



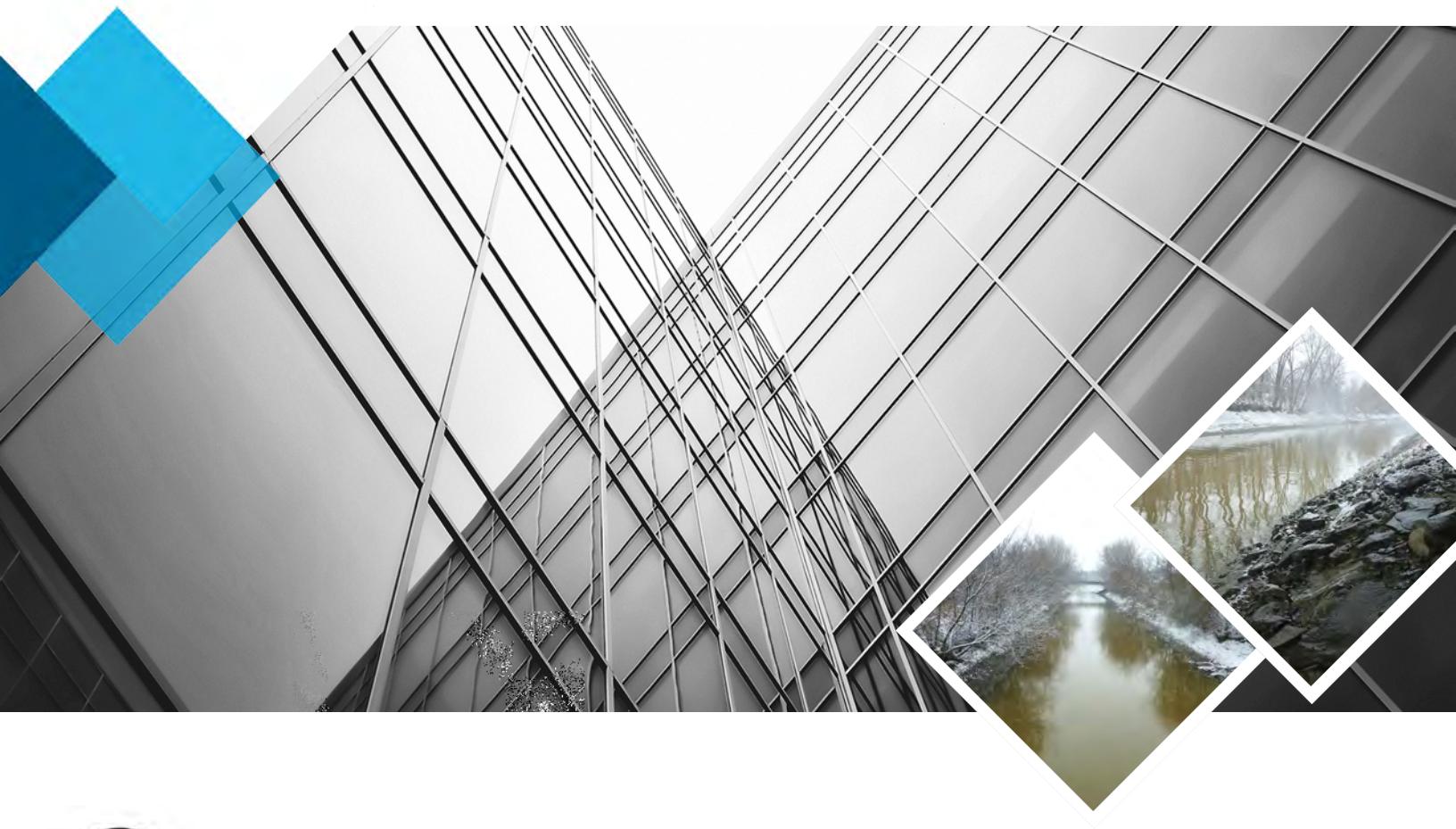
Gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche

Addenda C

Réponses aux demandes de précisions supplémentaires et d'engagements concernant l'analyse de l'acceptabilité environnementale

Dossier: 3211-02-308

Ville de Terrebonne



Ingénierie, conception et gestion de projet

Janvier I 2021

Addenda C

Ref. Client: 3211-02-308

Ref. Interne 643174-EG-L08-AddendaC-00



Gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche

Addenda C

Réponses aux demandes de précisions supplémentaires et d'engagements concernant l'analyse de l'acceptabilité environnementale

Dossier : 3211-02-308

Ville de Terrebonne

Préparé par :

Divers auteurs

Vérifié par :

Julie Bastien, biol. M.Sc. Eau
Directrice de projet
Environnement et géosciences
Ingénierie, conception et gestion de projet

V/Dossier n° : 3211-02-308
N/Dossier n° : 643174
N/Document n° : 643174-EG-L08-AddendaC-00

Janvier 2021

SNC-LAVALIN Environnement et géosciences. 2021. Addenda C – Étude d'impact sur l'environnement – Gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche, Ville de Terrebonne. Montréal, 16 p. + ann.





SNC-LAVALIN

SNC-Lavalin GEM Québec inc.
2271, boul. Fernand-Lafontaine
Longueuil (Québec)
Canada J4G 2R7

Téléphone : 514-393-1000
Télécopieur : 450-651-0885

SNC-Lavalin GEM Québec inc.
5955, rue Saint-Laurent
Bureau 300
Lévis (Québec)
Canada G6V 3P5

Téléphone : 418-837-3621
Télécopieur : 418-837-2039

SNC-Lavalin GEM Québec inc.
455, Boul. René-Lévesque Ouest
Montréal (Québec)
Canada H2Z 1Z3

Téléphone : 514-393-1000
Télécopieur : 514-392-4758

Le 20 janvier 2021

Madame Marianne Aquin, ing.
Chargée de projets – Mouvements de sols et stabilisation de talus
Direction du génie et environnement
3060, Chemin Saint-Charles
Terrebonne (Québec) J6V 1A1

Objet : Réponses aux demandes de précisions supplémentaires et d'engagements concernant l'analyse de l'acceptabilité environnementale pour le projet de gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche
V/Dossier n° : 3211-02-308
N/Dossier n° : 643 174
N/Document n° : 643 174-EG-L08-Addenda C-00

Madame Aquin,

Veuillez trouver ci-joint les réponses aux demandes de précisions supplémentaires et d'engagements concernant l'analyse de l'acceptabilité environnementale du projet de gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche.

Espérant le tout conforme à vos attentes, veuillez agréer, Madame Aquin, l'expression de nos sentiments distingués.

SNC-Lavalin GEM Québec inc.

Julie Bastien
Directrice de projet
Environnement et géosciences
Ingénierie, conception et gestion de projet

JB/mh

p. j.



Avis au lecteur

Le présent rapport a été préparé, et les travaux qui y sont mentionnés ont été réalisés par SNC-Lavalin GEM Québec inc., (SNC-Lavalin), exclusivement à l'intention de la **Ville de Terrebonne** (le Client), qui fut partie prenante à l'élaboration de l'énoncé des travaux et en comprend les limites. La méthodologie, les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport sont fondés uniquement sur l'énoncé des travaux et assujettis aux exigences en matière de temps et de budget, telles que décrites dans l'offre de services et/ou dans le contrat en vertu duquel le présent rapport a été émis. L'utilisation de ce rapport, le recours à ce dernier ou toute décision fondée sur son contenu par un tiers est la responsabilité exclusive de ce dernier. SNC-Lavalin n'est aucunement responsable de tout dommage subi par un tiers du fait de l'utilisation de ce rapport ou de toute décision fondée sur son contenu.

Les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport (i) ont été élaborés conformément au niveau de compétence normalement démontré par des professionnels exerçant des activités dans des conditions similaires de ce secteur, et (ii) sont déterminés selon le meilleur jugement de SNC-Lavalin en tenant compte de l'information disponible au moment de la préparation du présent rapport. Les services professionnels fournis au Client et les conclusions, les recommandations et les résultats cités au présent rapport ne font l'objet d'aucune autre garantie, explicite ou implicite. Les conclusions et les résultats cités au présent rapport sont valides uniquement à la date du rapport et peuvent être fondés, en partie, sur de l'information fournie par des tiers. En cas d'information inexacte, de la découverte de nouveaux renseignements ou de changements aux paramètres du projet, des modifications au présent rapport pourraient s'avérer nécessaires.

Le présent rapport doit être considéré dans son ensemble, et ses sections ou ses parties ne doivent pas être vues ou comprises hors contexte. Si des différences venaient à se glisser entre la version préliminaire (ébauche) et la version définitive de ce rapport, cette dernière prévaudrait. Rien dans ce rapport n'est mentionné avec l'intention de fournir ou de constituer un avis juridique.

Équipe de réalisation

Julie Bastien, biol., M.Sc. Eau	Directrice de projet
François Beaudoin, ing., M.Eng., ESCQ	Estimateur de la construction
Jean-François Beaulieu, ing., PhD.	Géotechnique
Catherine Dumais, biol., M.Sc.	Végétation
Rodrigo Freire De Macedo, ing.	Hydraulique
Francis Lepage, ing., M.Sc.A.	Hydraulique
Michel Tremblay, ing., PhD.	Hydraulique
Patrick Verhaar, PhD.	Hydraulique
Mélanie Hunault	Édition

Table des matières

1	Introduction	1
2	Demande de précisions supplémentaires et d'engagements concernant l'analyse de l'acceptabilité environnementale pour le projet de stabilisation des berges de la rivière Mascouche.....	3
2.1	Forêt.....	3
	QC-AE-1 Commentaire au sujet de la réponse à la QC-45	3
	QC-AE-2	5
	QC-AE-3	9
	QC-AE-4	10
	QC-AE-5	11
	QC-AE-6	12
2.2	Scénario proposé	13
	QC-AE-7	13
2.3	Période des travaux et structure P-15668 de la route 344	16
	QC-AE-8	16
2.4	Habitat du poisson	16
	QC-AE-9	16
2.5	Mulettes.....	17
	QC-AE-10	17
2.6	Végétalisation de l'enrochement.....	18
	QC-AE-11	18
2.7	Empiétement en rive	18
	QC-AE-12	18

Liste des cartes

Carte 1	Plan et coupe - Concept retenu Canal de dérivation.....	2
---------	---	---

Liste des tableaux

Tableau 1	Impact des changements climatiques sur les débits d'étiage estival de la Rivière-des-Miles-Îles	6
Tableau 2	Comparaison des niveaux d'eau modélisés - Crue 1 :100 ans annuelle et crue 1 :100 ans d'été-automne majorée	8
Tableau 3	Vitesses d'écoulement maximales selon les scénarios de crue d'été-automne 13	
Tableau 4	Caractéristiques des scénarios de protection envisagés	15
Tableau 5	Dimensionnement des protections envisagées selon les vitesses modélisées	15
Tableau 6	Calendrier de construction pour l'option hybride et les options 1 et 2	15

Liste des figures

Figure 1	Courbe de tarage a l'aval du canal de dérivation	7
Figure 2	Zones inondées pour une crue 1 :100 ans été-automne majorée selon les scénarios analysés	9
Figure 3	Niveau de la cote 0-2 ans selon le chaînage du canal de dérivation de la rivière Mascouche	11
Figure 4	Exemple de zone de transition en enrochement pour ancrer le TBC à l'amont et l'aval de la zone stabilisée	13

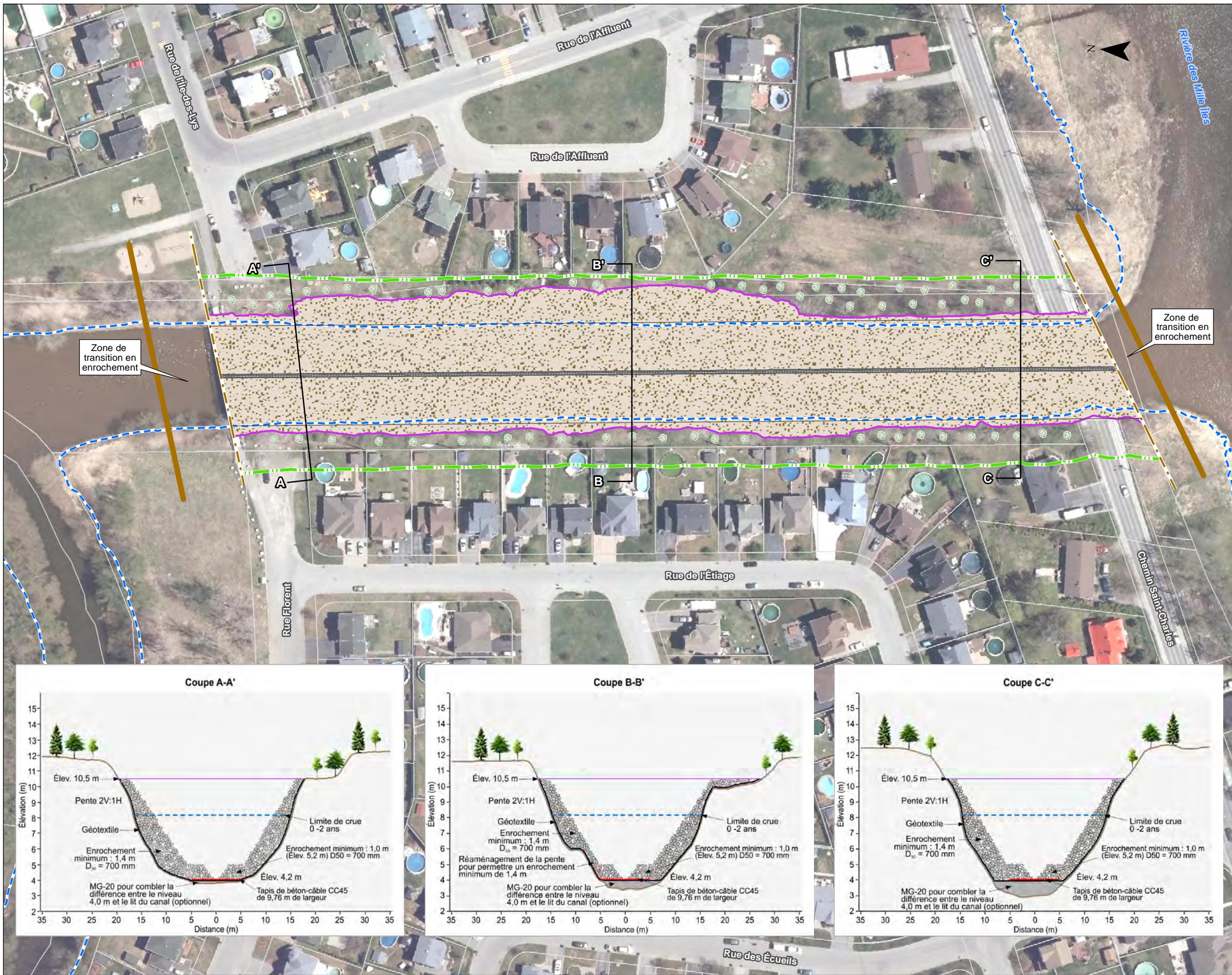
Liste des annexes

Annexe A	Fiches de l'Atlas hydroclimatique
Annexe B	Étude hydrotechnique – novembre 2020

1 Introduction

Le présent document comprend les questions et commentaires adressés à la Ville de Terrebonne dans le cadre de l'analyse environnementale de l'étude d'impact sur l'environnement (ÉIE) pour le projet de gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche.

Le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) propose d'envisager un concept hybride entre les options 1 (enrochement sur les pentes et le fond du canal) et 2 (enrochement sur les pentes et tapis de béton câble [TBC] au fond du canal) évaluées dans l'ÉIE. Cette option hybride consiste à ajouter de l'enrochement au fond du canal par-dessus le TBC, tout en laissant un chenal libre d'enrochements de 1 m de largeur au fond avec TBC seulement. La vérification de la faisabilité de ce nouveau concept hybride est présentée à la réponse à la QC-AE-7 (Carte 1). Les réponses aux autres questions sont basées sur ce nouveau concept hybride uniquement.



COMPOSANTES DU PROJET

- Tapis de béton-câble (en exploitation)
- Pente en enrochemen $D_{50} = 700$ mm (en exploitation)
- Cote d'élévation de 10,5 m
- Limite de crue 0 -2 ans
- Crête de batardeau (en construction)
- Limite d'extension du batardeau (en construction)
- Bande de protection riveraine de 15 m
- Ligne de coupe
- Limite de lot
- Plantation d'arbres et arbustes



Addenda B - Questions et commentaires pour le projet de stabilisation des berges de la rivière Mascouche

Plan et coupe - Concept retenu Canal de dérivation

Sources :
MRC Les Moulins, 2016. Image Google Earth, 2013.
Adresse Québec, 2015. Matrice_64008_Lachenaie.dwg

0 12,5 25 m
1/250
Projection MTM, fuseau 8, NAD83

2 Demande de précisions supplémentaires et d'engagements concernant l'analyse de l'acceptabilité environnementale pour le projet de stabilisation des berges de la rivière Mascouche

2.1 Forêt

QC-AE-1 Commentaire au sujet de la réponse à la QC-45

Le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) est satisfait de constater qu'il y aura du reboisement selon ses recommandations dans le haut du talus. À ce sujet, il est demandé que l'initiateur :

- › Précise la superficie qui sera perdue et celle qui sera reboisée à la suite des travaux de stabilisation, considérant que le taux de boisement dans la municipalité est fort probablement sous les 30 % ;
- › S'engage à favoriser le plus possible des plants de grande taille ;
- › S'engage à mettre en place des mesures de protection du brout par le chevreuil sur les plants de feuillus ;
- › S'engage à faire un suivi de la superficie végétalisée (arbres, arbustes et herbacée) aux années 1, 3 et 5 avec un taux de succès de 80 % à 5 ans. Advenant ;
- › S'engage à poursuivre le suivi advenant que la présence de plantes exotiques envahissantes menace l'intégrité de l'habitat.

Réponse QC-AE-1

- › Précise la superficie qui sera perdue et celle qui sera reboisée à la suite des travaux de stabilisation, considérant que le taux de boisement dans la municipalité est fort probablement sous les 30 % ;

Comme mentionné à la réponse à la question QC-44 de l'addenda B, le taux de boisement de la municipalité est de 30,3% (CMM, 2017¹; WSP, 2018²).

Il faut noter qu'il n'y aura aucun déboisement en haut de talus. Le déboisement aura lieu entre la cote d'inondation 0-2 ans, et l'élévation 10,5 m, c'est-à-dire sur une superficie de 3 103 m².

Le reboisement sera effectué entre l'élévation 10,5 m et la limite des terrains riverains, sur les terrains de la Ville de Terrebonne, sur une superficie de 3 271 m².

Les cavités dans l'enrochement, entre la cote d'inondation 0-2 ans et l'élévation 10,5 m, seront végétalisées par d'autres techniques de génie végétal. L'enrochement sera mélangé avec du tout-venant pour faciliter la végétalisation et une couche de terre sera installée pour les herbacées.

Le concept sera précisé lors de l'ingénierie détaillée.

¹ Communauté métropolitaine de Montréal (CMM), 2017. Indice canopée métropolitain 2017.

² WSP, 2018. Plan de gestion des milieux naturels. Résultats d'inventaires 2016. Rapport présenté à la Ville de Terrebonne. No projet 161-02090-00.

- › S'engage à favoriser le plus possible des plants de grande taille ;

La Ville de Terrebonne s'engage à planter des arbres indigènes de grande taille, présentant au moins un pouce de diamètre, entre l'élévation 10,5 m et la limite des terrains riverains. L'érable rouge et le peuplier deltoïde devraient être considérés dans le choix des espèces à privilégier puisque celles-ci ont été répertoriées en rive.

- › S'engage à mettre en place des mesures de protection du brout par le chevreuil sur les plants de feuillus ;

La Ville de Terrebonne s'engage à mettre en place des mesures de protection du brout par le chevreuil sur les plants de feuillus, tels que des protecteurs de plants ou des clôtures en treillis³.

