Débit vannes (m³/s)	Niveau au lac 4491 (m)	Niveau amont P-07201 3267 (m)	Niveau amont du barrage 3247 (m)	Débit vannes (m³/s)	Niveau aval 3071 (m)
100% B.V. 162.6	2ans	78,7	161,46	161,22	161,17	25,5	161,39	161,11	160,75	29,7	160,64
	20ans	134,4	162,09	161,73	161,63	35,3	162,07	161,70	161,34	40,1	161,27
	100ans	169,4	162,44	162,02	161,89	41,0	162,44	162,01	161,67	46,1	161,6
50% B.V. 161.0	2ans	78,7	161,44	161,19	161,14	28,0					
	20ans	134,4	162,14	161,8	161,73	25,0					
	100ans	169,4	162,51	162,12	162,05	22,9					
33% B.V. 160.4 H.V. 162	2ans	78,7	161,48	161,25	161,2	22,6					
	20ans	134,4	162,18	161,85	161,8	18,2					
	100ans	169,4	162,55	162,17	162,1	16,9					
13% B.V. 158.81 H.V. 161.41	2ans	78,7	161,57	161,37	161,35	10,5	161,42	161,15	160,89	5,0	160,64
	20ans	134,4	162,21	161,9	161,85	12,5	162,07	161,70	161,43	4,3	161,27
	100ans	169,4	162,56	162,19	162,12	14,5	162,44	162,01	161,73	6,3	161,6
3% B.V. 159.49 H.V. 161.09	2ans	78,7	161,61	161,42	161,40	5,4					
	20ans	134,4	162,22	161,92	161,87	10,7					
	100ans	169,4	162,56	162,2	162,13	14,2					

ANNEXE C

RÉSULTATS DES SIMULATIONS DE MODIFICATIONS DU PONT DU CHEMIN VAUGHAN (P-07201)



Sorties de niveaux d'eau du modèle 1D HEC-RAS

4/9/2025

# Mandat :	M25015
Titre Mandat :	Barrage de North Hatley
Conçu par :	Marilou Béland
Date :	04/09/25
Vérif par :	Claudine Breton
Date :	4/9/2025

			Niveau au Lac 4491 (m)	Niveau amont P-07201 3267 (m)	Niveau aval P-07201 3253 (m)
Vanne ouverte 100%	Crue	m ³ /s	Conditions actuelles - soffite 161,92 m		
	2ans	78,7	161,75	161,59	161,56
	20ans	134,4	162,36	162,07	162,01
	100ans	169,4	162,73	162,39	162,26
	Crue	m ³ /s	Pont du chemin Vaughan modifié - soffite 162,45 m		
	2ans	78,7	161,72	161,56	161,56
	20ans	134,4	162,3	162,02	162,01
	100ans	169,4	162,62	162,27	162,26
	Crue	m ³ /s	Pont du chemin Vaughan modifié + abaissement 0,25 m		
	2ans	78,7	161,56	161,35	161,35
	20ans	134,4	162,14	161,81	161,8
	100ans	169,4	162,47	162,06	162,04
Vanne ouverte 13%	Crue	m ³ /s	Pont du chemin Vaughan modifié + abaissement 0,25 m		
	2ans	78,7	161,73	161,57	161,57
	20ans	134,4	162,32	162,05	162,04
	100ans	169,4	162,65	162,31	162,29

Écoulement en charge