- › S'engage à faire un suivi de la superficie végétalisée (arbres, arbustes et herbacée) aux années 1, 3 et 5 avec un taux de succès de 80 % à 5 ans. Advenant ;

La Ville de Terrebonne s'engage à faire un suivi de la superficie végétalisée (arbres, arbustes et herbacée) aux années 1, 3 et 5 suivant la construction. Le taux de succès visé est de 80 %, 5 ans suivant la construction. Afin d'atteindre cet objectif, une surveillance sera effectuée immédiatement après la plantation afin de s'assurer, notamment, que :

- › Des cuvettes en terre et paillis sont mises en place autour des arbres et arbustes ;
- › Des tuteurs sont installés pour les arbres ;
- › La hauteur des arbres et arbustes correspond au plan de paysagement ;
- › Les arbres, arbustes et herbacées sont en santé (pas de maladie ou de parties mortes).

Le suivi aux années 1, 3 et 5 suivant la construction inclura, notamment :

- › L'entretien est réalisé périodiquement afin de s'assurer de la bonne croissance de la plantation et d'éviter la propagation de plantes exotiques envahissantes ;
- › Les arbres, arbustes et herbacées morts aux années 1, 3 et 5 seront remplacés.

Ces exigences seront incluses au devis de l'entrepreneur.

- › S'engage à poursuivre le suivi advenant que la présence de plantes exotiques envahissantes menace l'intégrité de l'habitat ;

La Ville de Terrebonne s'engage à poursuivre le suivi advenant que la présence de plantes exotiques envahissantes menace l'intégrité de l'habitat.

³ MFFP, 2020. Le cerf de Virginie, comment faire face aux dommages qu'il peut causer dans la région de la Chaudières-Appalaches. Fascicule 3 des moyens techniques. En ligne : <https://mffp.gouv.qc.ca/publications/faune/dommages-cerf-fascicule-3.pdf> (consulté le 3 novembre 2020).

1.1 Hydraulique et enrochement

QC-AE-2

Bien que les changements climatiques soient considérés dans la démarche de l'initiateur, les débits de crues et d'étiage utilisés dans l'étude pour faire les simulations hydrauliques et la conception des aménagements doivent prendre en compte l'impact des changements climatiques détaillé dans l'Atlas hydroclimatique. L'initiateur doit fournir les informations suivantes :

- › Le détail du calcul du débit d'étiage ;
- › Le niveau d'étiage aval de 4,6 m de la rivière des Mille-Îles doit-être révisé s'il ne prend pas en compte l'impact des changements climatiques sur la durée de vie utile du projet ;
- › Enfin, les cartes de zones inondables présentées dans l'étude doivent être révisées avec les débits de crues majorés, le cas échéant.

Références : section 2.1 (p.10/115), réponse QC-40a (p.26/115), réponse QC-40b (p.26/115), réponse QC-41 (p.27/115)

Réponse QC-AE-2

- › Le détail du calcul du débit d'étiage ;

Tel que mentionné à la section 2.1 de l'addenda B, une courbe de tarage pour la rivière des Mille-Îles en aval du canal de dérivation est présentée à la figure 1 (CEHQ, 2015). Le point le plus bas de la courbe correspond à 4 675 m, auquel est associé un débit de 22 m³/s. Une analyse des débits classés montre qu'un tel débit dans la rivière des Mille-Îles correspond à un niveau minimum journalier de récurrence 1 :10 ans, soit un scénario d'étiage raisonnable (Figure 2-2 de l'Addenda B).

- › Le niveau d'étiage aval de 4,6 m de la rivière des Mille-Îles doit-être révisé s'il ne prend pas en compte l'impact des changements climatiques sur la durée de vie utile du projet ;

Les débits d'étiages dans la rivière Mascouche établis à l'aide d'une courbe de débits classés des débits reconstitués sont très bas, soit 1,35 m³/s pour le débit moyen sur 7 jours minimal de récurrence 2 ans et 0,35 m³/s pour le débit moyen sur 7 jours minimal de récurrence 10 ans. Par conséquent, ces débits sont négligés et le niveau d'étiage dans le canal de dérivation de la rivière Mascouche est supposé entièrement contrôlé par le niveau d'eau de la rivière des Mille-Îles, en aval du canal. L'analyse des conditions d'étiage en fonction des changements climatiques a donc été effectuée en minorant les débits d'étiage de la rivière des Mille-Îles.

Selon l'Atlas Hydroclimatique du Québec Méridional, la réduction du débit d'étiage dans la rivière L'Assomption, située à proximité, serait de 50 % pour le débit moyen sur 7 jours minimal de récurrence 2 ans et de 40 % pour le débit moyen sur 7 jours minimal de récurrence 10 ans (Horizon 2080, RCP8.5, tronçon STN0014). Le tronçon STN0014 de l'Atlas correspond au tronçon le plus en aval de la rivière L'Assomption. Ce tronçon est utilisé pour le choix des hypothèses de minoration des débits de la rivière des Mille-Îles. Les fiches correspondantes à ce tronçon sont présentées à l'annexe A.

Des hypothèses de réduction de 50 % du Qmin7jours 1 :2 ans et de 40 % Qmin7jours 1 :10 ans ont été posées pour la rivière des Mille-Îles en aval de l'embouchure de la rivière Mascouche.

Une étude des débits d'étiage (débit minimum annuel sur 7 jours) a été effectuée sur la rivière des Mille-Îles, à la station 02OA003 (Rivière des Mille-Îles à Bois-des-Filion). Le tableau 1 présente les débits d'étiage obtenus et les débits minorés, ainsi que le niveau correspondant sur la courbe de tarage extraite du rapport du CEHQ. Selon cette analyse, l'effet des changements climatiques sur le

niveau d'étiage 1 :2 ans dans le canal de dérivation de la rivière Mascouche sera limité (≈ 9 cm). L'estimation du niveau d'étiage 1 :10 ans demande une extrapolation de la courbe de tarage, et suggère un impact encore plus réduit (≈ 2 cm).

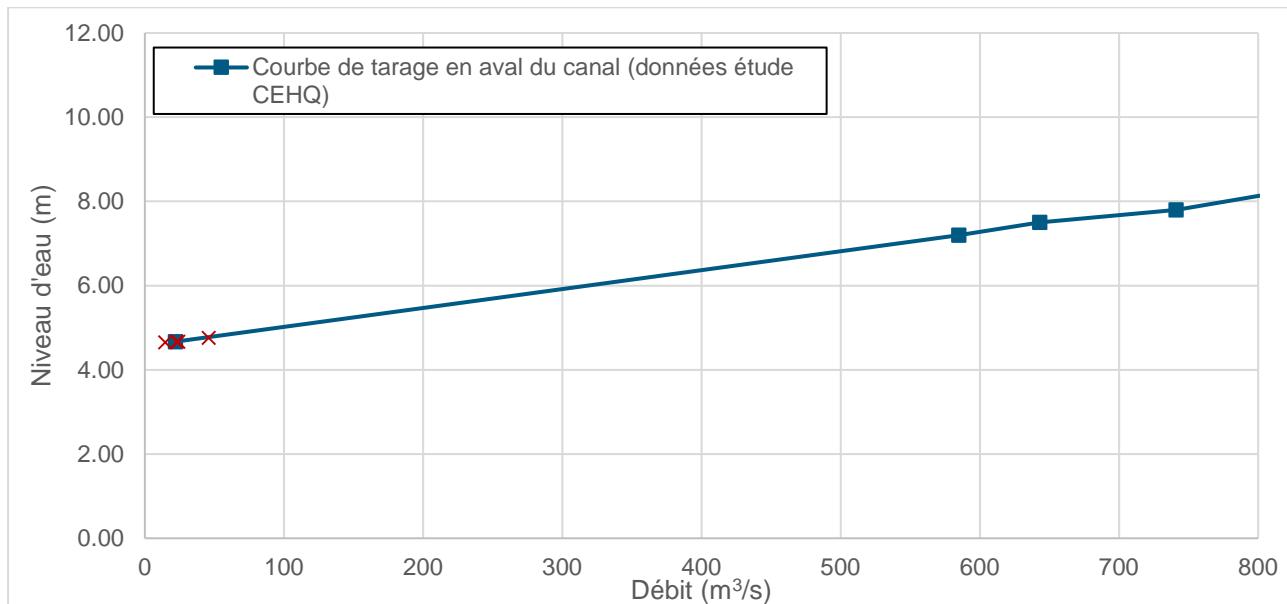
Le niveau d'étiage de 4 675 m présenté précédemment et basé sur des mesures au terrain correspond au niveau d'étiage annuel minoré à l'horizon 2080.

Ces conclusions doivent être considérées avec prudence. La courbe de tarage utilisée, présentée à la figure 1, est basée sur des données limitées. Le niveau dans la rivière des Mille-Îles est certainement influencé par le niveau des cours d'eau à l'aval (Rivière-des-Prairies et Fleuve-Saint-Laurent). L'impact des changements climatiques aura probablement un effet régional qu'il n'est pas possible de qualifier sans une étude de grande envergure des impacts des changements climatiques sur les niveaux du Fleuve Saint-Laurent et une modélisation complète de la rivière des Mille-Îles. En effet, le document d'accompagnement de l'Atlas mentionne une limite méthodologique, à savoir que les projections hydrologiques se limitent au régime naturel d'écoulement en surface des cours d'eau et ne peuvent être généralisées à des bassins versants d'une superficie inférieure à 250 km² ainsi qu'à quelques grands cours d'eau tels que la rivière Saguenay, la rivière Outaouais, la rivière Saint-Maurice et le fleuve Saint-Laurent⁴;

Tableau 1 Impact des changements climatiques sur les débits d'étiage estival de la Rivière-des-Mille-Îles

Paramètres	$Q_{\min 7\text{jours}}^{}$ 1:2 ans	$Q_{\min 7\text{jours}}^{}$ 1:2 ans (minoré 50 %)	$Q_{\min 7\text{jours}}^{}$ 1:10 ans	$Q_{\min 7\text{jours}}^{}$ 1:10 ans (minoré 40 %)
Débit (rivière des Mille-Îles)	45,9 m ³ /s	22,9 m ³ /s	24,1 m ³ /s	14,6 m ³ /s
Niveau aval du canal de dérivation	4,76 m	4,67 m	4,67 m	4,65 m
Profondeur (sur TBC)	0,56 m	0,47 m	0,47 m	0,45 m

⁴ Direction de l'expertise hydrique. Document d'accompagnement de l'Atlas hydroclimatique du Québec méridional. Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2018, 34 p.

Figure 1 Courbe de tarage à l'aval du canal de dérivation

- Enfin, les cartes de zones inondables présentées dans l'étude doivent être révisées avec les débits de crues majorés, le cas échéant ;

La fiche du ruisseau Payette de l'Atlas Hydroclimatique du Québec Méridional a été utilisée afin de déterminer un scénario de crue 1 :100 ans majorée dans la rivière Mascouche. Le ruisseau Payette est un affluent de la rivière L'Assomption, situé à proximité (tronçon STN0031 dans l'Atlas). Les fiches de l'Atlas associées au tronçon STN0031 sont disponibles à l'annexe A.

Pour l'horizon 2080, une diminution de 6 % des débits de crue de printemps 1 :20 ans dans le ruisseau Payette est attendue selon le scénario RCP 4.5. Le scénario RCP 8.5 prédit une diminution de 16 % des débits de crue de printemps de récurrence 1 :20 ans.

Pour le même tronçon, une augmentation du débit de crue d'été-automne 1 :20 ans est prévue à l'horizon 2080, soit une augmentation de 19 % selon le scénario RCP 4.5 et de 13 % selon le scénario RCP 8.5.

Sur l'échantillon des débits reconstitués pour la rivière Mascouche (voir note hydrotechnique; Annexe B), la crue printanière fournit le débit maximum annuel pour 19 des 22 années étudiées, et contrôle donc généralement le calcul de la crue statistique annuelle. Cependant, une majoration du débit statistique de la crue d'été-automne permet l'obtention d'un scénario plus critique que le scénario de crue 100 ans étudiée précédemment. Par conséquent, on considère qu'à l'horizon 2080, le scénario de crue d'été-automne deviendra plus critique que le scénario de crue printanière.

L'Atlas ne fournit pas de facteurs de majoration pour la crue de récurrence 1 :100 ans. Un facteur de majoration de 25 % de la crue d'été-automne 1:100 ans est proposé. Le débit résultant (244,5 m³/s) est 13 % plus élevé que le scénario de crue 1 :100 ans retenu dans la note hydrotechnique.

Le débit dans la rivière des Mille-Îles est lui aussi modifié pour une crue d'été-automne majorée. Comme dans le scénario original, on considère qu'une crue de récurrence 1 :20 ans survient sur le bassin de la rivière des Mille-Îles durant la crue 1 :100 ans de la rivière Mascouche. Cette crue est

elle aussi majorée, cette fois par un facteur de 16 % (Atlas, RCP 4,5 horizon 2080, tronçon STN0014).

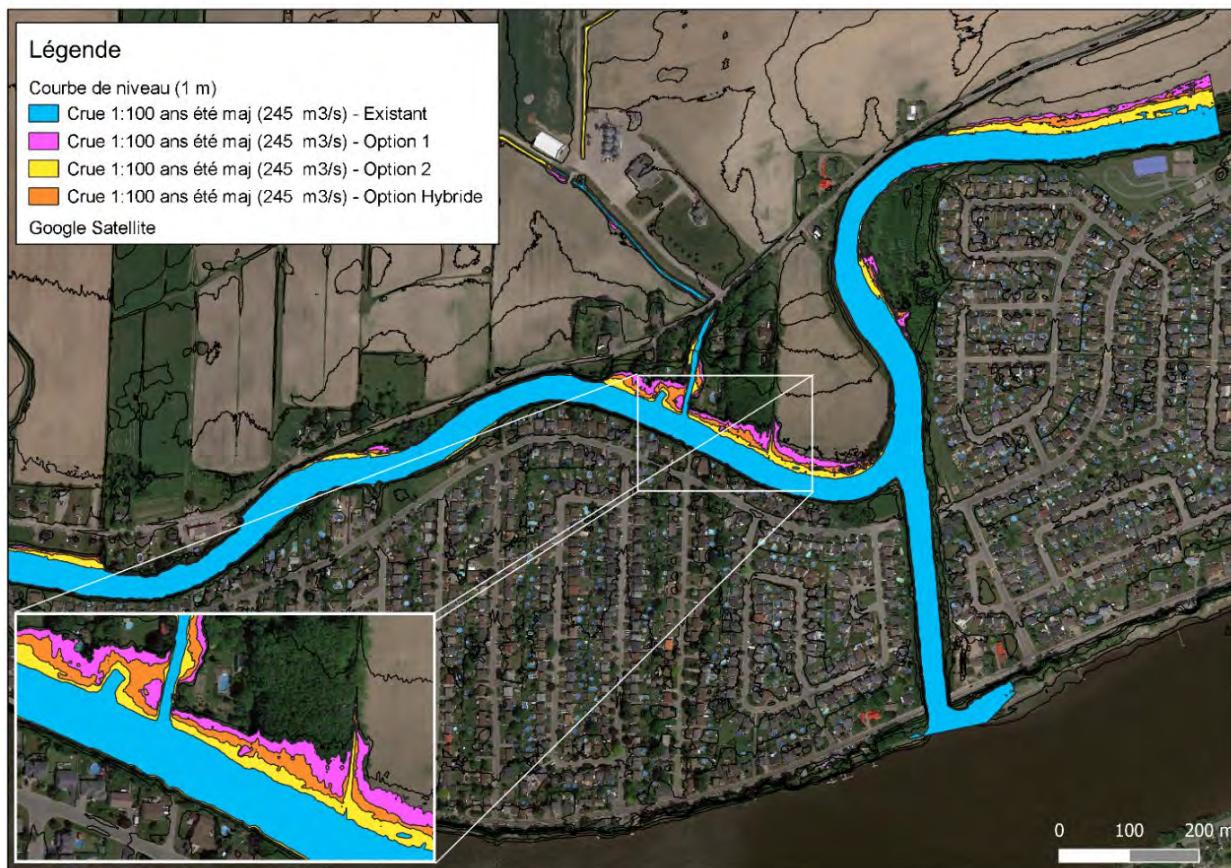
Le tableau 2 et la figure 2 présentent l'effet de la majoration sur le niveau d'eau dans le canal de dérivation et à l'amont du modèle, pour les conditions existantes et pour le cas hybride (enrochement sur tapis de béton câble et chenal préférentiel).

Pour le scénario hybride, en amont du canal de dérivation, la revanche par rapport au niveau maximal prévu de la protection (10,5 m) est presque identique entre le scénario de la crue 1 :100 ans annuelle (0,78 m) et le scénario de crue 100 ans d'été-automne majorée (0,75 m).

Tableau 2 Comparaison des niveaux d'eau modélisés - Crue 1 :100 ans annuelle et crue 1 :100 ans d'été-automne majorée

		Période de retour (années)	
		100	100 (été-automne majorée)
Débit (rivière Mascouche) (m ³ /s)		216,5	244,5
Scénario dans la rivière des Mille-Îles		1:20 ans	1:20 ans été-automne majorée
Niveau aval du canal de dérivation (m)		9,35	8,60
Niveau d'eau en amont du canal de dérivation (m)	Existant	9,39	8,71
	Option 1 - enrochement	9,78	9,91
	Différence	+0,39	+1,20
	Option 2 - TBC	9,62	9,54
	Différence	+0,23	+0,83
	Option Hybride	9,72	9,75
	Différence	+0,33	+1,04
Niveau d'eau 1 300 m amont de l'embouchure (m)	Existant	10,09	9,98
	Option 1 - enrochement	10,32	10,53
	Différence	+0,23	+0,55
	Option 2 - TBC	10,22	10,31
	Différence	+0,13	+0,33
	Option Hybride	10,28	10,43
	Différence	+0,19	+0,45

Figure 2 Zones inondées pour une crue 1 :100 ans été-automne majorée selon les scénarios analysés



QC-AE-3

Les cartes de zones inondables présentées ne semblent pas tenir compte du retrait des batardeaux si une crue importante venait qu'à survenir durant les travaux. Si des risques sont identifiés pour les propriétés à proximité du canal ou des affluents avec le maintien des batardeaux (ex. : Figure 2-7), un plan de mesures d'urgence incluant l'enlèvement des batardeaux doit être prévu. L'initiateur doit s'engager à fournir ce plan lors du dépôt de sa demande d'autorisation en vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (chapitre Q-2).

Référence : section 2.2 (p.11-13/115)

Réponse QC-AE-3

Effectivement, le retrait des batardeaux durant la construction n'est pas prévu. Les batardeaux ont été conçus pour permettre à l'eau de passer par-dessus en cas de crue (niveau de crête de 9,5 m). Des mesures spécifiques pour ces bâtiments, telles qu'une surveillance hydrométéo, la mise en place de sacs de sable, pourraient être prises le cas échéant. La méthode de travail pourrait être adaptée lors de l'ingénierie détaillée.

La Ville de Terrebonne s'engage à fournir un plan de mesures d'urgence incluant l'enlèvement des batardeaux lors du dépôt de sa demande d'autorisation en vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (chapitre Q-2).

QC-AE-4

L'étude doit présenter le calibre d'enrochement sur les coupe-types, et non uniquement le d_{50} . L'épaisseur minimale de 1,5 m doit aussi être justifiée en fonction du calibre d'enrochement recommandé.

De plus, la cote de crue 2 ans ne doit pas être moyennée sur l'ensemble du tronçon sur les coupe-types et la vue en plan fournies. L'évaluation de l'empierrement doit se faire avec la cote variable selon le chaînage sur le tronçon. L'initiateur doit fournir les informations manquantes à ce sujet.

Référence : réponse QC-35 (p. 17/115)

Réponse QC-AE-4

Le calcul du dimensionnement de la protection a été révisé suite aux demandes de la QC-AE-6 et 7. Un D_{50} de 700 mm a été retenu, et une épaisseur minimale de l'enrochement de 1,4 m sur les pentes latérales. L'épaisseur de 1,4 m correspond à $2 \times D_{50}$. Il s'agit d'une épaisseur supérieure au minimum de $1,5 \times D_{50}$ identifié dans le guide de conception de l'USACE⁵. Un calibre de 500-900 est suggéré. Cette distribution est relativement compacte, avec un ratio des masses M_{max}/M_{min} de 5,8 et un ratio des diamètres D_{max}/D_{min} de 1,8. Une distribution compacte permet d'améliorer la résistance aux efforts de glace. Le guide de conception de l'USACE recommande l'utilisation d'un ratio D_{85}/D_{15} inférieur à 2, critère qui est ici largement respecté. De plus, le ratio des masses recommandé est de 3,0, mais sur le terrain il est difficile de maintenir un rapport de 3,0. L'expérience a montré qu'un rapport d'environ 5 peut être atteint relativement facilement et qu'il est acceptable (SEBJ, 1997⁶).

La superficie d'empierrement dans le littoral sous le niveau de récurrence 2 ans est de 9 064 m². Ce calcul est conservateur, car il a été fait avec le niveau de la cote 0-2 ans amont de 8,7 m (Figure 3).

Le concept sera précisé lors de l'ingénierie détaillée. La Ville de Terrebonne s'engage à confirmer l'empierrement dans le littoral et la rive du canal lorsque l'ingénierie détaillée sera complétée.

⁵ United States Army Corps of Engineers – USACE (1994). Hydraulic Design of Flood Control Channels. Engineer Manual – EM 1110-2-1601. 1 July 1991 / 30 June 1994.

⁶ Société d'énergie de la Baie James. 1997. Guide Pratique. Conception Construction Contrôle. Dimensionnement du riprap. Direction Ingénierie et Environnement. 70 p et annexes.

Figure 3 Niveau de la cote 0-2 ans selon le chaînage du canal de dérivation de la rivière Mascouche



QC-AE-5

Les résultats présentés à la figure 36-1 indiquent un abaissement du niveau d'eau entre les chaînages 50 m et 150 m environ pour le scénario avec TBC par rapport aux conditions actuelles, alors que le fond du chenal est rehaussé de près de 1 m à certains endroits. Une justification doit être donnée à cet effet.

Référence : réponse QC-36a (p.20/115)

Réponse QC-AE-5

L'abaissement du niveau d'eau entre les chaînages 50 m et 150 m est causé par la restriction au niveau de la culée du pont du chemin Saint-Charles et l'accélération des vitesses pour des débits correspondant à des crues 1:20 et 1:100 ans.

QC-AE-6

Pour vérifier l'impact des aménagements proposés sur le potentiel d'érosion en amont et en aval du canal, des simulations doivent aussi être faites en considérant des scénarios où la condition limite aval est un niveau de la rivière des Mille-Îles de récurrence plus faible que la crue simulée. Par exemple, il est possible qu'une crue de récurrence 5 ans survienne alors que le niveau de la rivière des Mille-Îles est bas. C'est dans ce genre de situation que les vitesses d'écoulement sont les plus importantes étant donné qu'il y a moins de refoulements dans le canal. En fonction des résultats de simulations obtenus, l'initiateur doit spécifier et, le cas échéant, décrire si des impacts supplémentaires sont à prévoir. Dans un tel cas, l'initiateur doit proposer les mesures d'atténuation adéquates pour réduire les impacts sur l'environnement.

Référence : réponse QC-36b (p.21/115)

Réponse QC-AE-6

Une comparaison des débits reconstitués de la rivière Mascouche et des débits à la station 02OA003 (rivière des Mille-Îles à Bois-des-Filion) montre que la rivière des Mille-Îles est toujours en crue lorsque les débits maximaux annuels dans la rivière Mascouche sont enregistrés au printemps.

Lors de crues d'été ou d'automne dans la rivière Mascouche, le débit dans la rivière des Mille-Îles est généralement haut, bien qu'il arrive que la pointe de la crue y soit décalée d'une journée. Il semble cependant qu'un scénario critique alliant une crue d'été-automne sur le bassin de la rivière Mascouche à des débits relativement bas dans la rivière des Mille-Îles soit susceptible de survenir.

Il est à noter que les séries de débits étudiés ne présentent aucune occurrence de crue dans la rivière Mascouche en présence d'un étiage dans la rivière des Mille-Îles. En moyenne, lorsque la pointe de débit estival survient dans la rivière Mascouche, les débits dans la rivière des Milles sont 1,5 fois supérieurs au débit moyen estival.

Un scénario supplémentaire a par conséquent été vérifié pour la conception de l'enrochement. Une crue d'été-automne de récurrence 1 :10 ans (122,3 m³/s) est combinée à un débit de 144 m³/s dans la rivière des Mille-Îles et un niveau à l'aval du canal de dérivation de 5,85 m. Les conditions à l'aval correspondent au débit moyen estival (juin à novembre).

La présence d'une crue dans le canal de dérivation lorsque le niveau est bas dans la rivière des Mille-Îles causera la création d'un contrôle hydraulique à la sortie du canal de dérivation, en aval du pont. Par conséquent, ce scénario produit une vitesse maximale de 2,6 m/s dans le canal, une valeur inférieure aux conditions créées par la crue 100 ans. Cependant, ce scénario cause une importante dissipation d'énergie (environ 2,5 m de différence de charge entre la rivière des Mille-Îles et le canal) à la sortie du canal. La transition à l'aval du pont ainsi que la limite aval du tapis de béton câble doivent par conséquent être protégés adéquatement afin de résister à ce genre de conditions. Le concept proposé à la réponse à la question QC-36 de l'addenda B, et reproduit ci-dessous, est toujours une option envisagée (figure 4). Le calibre de l'enrochement pour le matériau 4 devrait être le même que celle de la protection des pentes du canal, soit un D₅₀ de 700 mm. Le type de transition sera confirmée lors de l'ingénierie détaillée.

Le tableau 3 présente une comparaison des vitesses maximales obtenues pour différents scénarios de crue été-automne. Le scénario de crue estivale majorée de récurrence 1 :100 ans produit les vitesses les plus élevées, et contrôle par conséquent le dimensionnement de la protection (voir note hydrotechnique révisée).

Figure 4 Exemple de zone de transition en enrochement pour ancrer le TBC à l'amont et l'aval de la zone stabilisée

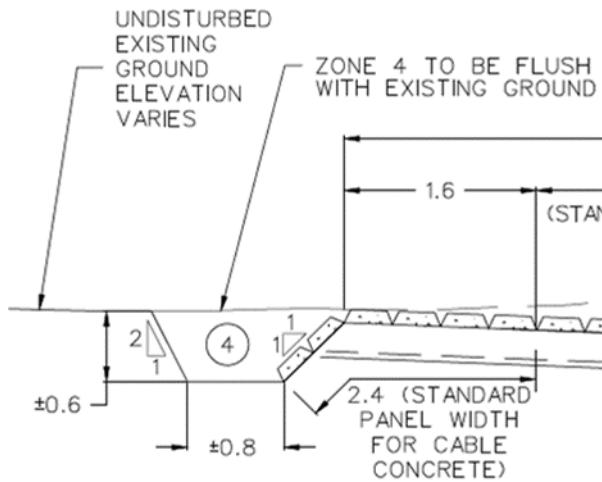


Tableau 3 Vitesses d'écoulement maximales selon les scénarios de crue d'été-automne

Paramètres	Q 1 :10 ans été-automne et niveau moyen	Q 1 :20 ans été-automne	Q 1 :100 ans été-automne	Q 1 :100 ans été-automne majorée
Débit (rivière Mascouche) (m ³ /s)	122,3	144,8	195,6	244,5
Niveau aval du canal de dérivation (m)	5,85	7,15	8,20	8,60
V _{max} Canal de dérivation	2,6 m/s	2,7 m/s	3,0 m/s	3,6 m/s

2.2 Scénario proposé

QC-AE-7

Selon l'expertise du MFFP, l'entrave à la libre circulation du poisson en période d'étiage ne serait pas nécessairement réduite de manière significative en choisissant le scénario « enrochement ». Cependant, la qualité de l'habitat du poisson dans ce scénario serait significativement supérieure à celle du scénario « béton-câble », qui artificialiserait le cours d'eau. Dans cette perspective, le MFFP encourage fortement l'initiateur du projet à favoriser l'option « enrochement » ou, tout au moins, à opter pour un scénario hybride.

Dans cet ordre d'idée, l'initiateur doit évaluer la possibilité d'appliquer un scénario hybride inspiré des scénarios 2 et 3, c'est-à-dire de couvrir le lit du canal avec de l'enrochement, mais en utilisant le béton-câble seulement pour un canal d'étiage. L'initiateur doit, à la fin de cet exercice, spécifier si un scénario hybride est retenu et, dans le cas contraire, il doit le justifier.

L'équipe d'analyse est en faveur d'un scénario hybride puisqu'il permettrait de conserver un meilleur habitat pour la faune aquatique tout en évitant une surexcavation du lit du canal lors des travaux. Il permettrait potentiellement de respecter le calendrier et d'effectuer l'entièreté des travaux pendant

la période d'étiage. Il limiterait aussi l'utilisation du béton-câble qui tend à artificialiser le milieu récepteur. De plus, cette option n'augmenterait pas les perturbations sur l'habitat du poisson et permettrait de mieux retenir les sédiments.

Réponse QC-AE-7

Il est important de préciser que le niveau du fond du canal, pour l'option en enrochement seul, est de 5,30 m. À ce niveau, le canal ne sera pas inondé par l'aval lorsque la rivière des Mille-Îles est en étiage (4,67 m pour le niveau d'étiage annuel minoré à l'horizon 2080, voir réponse à la question QC-AE-2). Le débit d'étiage estimé dans la rivière Mascouche étant inférieur à 2 m³/s, il semble peu probable qu'il puisse y avoir une libre circulation du poisson dans ces conditions, car le faible écoulement s'infiltre à travers l'enrochement.

Le nouveau concept proposé par le MFFP a été analysé sur la base des informations suivantes (Tableaux 4 et 5) :

- › Mise en place d'un TBC au fond du canal sur une largeur de 9,76 m afin d'assurer la protection du fond du canal contre l'érosion et d'assurer un niveau du fond le plus bas possible (voir réponse QC-35 de l'addenda B). Optionnellement, le TBC pourrait être mis en place directement sur le fond du canal sans combler la différence entre le niveau 4,0 m et le lit du canal ce qui permettrait d'augmenter la section d'écoulement. Ce choix pourrait être fait au moment des travaux ;
- › Mise en place d'enrochement sur les pentes du canal afin d'assurer la protection des pentes du canal contre l'érosion. Le D₅₀ déterminé par les simulations hydrauliques est de 700 mm et l'épaisseur recommandée est de 1,4 m sur les pentes ;
- › Ajout d'enrochement par-dessus le TBC afin d'ajouter de l'hétérogénéité au substrat du fond, sauf sur une largeur de 1 m au milieu du canal afin de créer un chenal préférentiel d'écoulement en période d'étiage. Le D₅₀ déterminé par les simulations hydrauliques est de 700 mm et l'épaisseur recommandée est de 1,05 m, soit moindre que sur les pentes puisque le fond du canal est déjà protégé contre l'érosion par le TBC. L'ajout d'une épaisseur moindre d'enrochement au fond du canal permet également de limiter la diminution de la section d'écoulement afin de réduire les effets sur les inondations en amont une fois le canal stabilisé.

Ce nouveau concept a été validé au niveau de l'hydrologie (voir Annexe B), de la stabilité et de la période des travaux. La période des travaux de cette option hybride est équivalente aux options originales 1 et 2 présentées à l'étude d'impact, c'est-à-dire qu'une période de 2 mois en étiage est requise (Tableau 6). La justification du temps de construction de l'option hybride est basée sur les hypothèses suivantes:

- › Préparation et mise en forme du fond du canal à l'élévation 4,0 mètres tel que pour les options 1 et 2 ;
- › Mise en place d'un tapis de béton simultanément à la mise en place de l'enrochement du fond de canal ;
- › Pas de contraintes supplémentaires au niveau des accès pour les travaux ;
- › Mise en place légèrement différente de l'enrochement au fond du canal afin de laisser un petit canal libre d'enrochement sur un mètre de largeur.

Le concept est illustré à la carte 1 de l'introduction. Le concept sera précisé lors de l'ingénierie détaillée.

Tableau 4 Caractéristiques des scénarios de protection envisagés

Paramètre	Option 1	Option 2	Option Hybride
Largeur du fond du canal	11,4 m	7,0 m	7,0 (TBC) + 4,2 = 11,2 m
Pente latérale θ	26,6 degrés (2H:1V)		
Pente longitudinale	0 degré (fond plat)		
Niveau du fond du canal	El. 5,3 m	El. 4,2 m	El.4,2 m sur un chenal de 1 m de large, pente 2H :1V, puis el. 5,25 m de part et d'autre
Épaisseur moyenne de la protection	1,4 m	1,4 m	1,4 m (pentes) 1,05 m (fond)
Rugosité (Manning-n)	0,034	0,034	0,034

Tableau 5 Dimensionnement des protections envisagées selon les vitesses modélisées

Paramètres	Option 1	Option 2	Option Hybride
V_{max}	3,50 m/s	3,40 m/s	3,56 m/s
$V_{majorée}$	4,20 m/s	4,08 m/s	4,27 m/s
d	3,7	4,5	4,6
$D_{50} Calculé$	715 mm	640 mm	707 mm
$D_{50} Retenu$	700 mm	700 mm	700 mm

Tableau 6 Calendrier de construction pour l'option hybride et les options 1 et 2

Description	Date prévue du début de l'activité
Approvisionnement	Début mai
Mobilisation au chantier	25 juillet
Installations de chantier	28 juillet
Construction des batardeaux	1 ^{er} août
Enrochement de protection le long de la paroi du Canal	15 août
Démolition des batardeaux et disposition	25 septembre
Remise en état des surfaces	1 ^{er} octobre
Démobilisation	15 octobre

2.3 Période des travaux et structure P-15668 de la route 344

QC-AE-8

Les études et arguments présentés par l'initiateur supportent une réalisation des travaux en période d'étiage. Les résultats indiquent que les conditions de stabilité actuelles des berges sont précaires. D'autre part, aucun calcul ne semble modéliser des conditions critiques qui pourraient être rencontrées pendant la réalisation des travaux, advenant par exemple que ceux-ci se poursuivent pendant un automne pluvieux (tel que décrit à la réponse à la QC-8).

À la lumière des informations fournies et afin de s'assurer que les travaux prévus ne provoquent un glissement de terrain qui pourrait endommager la structure P-15668 de la route 344, l'initiateur doit s'engager à réaliser les travaux près de la structure en période d'étiage.

Réponse QC-AE-8

La période des travaux a été choisie en considérant le nombre de dépassemens du batardeau qui pourraient survenir en fonction des débits automnaux (voir Tableau 2 de la note hydrotechnique à l'Annexe B). Ainsi, les travaux sont prévus être réalisés en août et septembre, en période d'étiage, afin d'éviter la période de crues automnales.

La Ville de Terrebonne s'engage à réaliser les travaux près de la structure P-15668 de la route 344 en période d'étiage.

2.4 Habitat du poisson

QC-AE-9

L'initiateur doit s'engager à déposer pour le dépôt de sa demande d'autorisation en vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (chapitre Q-2) à :

- › élaborer des plans et devis comprenant des objectifs mesurables, visant à améliorer la qualité de l'habitat du poisson et le présenter au MFFP pour approbation ;
- › exécuter les aménagements approuvés à l'intérieur du calendrier des travaux de stabilisation du canal ;
- › déposer un protocole de suivi de l'habitat du poisson pour décrire l'utilisation du milieu par le poisson en visant une documentation qualitative de la communauté de poissons présente et une description quantitative pour certaines espèces indicatrices. Il doit notamment contenir les éléments suivants :

- À partir des données et inventaires disponibles et de l'évaluation habitat/espèce déjà effectuée, produire un « état de référence » décrivant la qualité de l'habitat du poisson ;
- S'engager à appliquer le protocole aux années 1, 3 et 5 suivant la fin des travaux ;
- Déposer un rapport au plus tard le 31 décembre de chaque année de suivi accompagné d'un avis préliminaire sur l'atteinte des objectifs ;
- s'engager à proposer et apporter des correctifs si les objectifs d'aménagement n'étaient pas atteints suivant le suivi de l'an 3.

Réponse QC-AE-9

Lors du dépôt de sa demande d'autorisation en vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (chapitre Q-2), la Ville de Terrebonne s'engage à :

- › élaborer des plans et devis comprenant des objectifs mesurables, visant à améliorer la qualité de l'habitat du poisson et le présenter au MFFP pour approbation ;
- › exécuter les aménagements approuvés à l'intérieur du calendrier des travaux de stabilisation du canal ;
- › déposer un protocole de suivi de l'habitat du poisson pour décrire l'utilisation du milieu par le poisson en visant une documentation qualitative de la communauté de poissons présente et une description quantitative pour certaines espèces indicatrices, incluant :
 - À partir des données et inventaires disponibles et de l'évaluation habitat/espèce déjà effectuée, un « état de référence » décrivant la qualité de l'habitat du poisson ;
 - L'engagement d'appliquer le protocole aux années 1, 3 et 5 suivant la fin des travaux ;
 - Le dépôt d'un rapport au plus tard le 31 décembre de chaque année de suivi accompagné d'un avis préliminaire sur l'atteinte des objectifs ;
 - La proposition et la mise en œuvre de correctifs si les objectifs d'aménagement n'étaient pas atteints suivant le suivi de l'an 3.

2.5 Mulettes

QC-AE-10

Le MFFP a réalisé des inventaires dans la rivière Mascouche en 2016 et a transmis les données liées aux mulettes et aux écrevisses à l'initiateur du projet. Plusieurs espèces de moules sont présentes dans la rivière Mascouche, dont une espèce susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable (SNC-Lavalin, 2018, p. 20). L'initiateur doit proposer des mesures d'atténuation en lien avec la présence potentielle de mulettes dans le canal. Un exemple de mesure serait un inventaire et la relocalisation des individus trouvés, en fonction du protocole de Mackie et al. (2008).

Références :

- › SNC-Lavalin. 2018. Gestion de l'érosion du canal de dérivation de la rivière Mascouche. Addenda A. Questions et commentaires pour le projet de stabilisation des berges de la rivière Mascouche sur le territoire de la Ville de Terrebonne par la Ville de Terrebonne. Ville de Terrebonne. Totalisant environ 40 pages et annexes ;
- › Mackie, G., Morris, T.J., and Ming, D. 2008. Protocole pour la détection et détournement des espèces de moules d'eau douce en péril en Ontario et des Grands Lacs. Rapport manuscrit canadien des Sciences halieutiques et aquatiques 2790 : vi +50 p.

Réponse QC-AE-10

La Ville de Terrebonne s'engage à effectuer un inventaire des mulettes dans le canal de dérivation de la rivière Mascouche avant le début des travaux et à procéder à leur relocalisation, le cas échéant. L'inventaire sera effectué entre le 1^{er} juin et le 30 septembre lorsque la température de l'eau est supérieure à 16 °C (Mackie et al., 2008⁷). L'inventaire sera réalisé à pied en période d'étiage. Comme les travaux sont prévus lors de la période d'étiage estivale 2022, il est envisagé de procéder à

⁷ Mackie, G., Morris, T.J., and Ming, D. 2008. Protocole pour la détection et détournement des espèces de moules d'eau douce en péril en Ontario et des Grands Lacs. Rapport manuscrit canadien des Sciences halieutiques et aquatiques. 2790: vi +50 p.

l'inventaire, et la relocalisation des mulettes s'il y a lieu, lors de la période d'étiage estivale 2021 afin de ne pas réduire la courte fenêtre disponible pour les travaux en 2022. Il serait toutefois possible de procéder à l'inventaire et la relocalisation au plus tard, au début de juillet 2022. L'approche d'échantillonnage et le site de relocalisation seront discutés de concert avec les autorités concernées. Le protocole détaillé sera fourni lors du dépôt de sa demande d'autorisation en vertu de l'article 22 de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (chapitre Q-2).

2.6 Végétalisation de l'enrochement

QC-AE-11

Dans le but de minimiser les impacts du projet sur la qualité de l'environnement et dans le but de permettre aux rives de retrouver leurs fonctions écologiques, l'initiateur doit s'engager à mettre en place une végétalisation jusqu'à la ligne des hautes eaux, si possible, ou le plus près possible de la LHE en prenant en considération le passage des glaces au printemps.

Note : Différentes techniques existent pour végétaliser un enrochement, notamment celle qui consiste à ajouter une couche de terre par-dessus l'enrochement, à ensemencer la terre ajoutée et à recouvrir le tout d'un matelas anti-érosion ou de pailles et d'un filet biodégradable. Cette technique permet de couvrir l'enrochement de plantes herbacées qui permettront à la rive de retrouver la majorité de ces fonctions écologiques. La plantation d'arbustes est également recommandée, mais cela dépend de divers facteurs (ex. : épaisseur de l'enrochement, calibre de pierres utilisé, présence d'une membrane géotextile sous l'enrochement, etc.).

Réponse QC-AE-11

La Ville de Terrebonne s'engage à mettre en place une végétalisation jusqu'à la ligne des hautes eaux (LHE), si possible, ou le plus près possible de la LHE en prenant en considération le passage des glaces au printemps. Les techniques utilisées seront précisées lors de l'ingénierie détaillée.

2.7 Empiètement en rive

QC-AE-12

Afin de compléter l'analyse de l'impact des empiétements sur les milieux humides et hydriques, l'initiateur doit fournir une estimation de la superficie empiétée en rive (au-dessus de la LHE) par les enrochements qui seront installés dans les talus du canal de dérivation de la rivière Mascouche.

Réponse QC-AE-12

La superficie d'empietement dans la rive (au-dessus de la LHE et en dessous de la cote 10,5 m) est de 3 103 m². Ce calcul est conservateur, car il a été fait avec le niveau de la cote 0-2 ans aval de 8,0 m.

La Ville de Terrebonne s'engage à confirmer l'empietement dans le littoral et la rive du canal lorsque l'ingénierie détaillée sera complétée.

Annexe A

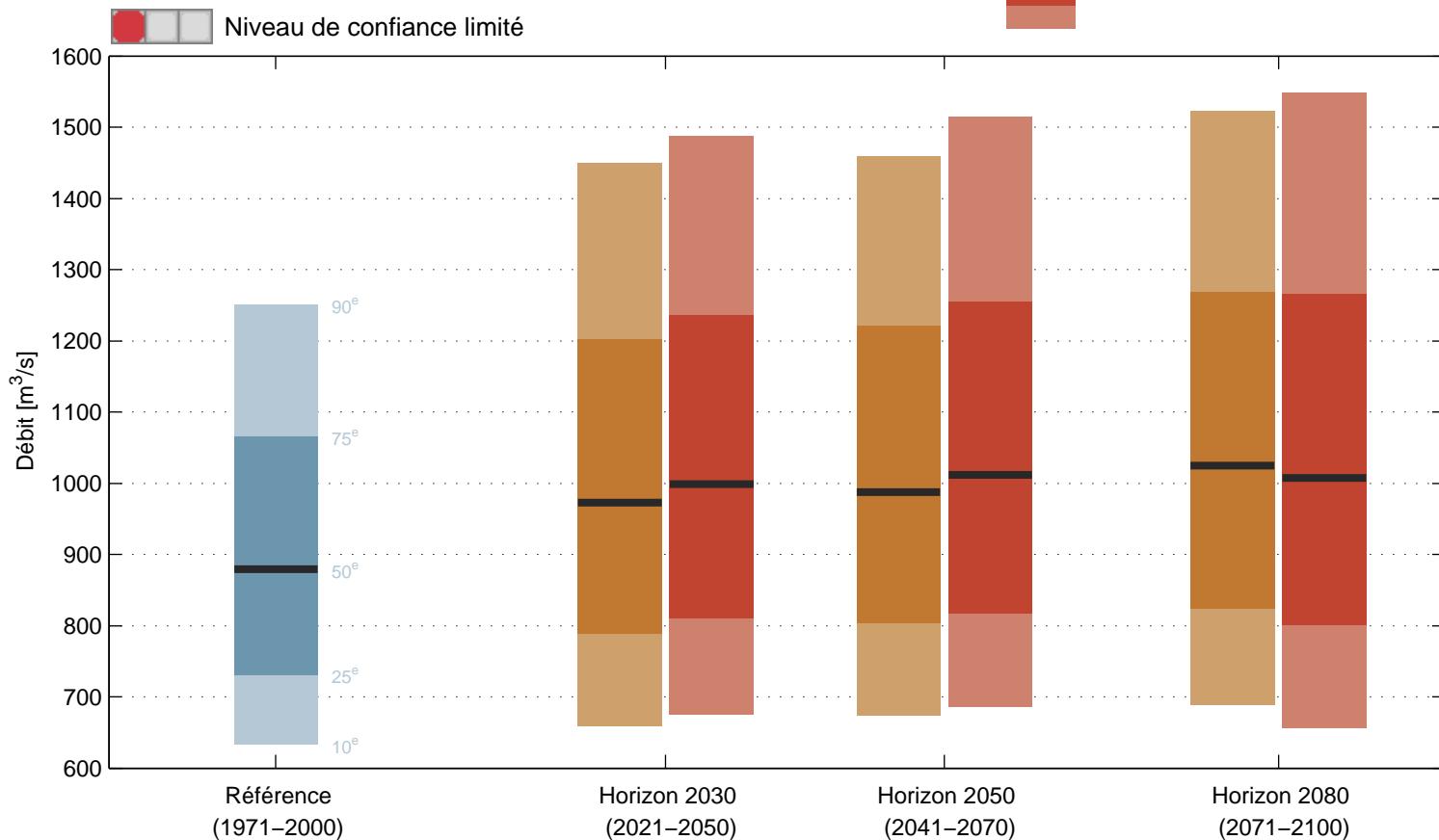
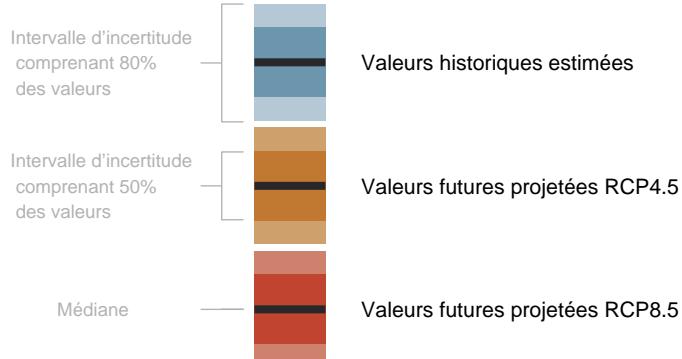
Fiches de l'Atlas hydroclimatique



Impact projeté des changements climatiques sur le débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans à l'été et à l'automne

Q1max20EA

Informations sur le tronçon modélisé	
Identifiant tronçon :	STN0014
Station hydrométrique associée :	aucune
Superficie drainée:	5 258 km ²
Longitude exutoire :	-73.48 °E
Latitude exutoire :	45.71 °N
Bassin versant primaire :	0522 – Rivière L'Assomption
Influence de l'opération de barrage :	Aucune influence



Quantiles	Référence	Horizon 2030		Horizon 2050		Horizon 2080	
		[m ³ /s]					
0.90	1251	1450	1487	1459	1513	1523	1547
0.75	1066	1202	1236	1222	1255	1269	1266
0.50	879	972	998	988	1011	1024	1008
0.25	731	789	811	804	818	825	802
0.10	633	660	675	674	685	688	656

Usages et limitations

Les données sont la propriété du gouvernement du Québec qui en détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle. L'information présentée dans l'Atlas est de nature générale et à titre informatif seulement. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des renseignements ou données présentés dans l'Atlas ni leur utilité aux fins d'un usage particulier. En conséquence, le MDDELCC n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris, notamment, des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de l'Atlas.

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

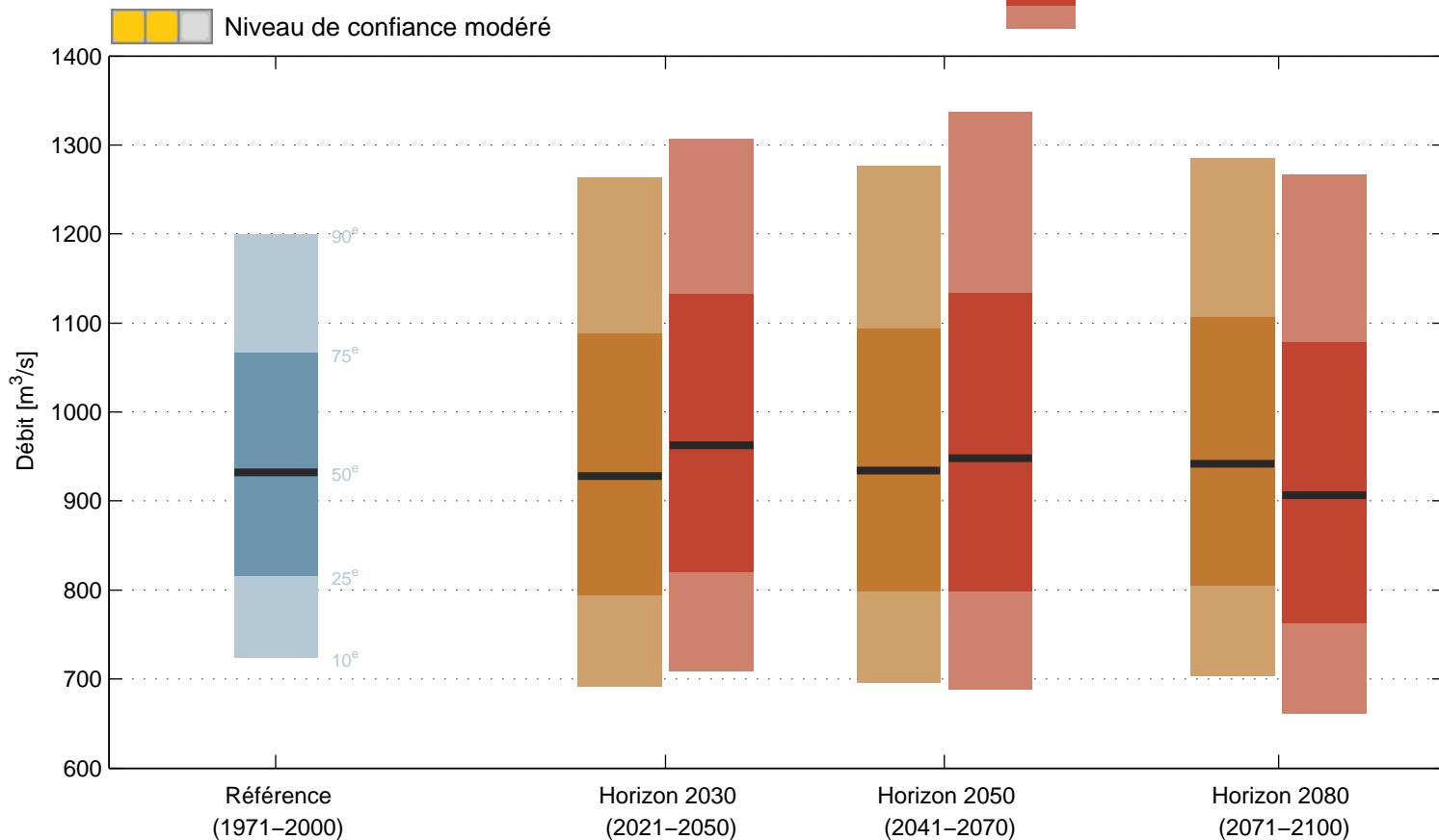
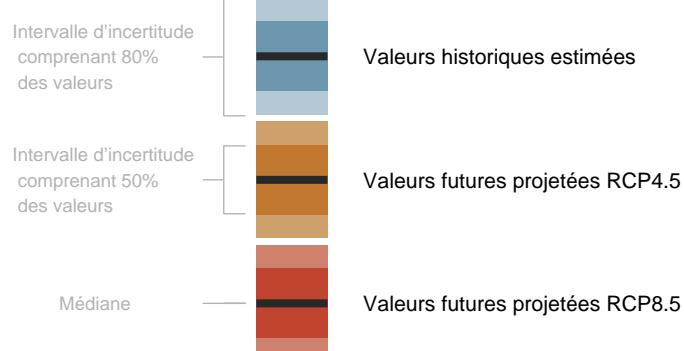


Impact projeté des changements climatiques sur le débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps

Q1max20P



Informations sur le tronçon modélisé	
Identifiant tronçon :	STN0014
Station hydrométrique associée :	aucune
Superficie drainée:	5 258 km ²
Longitude exutoire :	-73.48 °E
Latitude exutoire :	45.71 °N
Bassin versant primaire :	0522 – Rivière L'Assomption
Influence de l'opération de barrage :	Aucune influence



Quantiles	Référence [m ³ /s]	Horizon 2030		Horizon 2050		Horizon 2080	
		RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]	RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]	RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]
0.90	1200	1263	1307	1276	1336	1285	1267
0.75	1066	1088	1132	1094	1134	1107	1079
0.50	932	928	963	934	948	942	906
0.25	816	795	820	799	798	805	763
0.10	723	691	709	696	689	704	661

Usages et limitations

Les données sont la propriété du gouvernement du Québec qui en détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle. L'information présentée dans l'Atlas est de nature générale et à titre informatif seulement. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des renseignements ou données présentés dans l'Atlas ni leur utilité aux fins d'un usage particulier. En conséquence, le MDDELCC n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris, notamment, des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de l'Atlas.

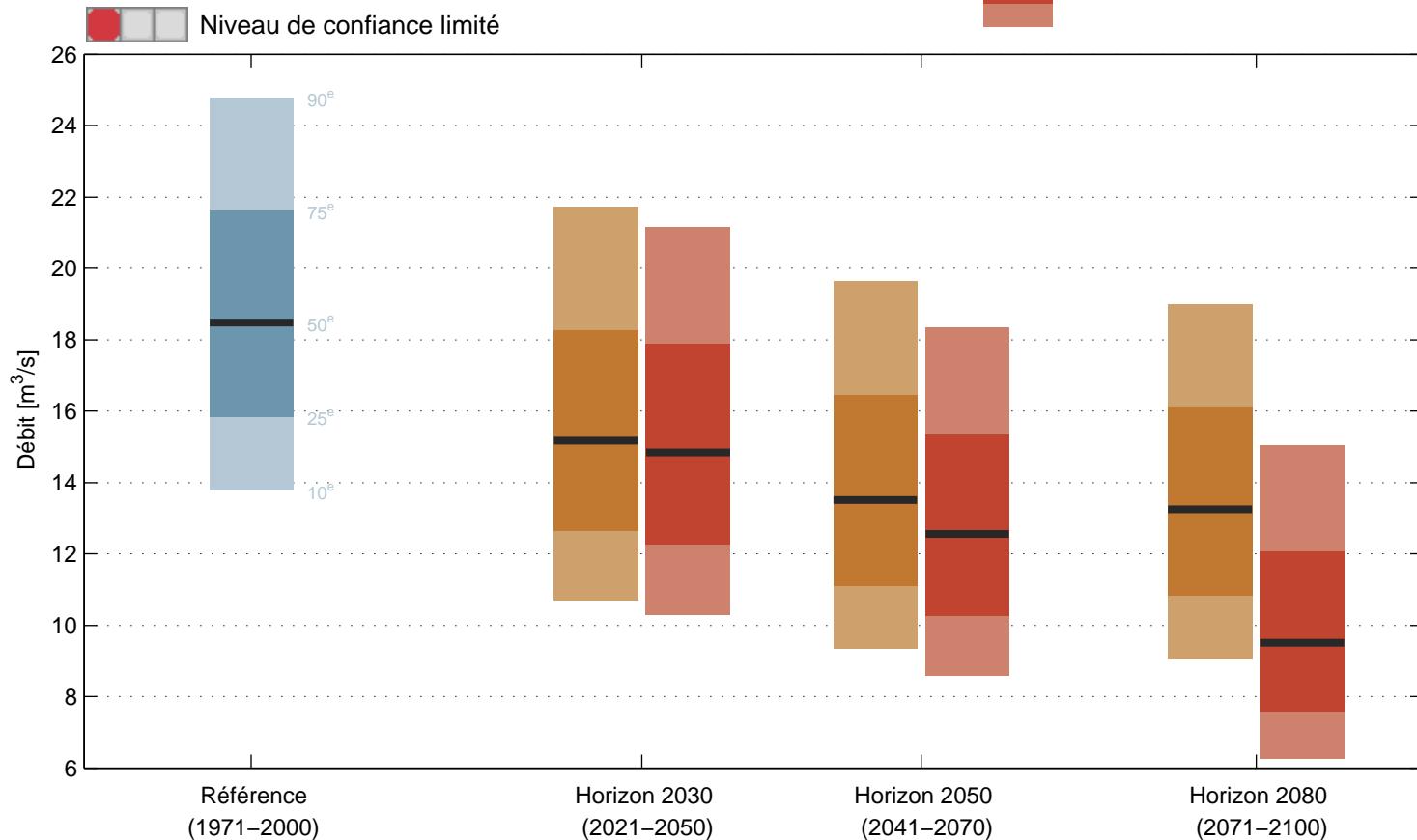
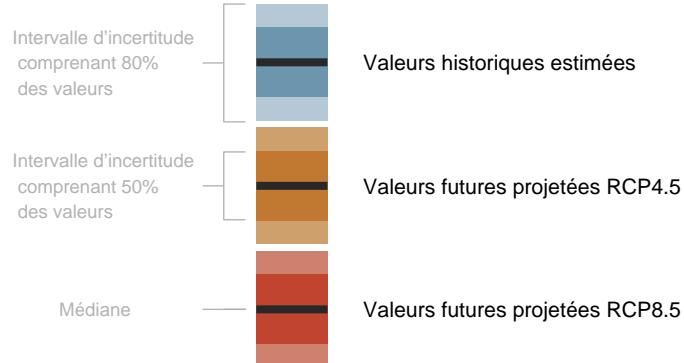
Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques



Impact projeté des changements climatiques sur le débit moyen sur 7 jours minimal annuel de récurrence de 2 ans à l'été

Q7min2E

Informations sur le tronçon modélisé	
Identifiant tronçon : STN0014	
Station hydrométrique associée : aucune	
Superficie drainée: 5 258 km ²	
Longitude exutoire : -73.48 °E	
Latitude exutoire : 45.71 °N	
Bassin versant primaire : 0522 – Rivière L'Assomption	
Influence de l'opération de barrage : Aucune influence	



Quantiles	Référence	Horizon 2030		Horizon 2050		Horizon 2080	
		[m ³ /s]					
0.90	24.77	21.71	21.16	19.64	18.36	19.00	15.04
0.75	21.61	18.25	17.87	16.44	15.34	16.09	12.06
0.50	18.48	15.17	14.83	13.51	12.55	13.24	9.50
0.25	15.84	12.63	12.25	11.10	10.27	10.82	7.59
0.10	13.78	10.70	10.30	9.33	8.59	9.04	6.24

Usages et limitations

Les données sont la propriété du gouvernement du Québec qui en détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle. L'information présentée dans l'Atlas est de nature générale et à titre informatif seulement. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des renseignements ou données présentés dans l'Atlas ni leur utilité aux fins d'un usage particulier. En conséquence, le MDDELCC n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris, notamment, des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de l'Atlas.

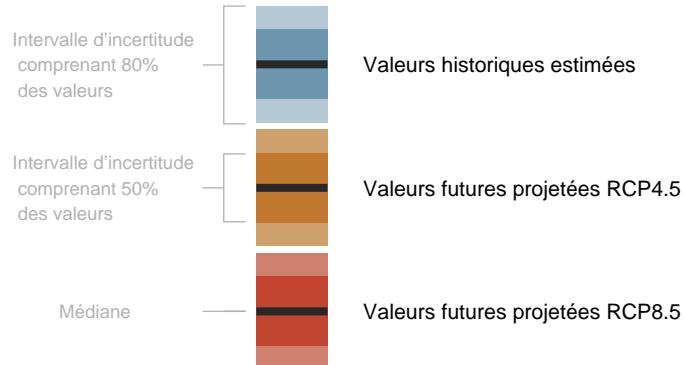
Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

Québec

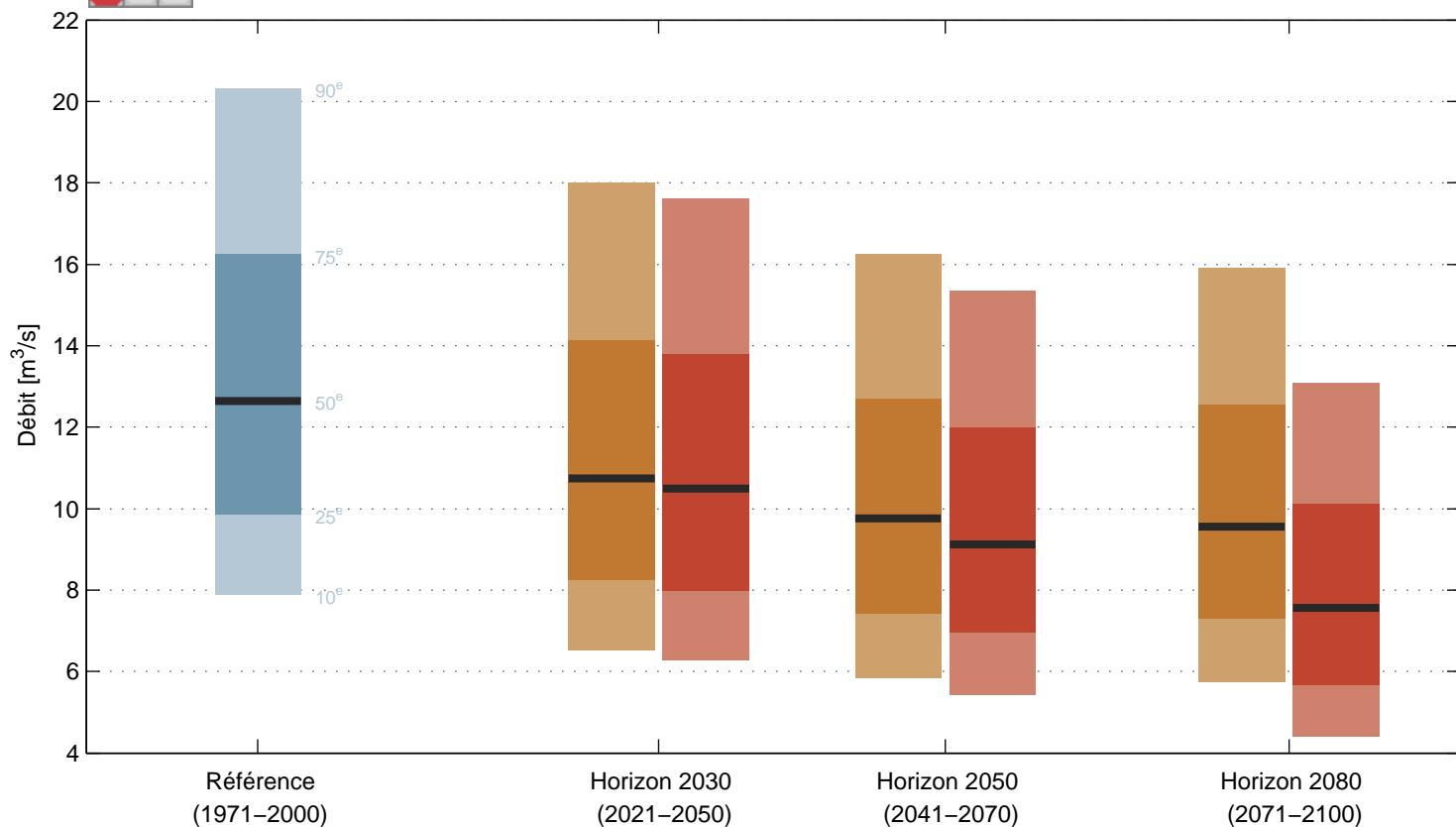
Impact projeté des changements climatiques sur le
débit moyen sur 7 jours minimal annuel de récurrence de 10 ans à l'été

Q7min10E

Informations sur le tronçon modélisé	
Identifiant tronçon : STN0014	
Station hydrométrique associée : aucune	
Superficie drainée: 5 258 km ²	
Longitude exutoire : -73.48 °E	
Latitude exutoire : 45.71 °N	
Bassin versant primaire : 0522 – Rivière L'Assomption	
Influence de l'opération de barrage : Aucune influence	



Niveau de confiance limité



Quantiles	Référence [m ³ /s]	Horizon 2030		Horizon 2050		Horizon 2080	
		RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]	RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]	RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]
0.90	20.30	18.00	17.62	16.25	15.34	15.89	13.09
0.75	16.24	14.13	13.77	12.70	11.99	12.55	10.12
0.50	12.65	10.75	10.49	9.76	9.12	9.55	7.55
0.25	9.85	8.25	7.98	7.43	6.95	7.30	5.67
0.10	7.87	6.52	6.28	5.82	5.43	5.74	4.41

Usages et limitations

Les données sont la propriété du gouvernement du Québec qui en détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle. L'information présentée dans l'Atlas est de nature générale et à titre informatif seulement. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des renseignements ou données présentés dans l'Atlas ni leur utilité aux fins d'un usage particulier. En conséquence, le MDDELCC n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris, notamment, des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de l'Atlas.

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

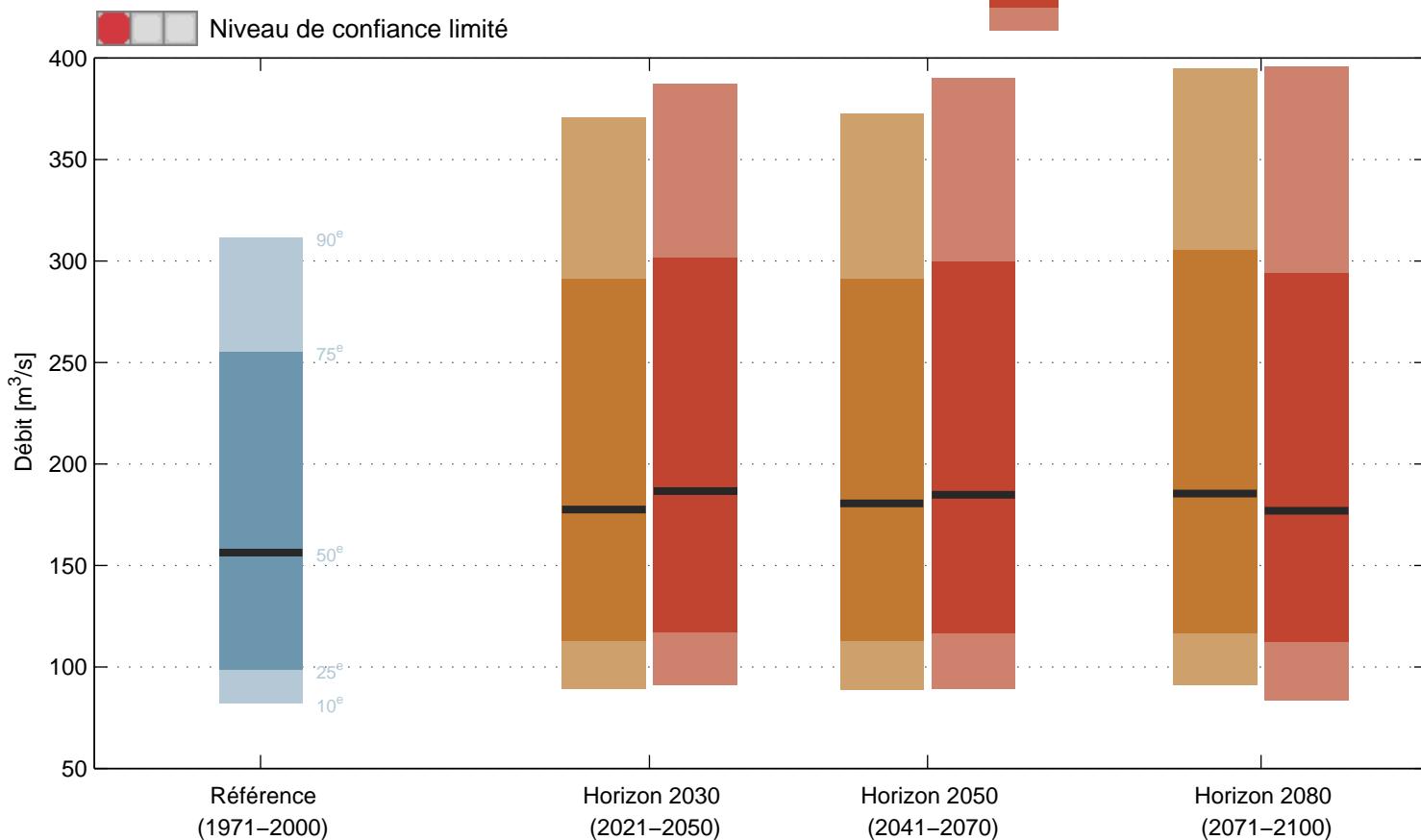
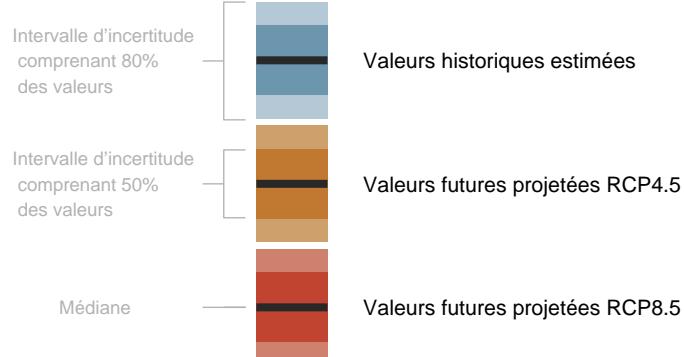
Québec

Impact projeté des changements climatiques sur le débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans à l'été et à l'automne

Q1max20EA



Informations sur le tronçon modélisé	
Identifiant tronçon :	STN0031
Station hydrométrique associée :	052233
Superficie drainée:	610 km ²
Longitude exutoire :	-73.49 °E
Latitude exutoire :	45.85 °N
Bassin versant primaire :	0522 – Rivière L'Assomption
Influence de l'opération de barrage :	Aucune influence

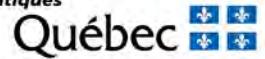


Quantiles	Référence	Horizon 2030		Horizon 2050		Horizon 2080	
		[m ³ /s]					
0.90	311	371	387	373	390	395	396
0.75	255	291	301	291	300	305	294
0.50	156	178	186	180	185	185	177
0.25	99	113	117	113	117	117	112
0.10	82	89	91	89	89	91	83

Usages et limitations

Les données sont la propriété du gouvernement du Québec qui en détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle. L'information présentée dans l'Atlas est de nature générale et à titre informatif seulement. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des renseignements ou données présentés dans l'Atlas ni leur utilité aux fins d'un usage particulier. En conséquence, le MDDELCC n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris, notamment, des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de l'Atlas.

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques

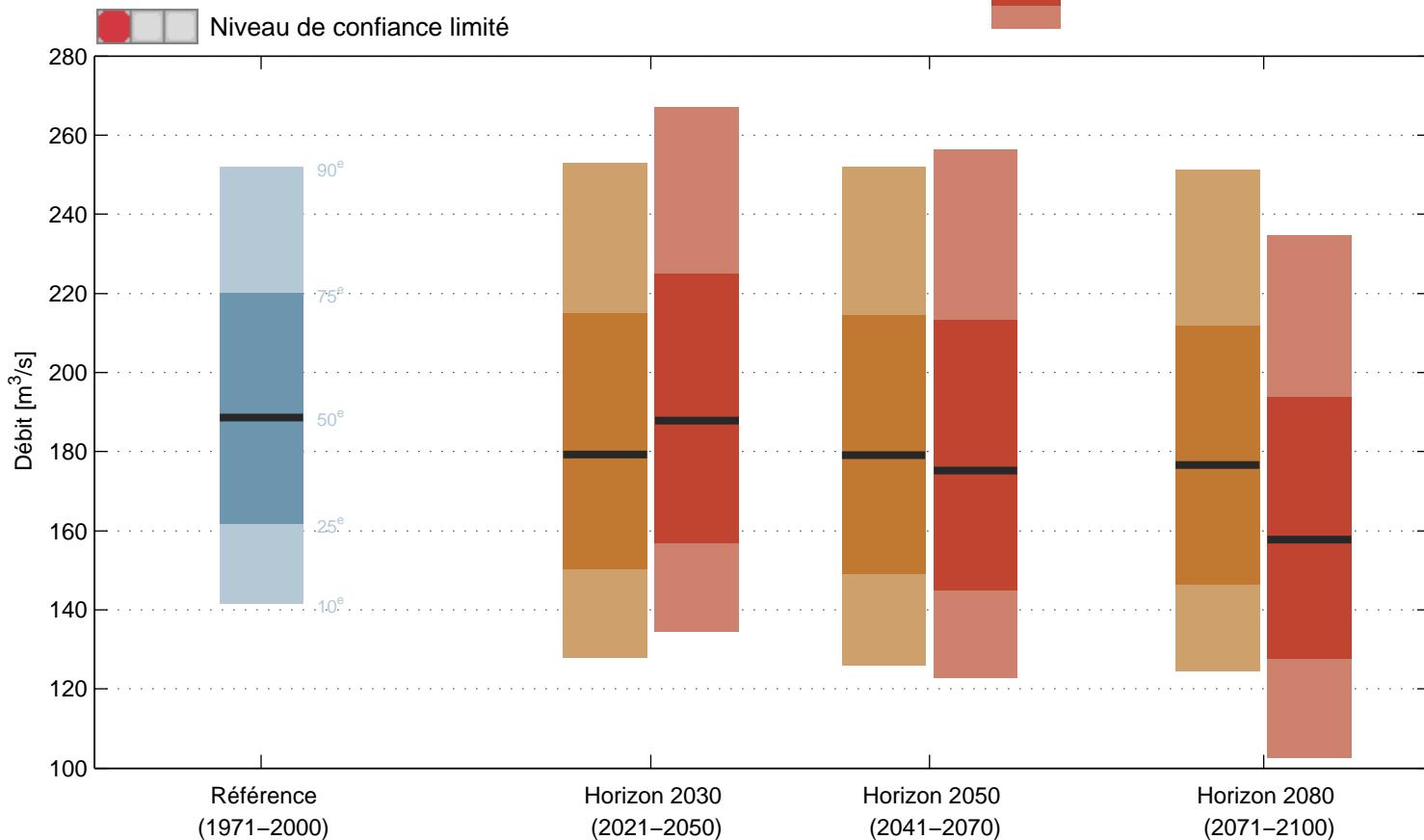
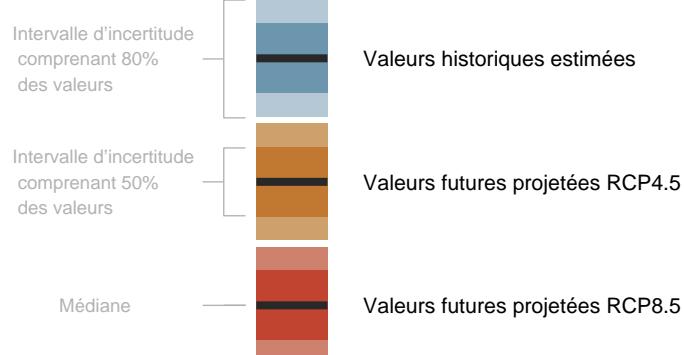


Impact projeté des changements climatiques sur le débit journalier maximal annuel de récurrence de 20 ans au printemps

Q1max20P



Informations sur le tronçon modélisé	
Identifiant tronçon :	STN0031
Station hydrométrique associée :	052233
Superficie drainée:	610 km ²
Longitude exutoire :	-73.49 °E
Latitude exutoire :	45.85 °N
Bassin versant primaire :	0522 – Rivière L'Assomption
Influence de l'opération de barrage :	Aucune influence



Quantiles	Référence [m ³ /s]	Horizon 2030		Horizon 2050		Horizon 2080	
		RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]	RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]	RCP4.5 [m ³ /s]	RCP8.5 [m ³ /s]
0.90	252	253	267	252	256	251	235
0.75	220	215	225	214	213	212	194
0.50	189	179	188	179	175	177	158
0.25	162	150	157	149	145	146	127
0.10	141	128	135	126	123	124	103

Usages et limitations

Les données sont la propriété du gouvernement du Québec qui en détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle. L'information présentée dans l'Atlas est de nature générale et à titre informatif seulement. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) et les auteurs ne garantissent pas la qualité, l'exactitude, l'exhaustivité ou l'actualité des renseignements ou données présentés dans l'Atlas ni leur utilité aux fins d'un usage particulier. En conséquence, le MDDELCC n'est pas responsable de toute perte ou de tout dommage quels qu'ils soient, y compris, notamment, des dommages directs ou indirects attribuables à l'utilisation de l'Atlas.

Développement durable,
Environnement et Lutte
contre les changements
climatiques



Annexe B

Étude hydrotechnique – novembre 2020



**SNC-LAVALIN**

SNC-Lavalin GEM Québec inc
5955, rue Saint-Laurent, Bureau 300
Lévis, Québec
Canada G6V 3P5

418-837-3621
418-837-2039

SNC-Lavalin GEM Québec inc.
360, rue St-Jacques, 16^e étage
Montréal, Québec
Canada H2Y 1P5

514-393-1000
514-392-4758

**NOTE
TECHNIQUE**

No. note technique:

4

Réf. :

Préparé par :

Rodrigo Freire De Macedo

Date : 2020-12-14

Révisé par :

Francis Lepage

Patrick Verhaar

Michel Tremblay

À :

Lieu :

Montréal

Projet : 643174

Sujet :

Étude hydrotechnique pour la conception de la protection en enrochement du canal de dérivation et la gestion des eaux pendant la construction.

Sommaire

Cette quatrième version de l'étude hydrotechnique présente les résultats d'analyses supplémentaires afin de répondre aux questions du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) (voir Addenda C, Dossier 3211-02-308). La méthodologie pour la détermination des débits des crues pendant la période de construction a été raffinée et inclut maintenant la période hivernale, en raison des changements dans la planification et durée des activités de construction. Les simulations pour déterminer les niveaux d'eau pendant la période de construction incluent maintenant une comparaison entre une période de deux mois (pour les options 1, 2 et hybride) et une période de trois mois (pour l'option 3).

Les simulations pour la période d'exploitation comprennent l'option 1 (enrochement sur le fond et les pentes du canal), l'option 2 (tapis de béton câble au fond et un enrochement sur les pentes du canal) et l'option hybride (tapis de béton câble au fond, partiellement recouvert d'enrochement et enrochement sur les pentes du canal). Le scénario pour le dimensionnement de l'enrochement est réalisé avec un débit de 1 :100 ans d'été-automne majoré pour prendre en compte les changements climatiques dans la rivière Mascouche, combiné avec un niveau d'eau de 1 :20 ans dans la rivière des Mille-Îles. L'option 3, comprenant de l'enrochement et l'excavation d'un chenal préférentiel n'a pas été simulée pour la période d'exploitation. Cette option créerait par temps de crue un profil transversal similaire à celui modélisé pour l'option 1.

1 Introduction

Cette étude hydrotechnique est réalisée pour la conception de la protection en enrochement du canal de dérivation de la rivière Mascouche, la gestion des eaux pluviales pendant la période de construction et l'analyse des effets sur les superficies inondables en phase d'exploitation. Les principales phases de l'étude sont décrites ci-dessous :

- › Revue des études antérieures;
- › Compilation des données hydrométriques;
- › Analyse statistique des données hydrométriques pour définir les crues statistiques et leur durée;
- › Détermination de la capacité de décharge de la vanne située dans le bras mort;



SNC-LAVALIN

- › Calibration du modèle permettant d'évaluer le régime hydraulique dans le canal de dérivation, le bras mort et une partie de la rivière Mascouche immédiatement en amont du canal de dérivation;
- › Simulation hydraulique des scénarios de crue pour la détermination des paramètres à utiliser pour la gestion des eaux pluviales pendant la construction et la conception de l'enrochement dans le canal de dérivation;
- › Conception hydraulique de l'enrochement pour le canal de dérivation;
- › Conception hydraulique du batardeau à utiliser pour les travaux de construction.



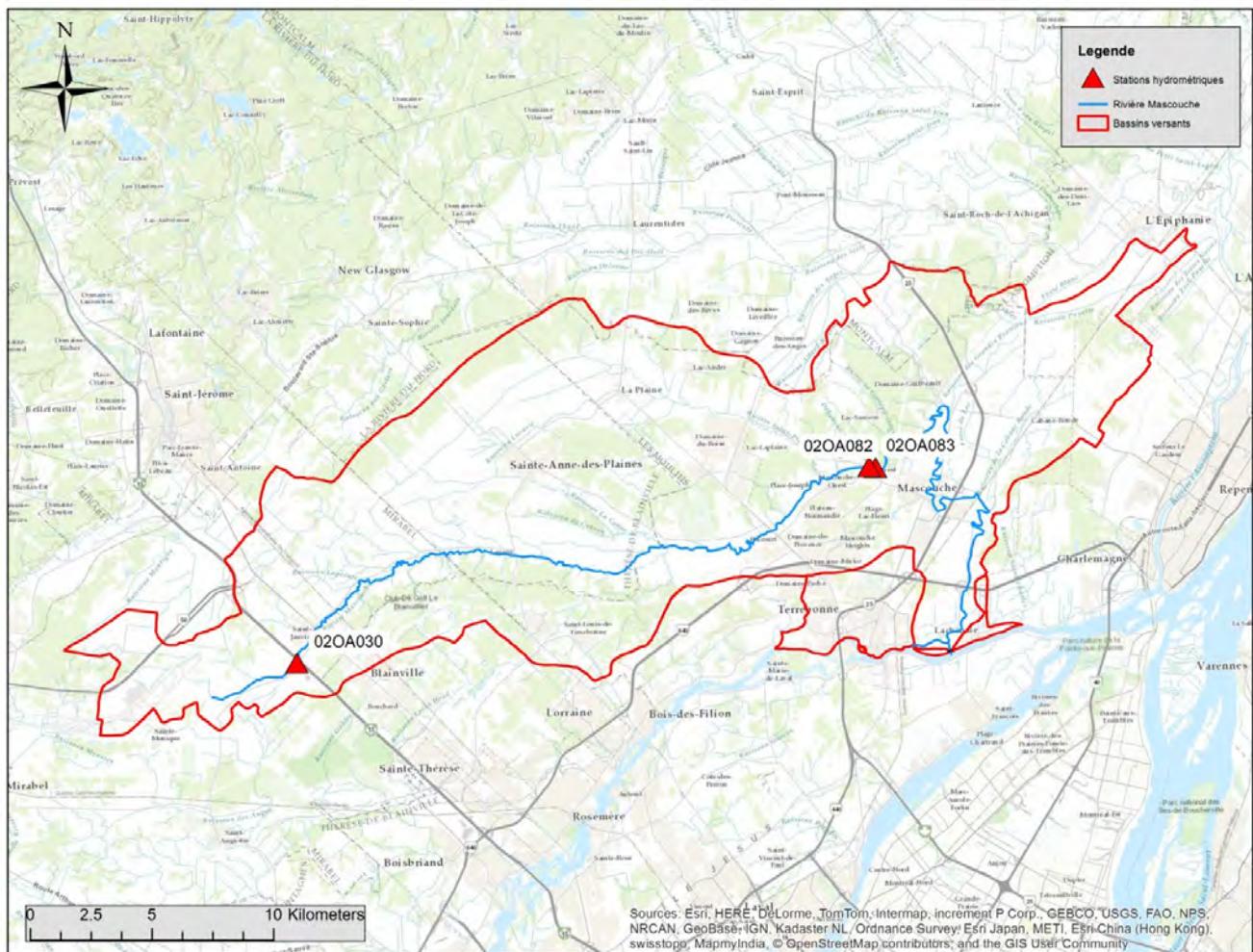
2 Description et localisation du site à l'étude

La rivière Mascouche prend sa source à l'est de l'aéroport de Mirabel. Elle s'écoule d'abord vers l'est, puis bifurque vers le nord-est près de la limite entre les villes de Mascouche et de Terrebonne. Peu après la confluence avec le ruisseau Saint-Philippe, la rivière Mascouche tourne vers le sud et coule ainsi jusqu'à son embouchure dans la rivière des Mille-Îles. Son bassin versant à l'embouchure est d'environ 411 km² (Figure 1).

Trois stations hydrométriques ont été en opération sur la rivière Mascouche. Les stations 02OA082 et 02OA083 ont enregistré des débits de 1971 à 1973 et de 1973 à 1976 respectivement. La station 02OA030 a été en fonction de 1971 à 1990.

L'embouchure de la rivière Mascouche a été remblayée et remplacée par un canal de dérivation menant directement à la rivière des Mille-Îles afin de réduire les problèmes d'inondation. L'embouchure de la rivière étant bloquée, le sens du courant s'est inversé dans le segment aval de la rivière et les rapides sont devenus des eaux calmes. Le canal ainsi créé constitue un habitat aquatique.

Figure 1 Bassin versant de la rivière Mascouche et localisation des stations hydrométriques





SNC-LAVALIN

Tableau 1 Rivière Mascouche - Caractéristiques des stations hydrométriques

Nom de la station	Numéro de la station	Années	Coordonnées géographiques		Superficie du BV
			Latitude	Longitude	
Mascouche (rivière) en aval de la rivière Saint-Pierre	020A082	1971-1973	45°45'39" N	73°37'51" W	258 km2
Mascouche (rivière) près de la rivière Saint-Pierre	020A083	1973-1976	45°45'40" N	73°38'3" W	258 km2
Mascouche (rivière) près de Saint-Janvier	020A030	1971-1990	45°41'30" N	73°56'17" W	18,9 km2

Le canal de dérivation subit actuellement un processus d'érosion qui nécessite la protection des berges et du fond du canal avec de l'enrochement.

3 Analyse statistique des données hydrométriques

Une corrélation a été établie entre les débits de crue mesurés aux stations 02OA082/02OA083 et 02OA030 de la rivière Mascouche afin de générer une série des débits synthétiques des stations 02OA082/02OA083. Cette corrélation est présentée à la figure 2 accompagnée d'une équation de régression polynomiale. Une courbe de double masse a été développée pour vérifier la corrélation entre les données de débits à ces stations (figure 3). Il a été constaté que ces données ont une corrélation satisfaisante aux fins de la présente analyse.

Une transposition directe des débits des stations 02OA082 et 02OA083 a fourni des résultats pour le secteur étudié. Un facteur de 1,59 a été appliqué à la série de débits étendus des stations 02OA082/02OA083. Ce facteur correspond au rapport entre la superficie du bassin hydrographique à l'embouchure (410 km^2) et la superficie de drainage des stations hydrométriques 02OA082/02OA083 (258 km^2).

Figure 2 Courbe de régression pour les données de débits des stations hydrométriques étudiées

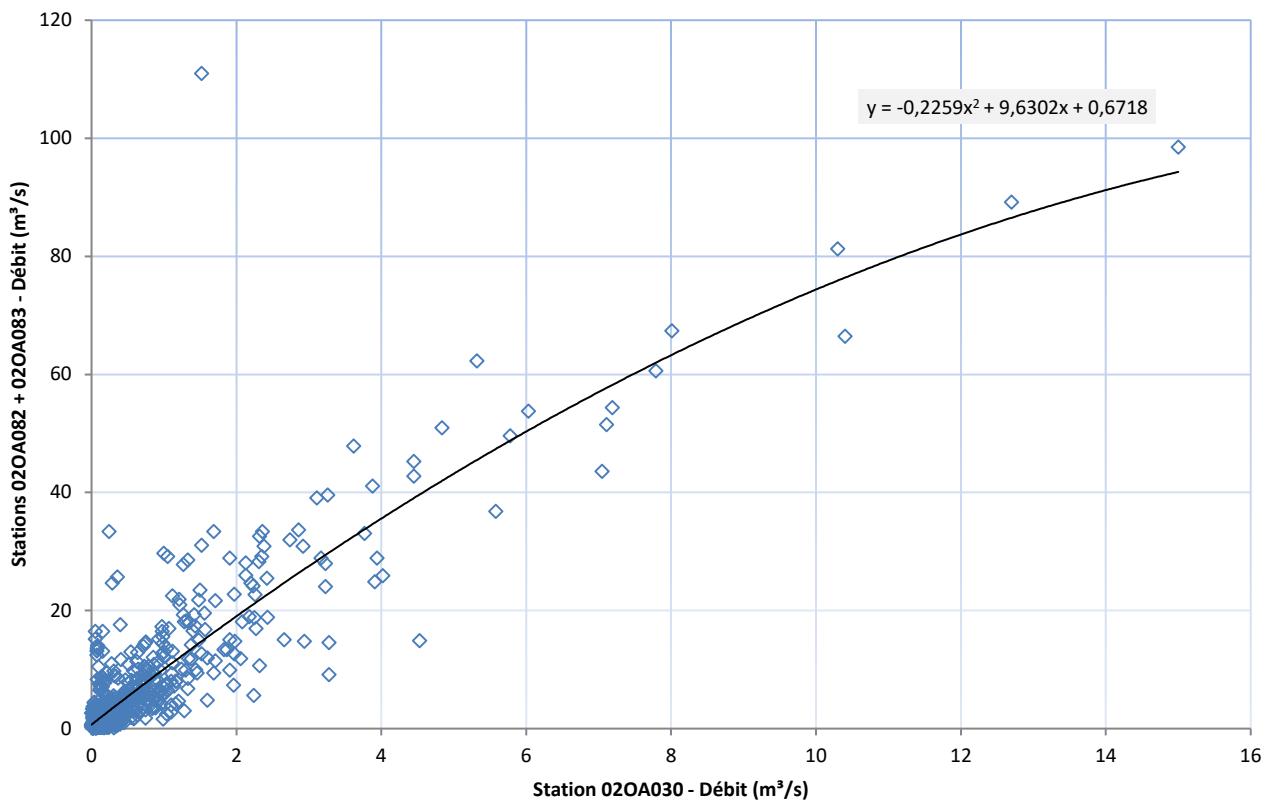
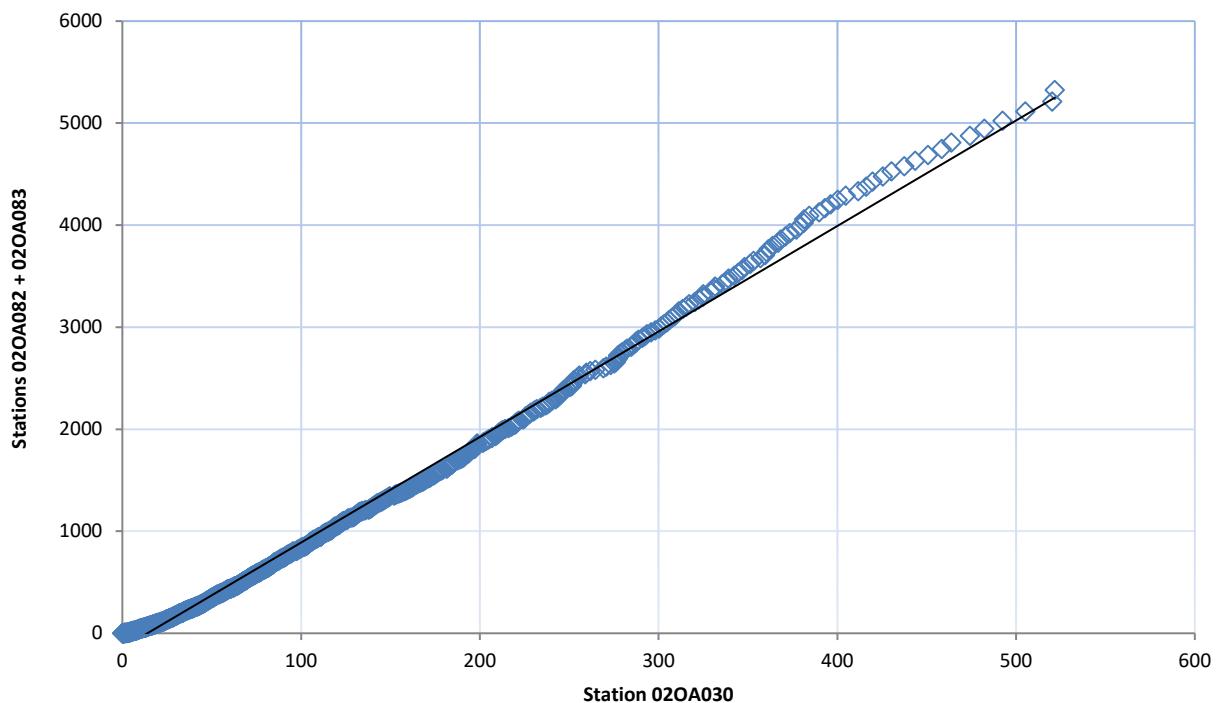


Figure 3

Courbe de double masse pour les données de débits des stations hydrométriques étudiées



3.1 Crues statistiques

La série de débits reconstitués a été utilisée afin d'évaluer les crues statistiques pour diverses périodes de retour. Cinq lois de probabilité ont été ajustées à l'échantillon des débits journaliers maximaux pour les mois de juillet, août, septembre, octobre, novembre, décembre, janvier et février ainsi que pour toute l'année. Les résultats de la loi de probabilité présentant le meilleur ajustement ont été retenus. Les résultats pour des périodes de construction envisagées de deux (2) et trois (3) mois sont également présentés. Les crues statistiques pour des périodes de construction d'un (1), deux (2) et trois (3) mois sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tel que démontré par les résultats, la période de deux (2) mois couvrant les mois d'août et de septembre et la période de trois (3) mois couvrant la mi-juillet à la mi-octobre présentent des débits statistiques semblables à ceux calculés pour les périodes d'étiage hivernal. Par conséquent, ces périodes sont considérées plus favorables pour la construction, car elles éliminent les risques liés aux conditions hivernales tout en offrant des conditions hydrauliques équivalentes.

Tableau 2 Rivièr e Mascouche à l'embouchure de la Rivière des Mille-Îles - Crues statistiques pour la période de construction

Période	Période de retour (années)		
	10	5	2
	Débit (m ³ /s)		
Juillet	36,1	20,5	8,5
Août	41,2	25,2	9,9
Septembre	50,6	29,8	11,7
Octobre	88,9	56,0	22,7
Novembre	67,4	49,8	30,4
Décembre	68,2	46,1	21,1
Janvier	29,8	19,6	9,1
Février	40,4	22,0	7,9
Période de 3 mois	(mi-juillet à mi-octobre)	103	69,4
	(décembre à février)	94,2	64,5
Période de 2 mois	(août et septembre)	72,6	48,8
	(janvier et février)	60,0	36,2
			14,7

Le tableau 3 présente les débits statistiques annuels pour la rivière Mascouche à l'embouchure de la Rivière des Mille-Îles. Ces débits servent à l'évaluation des conditions d'hydrauliques en période d'exploitation, présentée à la section 5.4.

Tableau 3 Rivièr e Mascouche à l'embouchure de la Rivière des Mille-Îles - Crues statistiques annuelles

Période de retour (années)	Débit (m ³ /s)
2	121,0
5	146,3
10	162,4
20	179,9
100	216,5

L'étude des hydrogrammes des crues historiques montre que les évènements de crues sévères se développent généralement sur une période de 48 à 96 heures.

4 Mesures de gestion des eaux pluviales envisagées pendant la période de construction

En tenant compte des résultats des analyses statistiques présentées à la section 3 et du fait qu'il n'est pas possible de gérer des fortes crues dans ce secteur de la rivière en raison des contraintes imposées par la présence de propriétés adjacentes à la rivière, il est recommandé d'effectuer les travaux de construction au cours des mois d'août et de septembre en raison des plus faibles débits de crue et de la durée relativement courte des crues éventuelles.

Il est suggéré de construire deux batardeaux dans le canal de dérivation : un à l'entrée du canal (près de la confluence avec le bras mort) et un autre en aval du canal pour empêcher l'eau de la rivière des Mille-Îles de refouler dans le canal de dérivation. Le batardeau en amont doit être conçu de façon à permettre le débordement pendant les fortes crues. Ceci est nécessaire pour s'assurer que pendant les périodes de crues, les propriétés adjacentes ne soient pas inondées par des effets de remous causés par le batardeau. En d'autres termes, le surplus d'eau qui ne peut passer par le bras mort devra passer par-dessus le batardeau afin de ne pas inonder les propriétés adjacentes. Au cas où une crue provenant de la rivière Mascouche déborde par-dessus le batardeau, les activités de construction dans le canal de dérivation seraient interrompues.

Il convient de noter que la présence de la chambre des vannes à l'extrémité aval du bras mort présente un obstacle à l'écoulement de la crue du bras mort vers la rivière des Mille-Îles en cas de crue. En outre, étant donné que cette vanne est submergée pendant la crue, sa capacité de décharge est dictée par la différence de niveau d'eau entre le bras mort et la rivière des Mille-Îles.



SNC-LAVALIN

Figure 4 Emplacement proposé des batardeaux



5 Étude hydraulique

L'objectif de l'étude hydraulique est de préparer un modèle hydrodynamique permettant d'évaluer les impacts de la fermeture du canal de dérivation par un batardeau de débordement pendant la période de construction et de définir les paramètres nécessaires à la conception hydraulique de l'enrocement de protection des berges et du fond du canal en période d'exploitation.

Plusieurs simulations en conditions de débits de crue ont été effectuées afin d'évaluer le risque d'inondation des propriétés et l'impact sur la vitesse et la direction de l'écoulement dans le secteur à l'étude.

5.1 Description de la méthode utilisée

Un modèle hydrodynamique unidimensionnel a été créé avec le logiciel HEC-RAS pour le secteur à l'étude. Ce modèle a été calibré afin de reproduire de manière satisfaisante les niveaux d'eau observés lors d'une campagne de terrain réalisée en période de crue. Ces niveaux d'eau observés proviennent d'une étude réalisée par le Centre d'Expertise hydrique du Québec (CEHQ) (Réf. 1).

La simulation des débits de récurrence de 2 ans sur la rivière Mascouche, pour la période d'août à septembre, a permis de définir l'élévation de la crête du batardeau amont situé à l'entrée du canal de dérivation (figure 4). Le niveau de la crête du batardeau a été choisi de sorte que les propriétés adjacentes ne soient pas inondées lors du passage de la crue de deux ans au cours de cette période.

La capacité de décharge de la vanne a été estimée en utilisant l'équation des orifices submergés. La capacité de décharge du batardeau amont a été estimée à l'aide de l'équation d'un déversoir avec un coefficient de décharge de 1,3. Il est à noter que les niveaux d'eau en amont du batardeau sont contrôlés par la profondeur d'eau critique au-dessus du niveau de la crête du batardeau.

5.2 Calibration du modèle hydraulique

Tel que mentionné précédemment, les niveaux d'eau mesurés et présentés dans le rapport du CEHQ (Réf. 1) ont été utilisés pour calibrer le modèle HEC-RAS. De plus, les mêmes conditions aux frontières que celles présentées dans le rapport du CEHQ (Réf. 1) ont été utilisées, soit un débit de 33,0 m³/s. Les résultats de calibration du modèle sont présentés au tableau 4.

Les endroits où les mesures des niveaux d'eau ont été effectuées sont présentés dans le rapport du CEHQ (Réf. 1).



Tableau 4 Comparaison entre les niveaux d'eau mesurés et simulés

ID Site	Description	Niveau mesuré (m)	Niveau simulé (m)	Différence (m)
2.9	RMI – Amont	8,396	8,400	0,004
2	RMA – Bras mort – Aval	8,121	8,180	0,059
3	RMA – Bras mort	8,113	8,180	0,067
4	RMA – Bras mort	8,113	8,180	0,067
5	RMA – Embouchure	8,187	8,170	0,017
6	RMA – Amont Bras mort	8,168	8,180	0,012
9 amont	RMA – Pont piétonnier	8,170	8,170	0,000
10 aval	RMA – Pont route 344	8,164	8,170	0,006

Note : RMI : Rivière de Mille-Îles; RMA : Rivière Mascouche

Figure 5 Sections transversales du modèle HEC-RAS



5.3 Simulations des conditions hydrauliques durant la construction

Afin de déterminer les conditions frontières du modèle hydraulique pour la simulation de la crue 1:2 ans pendant la période d'août à septembre, les débits et les niveaux d'eau correspondants dans la rivière des Mille-Îles ont dû être déterminés. Dans un premier temps, une courbe de tarage a été tracée pour la rivière des Mille-Îles en amont du bras mort et en aval du canal de dérivation. Pour ce faire, les données de l'étude réalisée par le CEHQ en 2005 (Réf. 2) sur les cotes de crues ainsi que l'étude réalisée par Aqua Terra en 2007 sur les niveaux d'eau en période d'étiage (Réf. 3) ont été utilisées.

La crue de 1:2 ans pour la période d'août à septembre dans la rivière des Mille-Îles a par la suite été évaluée à l'aide d'une courbe de débits classés. Les débits maximums mesurés pour les mois d'août et septembre à la station hydrométrique « Mille-Îles (Rivière des) à Bois-des-Fillion » (02OA003) ont été analysés.

La crue de 1:2 ans pendant la période d'août et septembre dans la rivière des Mille-Îles ainsi que les courbes de tarages en amont du bras mort et en aval du canal de dérivation ont permis de déterminer les conditions frontières suivantes avec la vanne en aval du bras mort ouverte :

Débit dans la rivière des Mille-Îles :	116,0 m ³ /s;
Niveau d'eau dans la rivière des Mille-Îles en amont du bras mort :	5,75 m;
Niveau d'eau dans la rivière des Mille-Îles en aval du canal de dérivation :	5,09 m.

Plusieurs simulations ont été effectuées afin de définir l'élévation de la crête du batardeau amont. Tel que mentionné précédemment, l'objectif est d'établir un niveau de crête pour le batardeau qui minimise les risques d'inondation des propriétés adjacentes au cours de la période de construction. L'élévation de la crête du batardeau a été fixée à 9,50 m. Le tableau 5 présente les résultats des simulations des crues 2, 5 et 10 ans durant des périodes de construction de 2 et 3 mois. La période de construction de 2 mois représente le temps estimé des travaux pour les options 1 (enrochement), 2 (béton-câble) et hybride, alors que la période de 3 mois représente la durée de construction de la 3^e option (enrochement et chenal préférentiel).

Les figures 6 à 8 présentent les zones inondées par le passage des crues étudiées, pour les deux périodes de construction considérées. Les données de terrain tirées du relevé LiDAR, présentées à la figure 9, montrent que les propriétés riveraines sont situées à des élévations minimales de 12 m environ. La seule exception est une maison et des bâtiments agricoles, illustrés à la figure 10, dont le terrain est situé à une élévation d'environ 11 m. La vulnérabilité de ces bâtiments (présence de sous-sols, d'un système de pompage, d'un clapet, etc.) devrait être vérifiée.

Tableau 5 Résultats de la simulation de crues durant la période de construction d'août à septembre (options 1, 2 et hybride) et de mi-juillet à mi-octobre (option 3)

Période de récurrence	Août à septembre Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau (m)	Mi-juillet à mi-octobre Débit (m ³ /s)	Niveau d'eau (m)
1:2 ans	20,5	9,76	29,3	9,94
1:5 ans	45,4	10,21	64,5	10,45
1:10 ans	68,6	10,50	97,1	10,79

Pour ce niveau de crête, la capacité du bras mort est contrôlée par la vanne et s'élève à environ 15 m³/s. Les débits supplémentaires passant au-dessus du batardeau. La distribution des débits de crue entre le bras mort et le batardeau pour chaque scénario modélisé est présentée au tableau 6.

Tableau 6 Distribution des débits de fortes crues pendant la période de construction d'août à septembre (options 1, 2 et hybride) et de mi-juillet à mi-octobre (option 3)

Période de récurrence	Août à septembre		Mi-juillet à mi-octobre Débit (m ³ /s)	
	Débit dans le bras mort (m ³ /s)	Débit au-dessus du batardeau (m ³ /s)	Débit dans le bras mort (m ³ /s)	Débit au-dessus du batardeau (m ³ /s)
1:2 ans	13,8	6,7	14,2	15,1
1:5 ans	14,8	30,6	15,2	49,3
1:10 ans	15,3	53,3	15,9	81,2

Le canal de dérivation restera sec pour des débits dans la rivière Mascouche inférieurs à 13,0 m³/s. Selon les courbes de débits classés développées pour les deux périodes de construction (figure 11 et 12), ce débit sera dépassé en moyenne durant environ deux (2) jours au cours de la période de deux mois (août et septembre) et quatre (4) jours au cours de la période de trois mois (mi-juillet à mi-octobre).

Figure 6 Zone inondée pour une crue de 1:2 ans pendant la période de construction d'août à septembre (options 1, 2 et hybride) et de mi-juillet à mi-octobre (option 3)

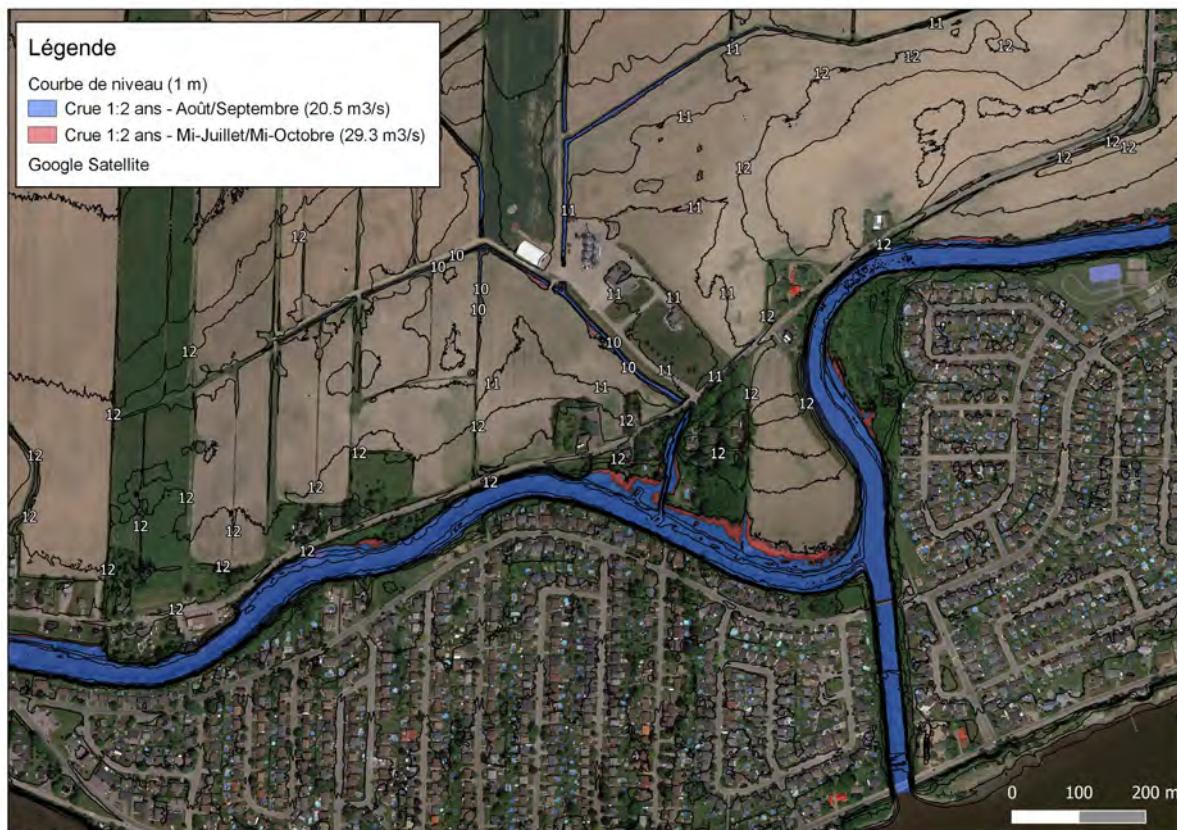


Figure 7 Zone inondée pour une crue de 1:5 ans pendant la période de construction d'août à septembre (options 1, 2 et hybride) et de mi-juillet à mi-octobre (option 3)

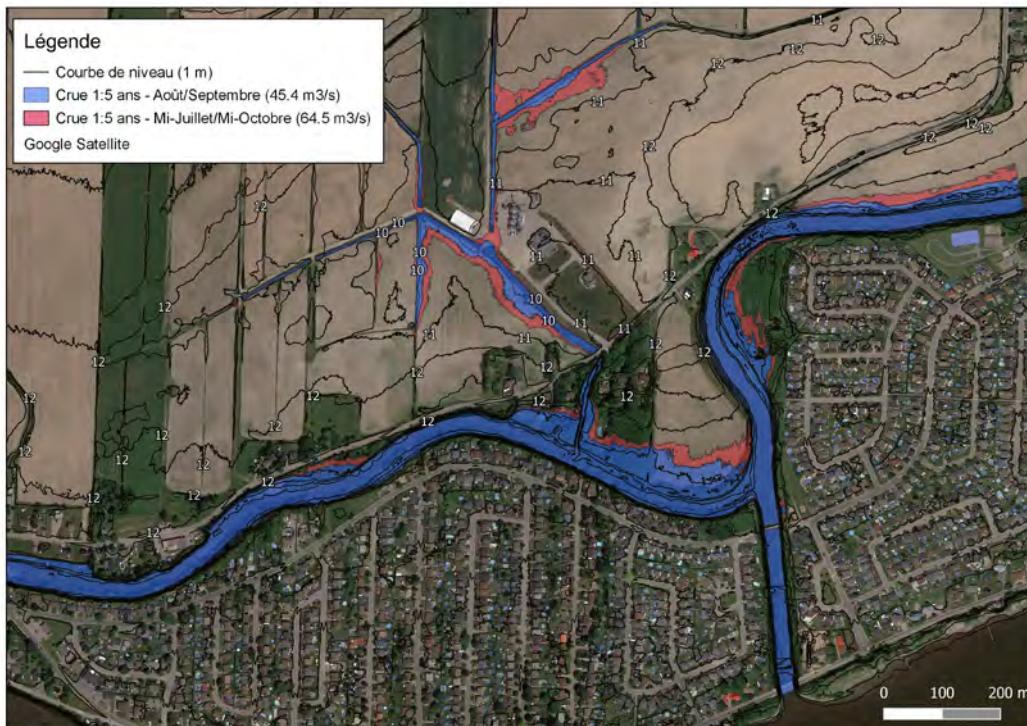


Figure 8 Zone inondée pour une crue de 1:10 ans pendant la période de construction d'août à septembre (options 1, 2 et hybride) et de mi-juillet à mi-octobre (option 3)

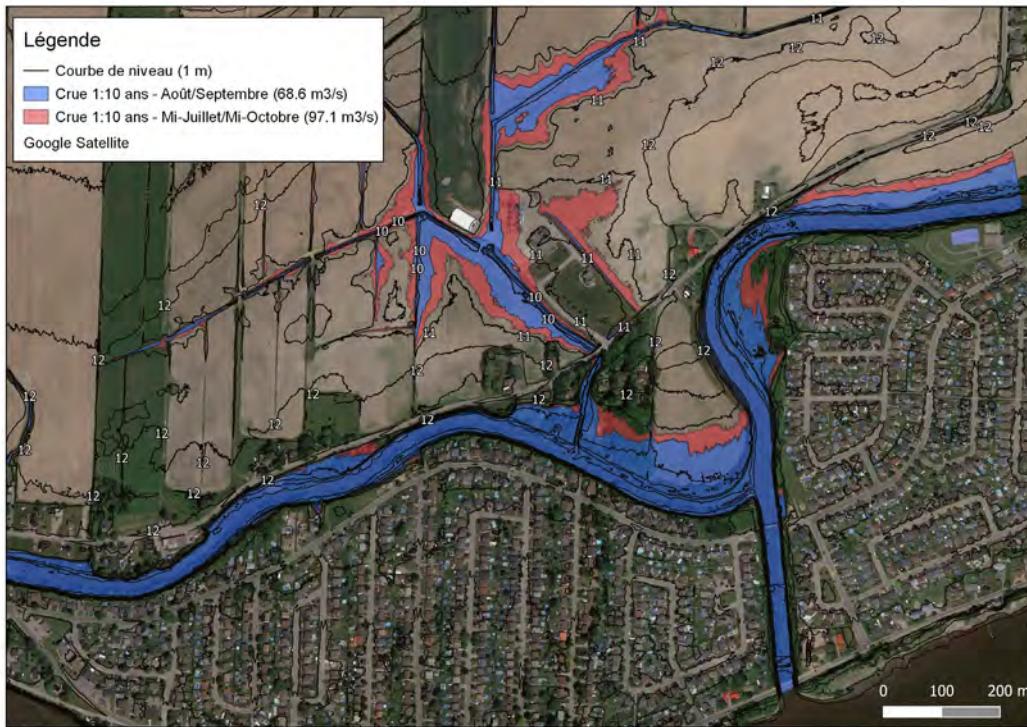


Figure 9 Élévation du terrain tiré du relevé LiDAR

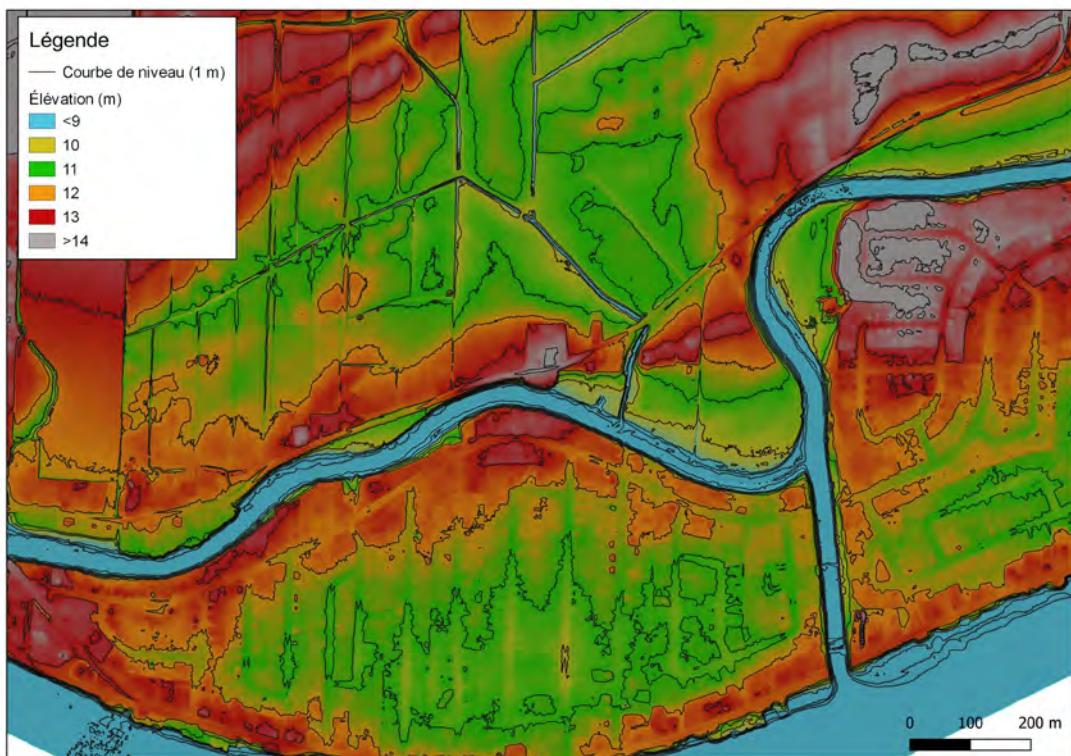


Figure 10 Position des bâtiments les plus vulnérables

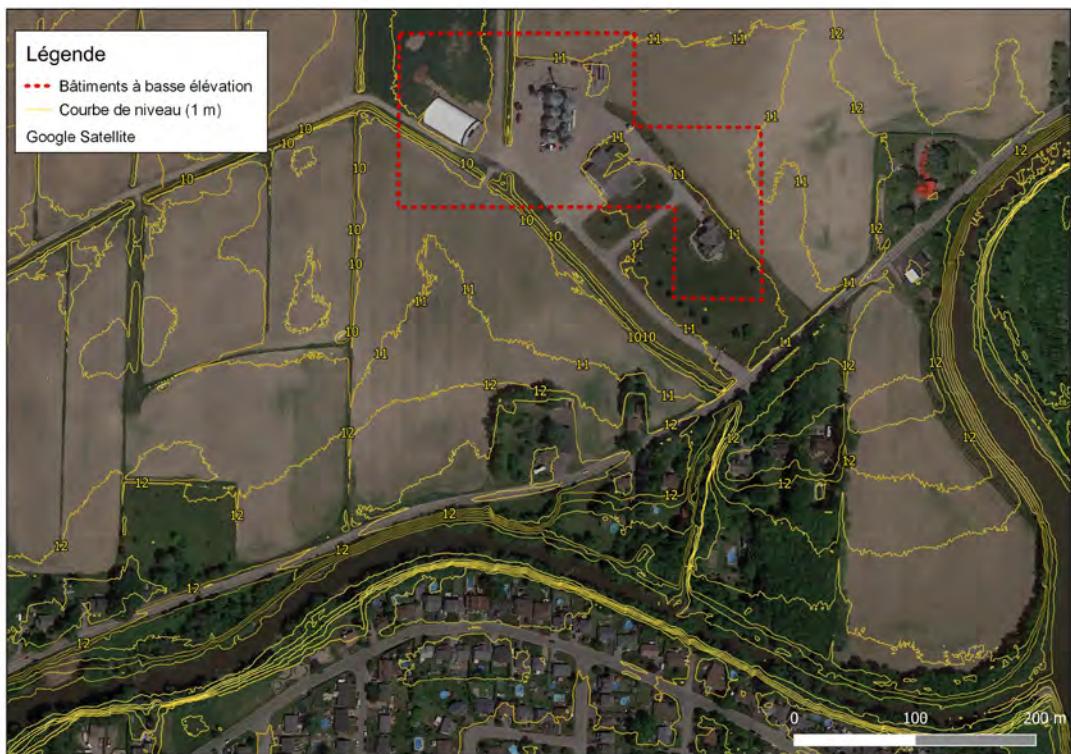


Figure 11 Débits classés pour la période d'août à septembre

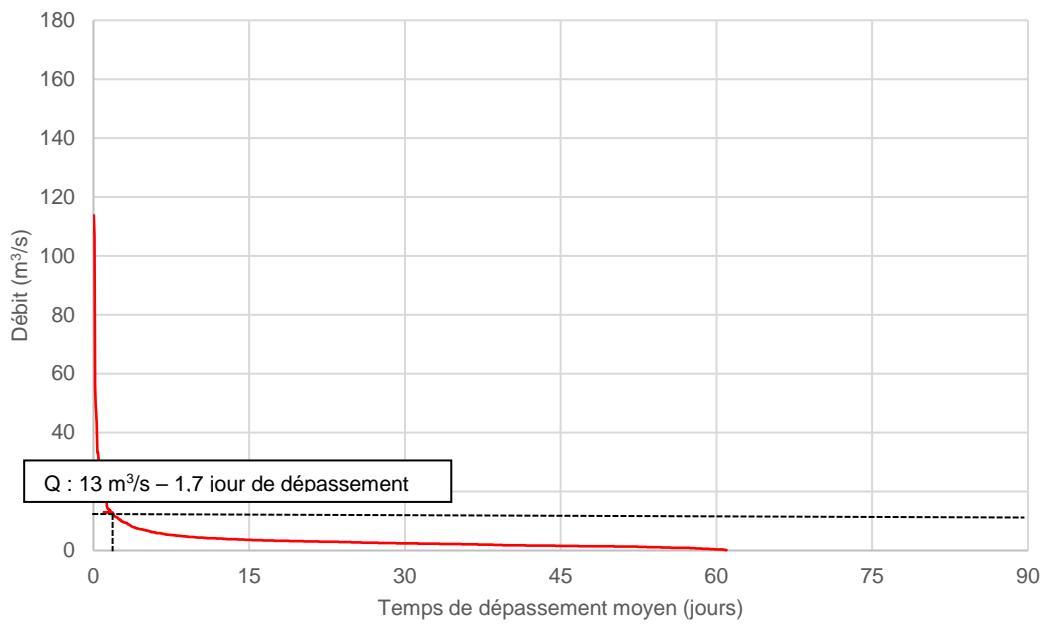
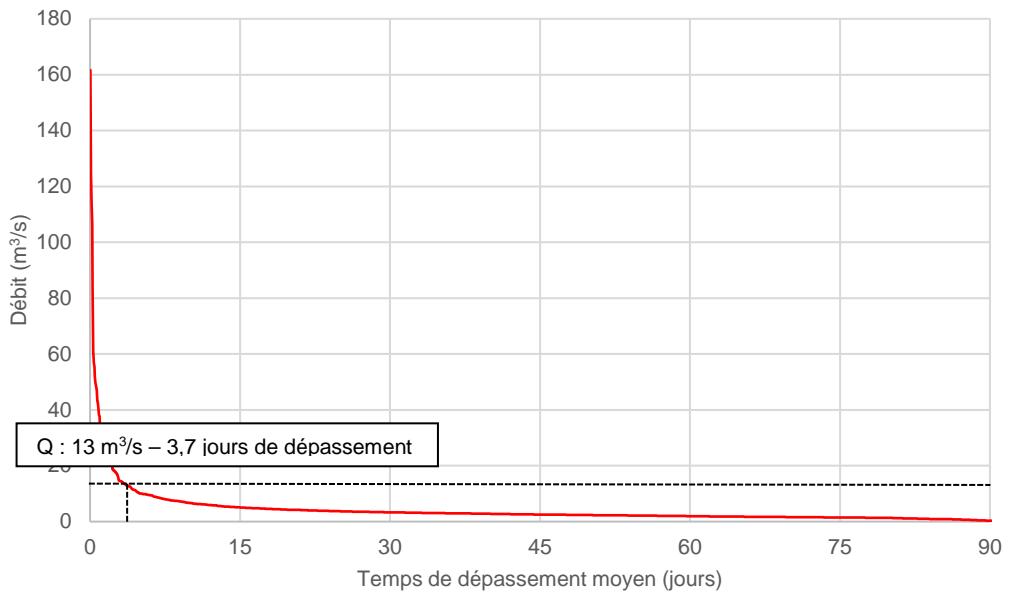


Figure 12 Débits classés pour la période de la mi-juillet à la mi-octobre



5.4 Simulations des conditions hydrauliques en exploitation

Les options 1 et 2, enrochement et TBC, ainsi qu'une option hybride, ont fait l'objet d'une modélisation de quatre cas de crues en conditions futures. L'option hybride prévoit l'ajout d'enrochements sur le TBC afin de réduire l'impact écologique du projet. Un canal préférentiel de 1 m de large est laissé libre, afin de permettre la présence d'eau au fond du canal en temps d'étiage sévère.

Lors des simulations, la vanne en aval du bras mort est considérée fermée et le débit dans le bras mort est donc nul. La totalité du débit de la rivière Mascouche passe par le canal de dérivation, une approche conservatrice. Les paramètres et résultats de ces simulations sont discutés à la section 8. Le canal a été modélisé selon les géométries suivantes :

Tableau 7 Géométrie du canal de dérivation en conditions de projet

Paramètre	Option 1	Option 2	Option Hybride
Largeur du fond du canal	11,4 m	7,0 m	7,0 (TBC) + 4,2 = 11,2 m
Pente latérale θ	26,6 degrés (2H:1V)		
Pente longitudinale	0 degré (fond plat)		
Niveau du fond du canal	El. 5,3 m	El. 4,2 m	El. 4,2 m sur un chenal de 1 m de large, pente 2H :1V, puis el. 5,25 m de part et d'autre
Épaisseur moyenne de la protection	1,4 m	1,4 m	1,4 m (pentes) 1,05 m (fond)
Rugosité (Manning-n)	0,034	0,034	0,034

6 Conception de l'enrochement

6.1 Enrochement et vitesse d'écoulement

La protection avec enrochement des berges et du fond du canal de dérivation a été conçue selon la méthode du EM 1110-2-1601 Hydraulic Design of Flood Control Channels (Réf. 4). Les dimensions de l'enrochement ont été déterminées en utilisant les équations suivantes :

$$D_{30} = S_f \times C_s \times C_v \times C_t \times d \times \left[\left(\frac{\gamma_w}{\gamma_s - \gamma_w} \right)^{1/2} \times \frac{V}{\sqrt{K_1 \times g \times d}} \right]^{2,5} \quad (\text{Équation 1})$$

D_{30} : diamètre de l'ouverture du tamis à 30 % de passant en masse (m);

S_f : facteur de sécurité;

C_s : coefficient de stabilité;

C_v : coefficient de distribution de la vitesse verticale;

C_t : coefficient d'épaisseur;

d : profondeur d'écoulement local (m);

γ_w : poids unitaire de l'eau (kg/m³);

γ_s : poids unitaire de l'enrochement (kg/m³);

V : vitesse locale moyenne en profondeur (m/s);

K_1 : facteur de correction de la pente latérale;

g : accélération gravitationnelle (9,81 m/s²);

$$K_1 = \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi}} \quad (\text{Équation 2})$$

θ : angle de la pente latérale avec l'horizontal (degrés);

φ : angle de repos du matériau (degrés).

La vitesse moyenne utilisée pour la conception de l'enrochement est basée sur les simulations effectuées pour une crue dans la rivière Mascouche d'une période de retour de 100 ans, majorée pour prendre en compte l'impact des changements climatiques.

La fiche du ruisseau Payette de l'Atlas Climatique du Québec Méridional (Réf. 5) a été utilisée afin de déterminer un scénario de crue 1 :100 ans majorée dans la rivière Mascouche. Le ruisseau Payette est un affluent de la rivière Assomption, situé à proximité de la rivière Mascouche (tronçon STN0031 dans l'Atlas).

Pour l'horizon 2080, une diminution de 6 % des débits de crue de printemps 1 :20 ans dans le ruisseau Payette est attendue selon le scénario RCP 4.5. Le scénario RCP 8.5 prédit une diminution de 16 % des débits de crue de printemps de récurrence 1 :20 ans.

Pour le même tronçon, une augmentation du débit de crue d'été-automne 1 :20 ans est prévue à l'horizon 2080, soit une augmentation de 19 % selon le scénario RCP 4.5 et de 16 % selon le scénario RCP 8.5.

Sur l'échantillon des débits reconstitués pour la rivière Mascouche, la crue printanière fournit le débit maximum annuel pour 19 des 22 années étudiées, et contrôle donc généralement le calcul de la crue statistique annuelle. Cependant, une majoration du débit statistique de la crue d'été-automne permet l'obtention d'un scénario plus critique que le scénario de crue maximum annuelle 1 :100 ans. Par conséquent, on considère qu'à l'horizon 2080, le scénario de crue d'été-automne deviendra plus critique que le scénario de crue printanière.

L'Atlas ne fournit pas de facteurs de majoration pour la crue de récurrence 1 :100 ans. Un facteur de majoration de 25 % de la crue d'été-automne 1:100 ans est proposé. Le débit résultant (244,5 m³/s) est 13 % plus élevé que le débit de crue 1 :100 ans annuel.

Il a été supposé que le niveau d'eau dans la Rivière des Mille-Îles en aval de la rivière Mascouche est équivalent à celui causé par une crue d'été-automne de période de retour de 20 ans, aussi majorée en fonction des changements climatiques, par un facteur de +16 %. Ce facteur correspond à l'augmentation prévue par le RCP 4.5 pour la crue d'été-automne sur la rivière Assomption (tronçon STN0014 dans l'Atlas).

Les paramètres ayant servi au dimensionnement de l'enrochement sont présentés au tableau 8. Les vitesses maximales estimées avec le modèle 1D pour la section transversale sont présentées au tableau 9. Cette vitesse a été majorée à l'aide d'un facteur de 1,2 pour tenir compte du champ de vitesse dans la section transversale.

Tableau 8 Paramètres de dimensionnement de l'enrochement

Paramètre	Valeur
S_f	1,2 (en tenant compte de l'effet des débris de glace)
C_s	0,375
C_v	1,0 (pour canaux droits)
C_t	1,01
γ_w	1000,0 kg/m ³
γ_s	2600,0 kg/m ³
θ	26,6 degrés
φ	40,0 degrés
K_1	0,72
g	9,81 m/s ²

¹ La méthodologie de l'USACE prévoit l'utilisation d'un facteur d'épaisseur maximal de 1.0

Les dimensions calculées pour l'enrochement sont :

$$D_{50} = D_{30} \times \left(\frac{D_{85}}{D_{15}}\right)^{1/3}$$

$$\left(\frac{D_{85}}{D_{15}}\right) = 2,0$$

Tableau 9 Résultat du dimensionnement de l'enrochement pour les options 1, 2 et hybride

Paramètres	Option 1	Option 2	Option Hybride
V_{max}	3,50 m/s	3,40 m/s	3,56 m/s
$V_{majorée}$	4,20 m/s	4,08 m/s	4,27 m/s
d	3,7	4,5	4,6
D_{50} Calculé	715 mm	640 mm	707 mm
D_{50} Retenu	700 mm	700 mm	700 mm

6.2 Enrochement et effet de la glace

Une vérification des dimensions d'enrochement sélectionnées à la section 6.1 a été effectuée afin de s'assurer que les matériaux puissent résister aux efforts exercés par le couvert de glace. La méthodologie présentée par Carter (Réf. 6) a été utilisée à cet effet. En premier lieu, l'épaisseur du couvert de glace de récurrence 1 :100 ans a été estimée avec l'équation ci-dessous :

$$h = 0,035 \propto \beta \sqrt{s} \quad (\text{Équation 3})$$

Avec :

h : L'épaisseur du couvert de glace

\propto : Facteur des conditions de transfert thermique (0,5 pour des conditions abritées, dans le canal à bas niveau, à l'opposé d'un lac ou d'un réservoir exposé aux vents)

β : Facteur de probabilité d'occurrence (1.20, pour le couvert de glace de récurrence 1 :100 ans)

s : L'indice de gel moyen annuel, de 910°C-jours pour la région de Montréal

L'épaisseur estimée du couvert de glace de récurrence 1 :100 ans est de 630 mm. Afin de résister à un brusque rehaussement du niveau d'eau dans le canal de dérivation, dû par exemple à un embâcle de la rivière des Mille-Îles, le D_{50} de l'enrochement devrait respecter le critère suivant :

$$D_{50} \geq h = 630 \text{ mm} \quad (\text{Équation 4})$$

Ce critère est respecté par les dimensions sélectionnées ($D_{50} = 700 \text{ mm}$). De plus, l'épaisseur du couvert de glace estimé à l'équation 3 est susceptible d'être exagérée, car l'équation suppose une nappe d'eau calme.

Les dimensions retenues sont considérées adéquates pour résister aux efforts de glaces.

6.3 Conception du batardeau

Tel que mentionné à la section 5.3, le batardeau est conçu pour être débordé lorsque le débit dans la rivière Mascouche dépasse 13 m³/s. En considérant une pente de 3H:1V pour le batardeau, il a été estimé que la vitesse de l'écoulement au bas de la face aval de celui-ci atteindrait environ 4,5 m/s lors du débordement.

Il est proposé de revêtir le batardeau d'un tapis composé de blocs de béton articulés. L'utilisation d'un tapis de marque Cable Concrete® est suggérée. Le système CC-35, composé de blocs de 4"1/2 à 5" d'épaisseur, serait adéquat pour une vitesse d'écoulement de 4,5 m/s.

7 Vérification de la capacité hydraulique du canal en condition de projet et comparaison avec la capacité existante

Les crues de récurrence 2, 20 et 100 ans sur la rivière Mascouche ont été modélisées pour les conditions existantes et pour les conditions projetées. Il a été considéré que la totalité de ce débit transite par le canal de dérivation (débit nul dans le bras mort). Le niveau d'eau de la rivière des Mille-Îles à la sortie du canal de dérivation pour des débits équivalents à des périodes de retour de 2, 5 et 20 ans a servi de conditions aval. Le scénario de crue d'été-automne de récurrence 1 :100 ans majoré en fonction des changements climatiques, présenté à la section 6, a aussi été étudié. Les niveaux d'eau directement en amont du canal de dérivation (à l'endroit du bras mort) et à 1 300 m en amont de son embouchure sont présentés dans au tableau 10. Les profils de la ligne d'eau modélisée sont présentés aux figures 13 et 14 pour les crues de récurrences 1 :100 ans.

Le niveau d'eau maximal obtenu pour la crue 1 :100 ans dans le canal de dérivation est de 9,78 m, 9,62 m et 9,72 m selon l'option étudiée. En considérant un niveau supérieur de la protection des berges de 10,50 m d'élévation, la revanche dans le canal de dérivation sera suffisante pour assurer le passage de la crue 1 :100 ans. Des niveaux légèrement plus élevés sont obtenus pour la crue 1 :100 ans d'été-automne majorée, soit 9,91 m, 9,54 m et 9,75 m. Les revanches par rapport au niveau de la protection des berges sont aussi suffisantes pour ce scénario.

L'augmentation de niveau d'eau en amont du canal de dérivation et 1 300 m en amont de l'embouchure causée par la modification de la géométrie du canal est plus sévère lorsque les niveaux d'eau dans la rivière des Mille-Îles sont bas. En général, l'option 2 (TBC) cause le rehaussement le plus limité des niveaux d'eau.

Tableau 10 Résultats de simulations niveau d'eau en amont du canal de dérivation et 1 300 m en amont de l'embouchure

		Période de retour (années)			
		2	20	100	100 (été-automne majorée)
Débit (rivière Mascouche) (m ³ /s)		121,0	179,9	216,5	244,5
Scénario dans la rivière des Mille-Îles		1:2 ans	1:5 ans	1:20 ans	1:20 ans été-automne majorée
Niveau aval du canal de dérivation (m)		7,80	8,60	9,35	8,60
Niveau d'eau en amont du canal de dérivation (m)	Existant	7,86	8,65	9,39	8,71
	Option 1 - enrochement	8,87	9,37	9,78	9,91
	Différence	+1,01	+0,72	+0,39	+1,20
	Option 2 - TBC	8,46	8,99	9,62	9,54
	Différence	+0,60	+0,34	+0,23	+0,83
	Option Hybride	8,71	9,18	9,72	9,75
	Différence	+0,85	+0,53	+0,33	+1,04
Niveau d'eau 1 300 m amont de l'embouchure (m)	Existant	8,69	9,50	10,09	9,98
	Option 1 - enrochement	9,25	9,88	10,32	10,53
	Différence	+0,56	+0,38	+0,23	+0,55
	Option 2 - TBC	8,98	9,66	10,22	10,31
	Différence	+0,29	+0,16	+0,13	+0,33
	Option Hybride	9,13	9,77	10,28	10,43
	Différence	+0,44	+0,27	+0,19	+0,45

Figure 13 Profils longitudinaux du canal de dérivation et de la rivière Mascouche pour un débit de 1 :100 ans et un niveau d'eau dans la rivière des Mille-Îles de 1 :20 ans

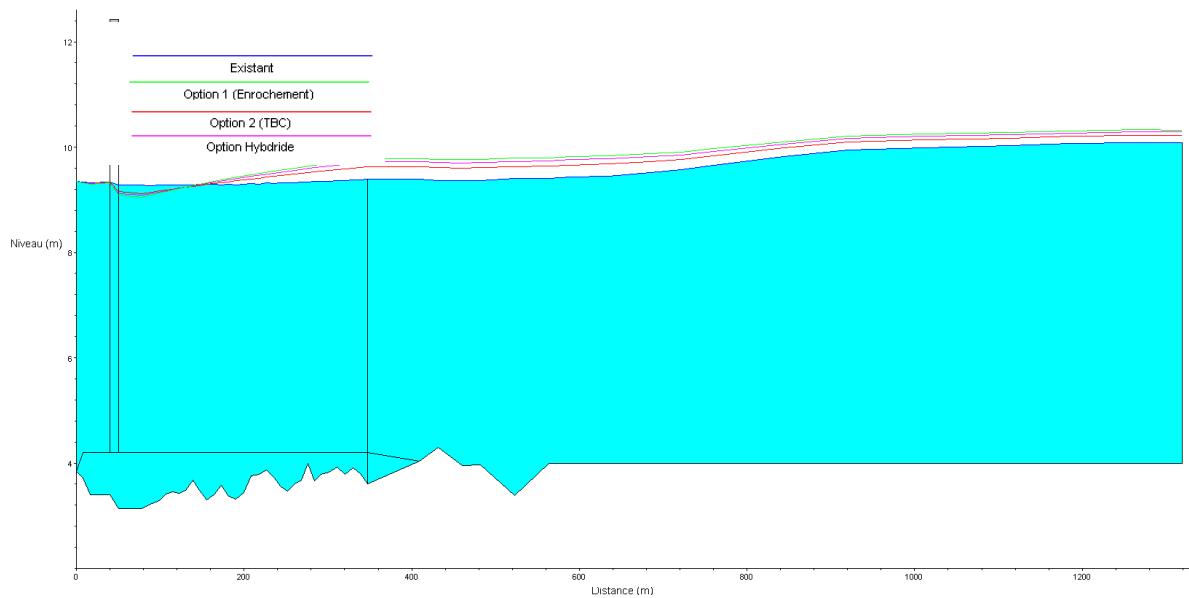
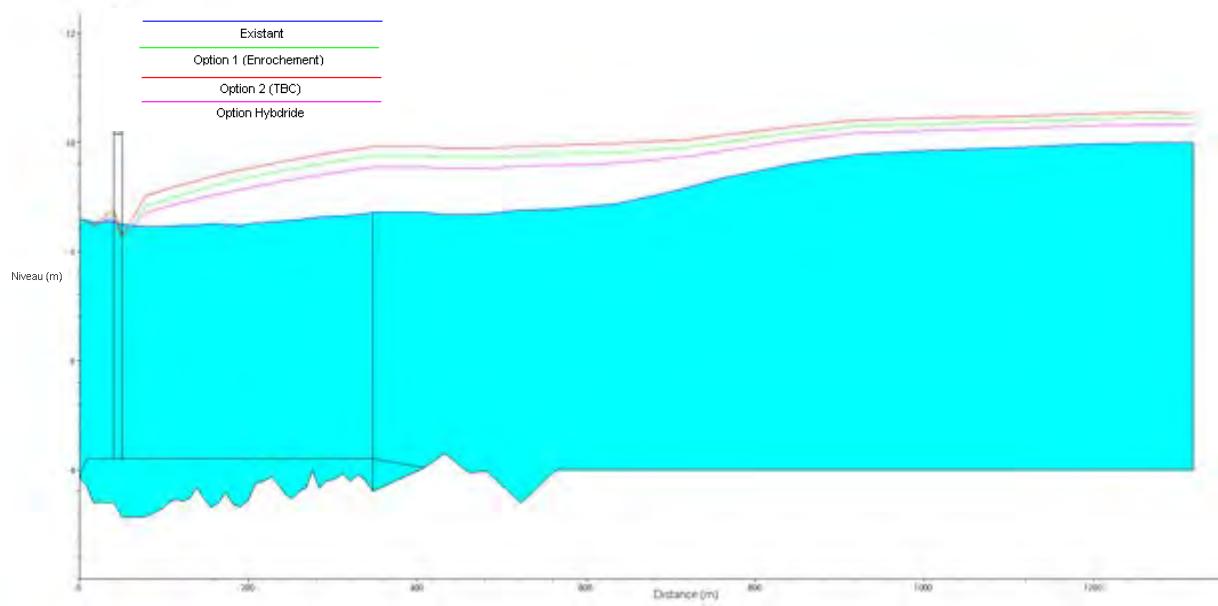




Figure 14 Profils longitudinaux du canal de dérivation et de la rivière Mascouche pour un débit de 1 :100 ans d'été-automne majoré et un niveau d'eau dans la rivière des Mille-Îles de 1 :20 ans d'été-automne majoré



8 RÉFÉRENCES

- Réf. 1 Centre d'Expertise hydrique du Québec – CEHQ (2015). Étude hydraulique sur l'émissaire naturel de la rivière Mascouche. Rapport final.
- Réf. 2 Centre d'Expertise hydrique du Québec – CEHQ (2005). Révision des cotes de crues. Rivière des Mille-Îles. CEHQ 13-001. Avril 2005.
- Réf. 3 Consortium Aqua Terra – (2007). Hydrologie de la rivière des Mille-Îles - Relevés en période d'étiage – Rapport de mission. Décembre 2007.
- Réf. 4 United States Army Corps of Engineers – USACE (1994). Hydraulic Design of Flood Control Channels. Engineer Manual – EM 1110-2-1601. 1 July 1991 / 30 June 1994.
- Réf. 5 Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques – Expertise hydrique et barrages (2018). Atlas Climatique du Québec Méridional.
- Réf. 6 Carter, Donald (2003). Guide pratique pour le calcul des forces exercées par la glace – Rapport d'étude préparé pour Hydro-Québec, Direction Ingénierie Hydraulique et Géotechnique. Décembre 2003.



360, rue Saint-Jacques Ouest, 16^e étage
Montréal (Québec) H2Y 1P5
514-393-1000 - 514-392-4758
www.snclavalin.com

