



MINISTÈRE DES TRANSPORTS



PROJET DE RECONSTRUCTION DU PONT DE L'ÎLE-D'ORLÉANS ENTRE QUÉBEC ET L'ÎLE-D'ORLÉANS 3211-02-302

Réponse à la demande d'engagements et d'informations
complémentaires du MELCC

2022-01-18

TABLE DES MATIÈRES

TABLE DES MATIÈRES	1
INTRODUCTION	2
QUESTIONS SOUMISES	3
Zone agricole	3
Milieux humides et hydriques.....	3
Remise en état.....	14
Habitat du poisson	20
Suivis	22
Mesures d'atténuation.....	24
Drainage des eaux pluviales	25
Aire de travail /chantier	27
Hydraulique.....	29
Mulettes	36
Oiseaux migrateurs.....	38
Espèces floristiques menacées ou vulnérables et susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables	39
Espèces en péril	41
Mobilité durable	42
Impacts sonores	47
GES	48
Documents cités dans l'étude d'impact à transmettre	49
Commentaires	50
ANNEXES	52

INTRODUCTION

Le présent document comprend les réponses à la demande d'engagements et d'informations complémentaires transmise au Ministère des Transports du Québec (MTQ) le 13 décembre 2021 par le Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (PÉEIE) du Projet de reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans entre Québec et l'Île-d'Orléans. Les 39 questions adressées dans la demande d'informations complémentaires sont reprises ci-après. Une copie intégrale de ce document est jointe en annexe.

Il est important de prendre en considération l'avancement actuel du projet, son cheminement et son contexte. Le projet comprend plusieurs volets, dont la construction du pont en mode conception-construction (C-C) et la déconstruction du pont existant, dont le mode de réalisation sera déterminé ultérieurement, qui seront réalisés de manière successive et distinctes. Ces volets en sont à l'étape de la conception préliminaire et c'est ce niveau de conception qui a été utilisée pour réaliser l'analyse des impacts sur l'environnement. Plusieurs éléments précis de conception seront donc raffinés dans les prochaines étapes du projet et seront abordés dans le cadre des demandes d'autorisation prévues avant le début des travaux de construction ou de déconstruction. Entre autres, les méthodes de travail finales seront établies par les entrepreneurs responsables des travaux dans les phases subséquentes du projet.

QUESTIONS SOUMISES

Zone agricole

QC-1 Une décision de la Commission de protection du territoire agricole (CPTAQ) pourrait être requise dans le cadre du projet puisque, d'après les informations fournies dans l'étude d'impact, le projet nécessiterait l'acquisition permanente d'une parcelle située en zone agricole. L'initiateur doit confirmer si des démarches ont été entamées auprès de la CPTAQ, ou expliquer pourquoi ce n'est pas requis. Rappelons que la décision de la CPTAQ est nécessaire avant que le gouvernement puisse prendre sa décision quant à la réalisation du projet conformément à l'article 97 de la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles (chapitre P-41.1). À noter qu'un délai de 30 jours suivant la décision de la CPTAQ est prévu durant lequel cette dernière pourrait être contestée. Le gouvernement pourra se prononcer uniquement à la suite de cette période.

RQC-1 La demande d'autorisation pour l'acquisition des lots nécessaires à la réalisation du projet a été déposée à la CPTAQ. Le MTQ a reçu la recommandation préliminaire de la CPTAQ qui démontre que les acquisitions sur le territoire agricole seront autorisées. Le MTQ est en attente de l'autorisation finale officielle, laquelle sera transmise au MELCC en vue de la délivrance du décret environnemental.

Milieux humides et hydriques

QC-2 La caractérisation des milieux humides fournie dans l'étude d'impact est incomplète, notamment en ce qui concerne la caractérisation des sols permettant d'identifier la présence de sols hydromorphes. Ceci peut avoir une influence sur la délimitation des milieux humides et sur la classification des stations d'inventaire en milieu terrestre. Ainsi, afin de répondre aux exigences de l'article 46.0.3 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2) (LQE), l'initiateur doit s'engager à compléter la caractérisation des milieux humides conformément aux recommandations du guide d'identification et de délimitation des milieux humides du Québec méridional (2015) et à la déposer dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE.

RQC-2 Lors des inventaires réalisés en milieux humides en 2018, la méthode de Bazoge (2015) a été appliquée. Selon ce guide, lorsque la végétation est dominée par des hydrophytes, le milieu est automatiquement considéré comme un milieu humide. Le diagnostic pédologique était alors surtout utilisé lorsqu'une divergence des indicateurs hydrologiques était observée, par exemple en présence de milieux humides récents ou perturbés. Dans les milieux terrestres, il n'est pas anticipé que l'analyse des sols modifiera le diagnostic, car la végétation de ces milieux n'est pas dominée par des espèces hydrophytes. De plus, ces milieux ne correspondent pas à des sites ayant subi des perturbations apparentes et réversibles.

Toutefois, le MTQ comprend que depuis l'entrée en vigueur du règlement sur la compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques (après la réalisation des inventaires en 2018), l'analyse des sols est maintenant réalisée systématiquement afin d'évaluer l'état initial des milieux humides.

Le MTQ s'engage à compléter la caractérisation des milieux humides conformément aux recommandations du guide d'identification et de délimitation des milieux humides du Québec méridional (2015) et à la déposer dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE.

QC-3 À la carte 7 de l'annexe D (étude du milieu récepteur), l'identification de la bande riveraine de 10 m n'apparaît pas pour une partie de la ligne des hautes eaux (LHE) identifiée près de l'approche du pont actuel du côté de l'Île-d'Orléans. L'initiateur doit corriger cette information et fournir une nouvelle version de la carte, ainsi qu'une mise à jour de toutes les superficies de milieux humides et hydriques (littoral, rives et plaines inondables) affectées de façon permanente ou temporaire par le projet, le cas échéant.

RQC-3 Il s'agit d'une erreur, cette ligne de LHE a été retirée. La LHE a été corrigée sur les cartes fournies à la RQC-6C (annexe 1).

QC-4 En lien avec la section 2.1.2.1 qui concerne la géométrie routière, l'initiateur doit expliquer quelles sont les alternatives analysées pour éviter et sinon minimiser les empiétements des nouvelles bretelles de l'autoroute 40 dans le littoral du fleuve Saint-Laurent et sa rive. Il doit justifier le choix retenu.

RQC-4 La conception préliminaire présentée dans l'étude d'impact pourrait être légèrement modifiée en cours de conception finale, mais celle-ci devra respecter les grandes orientations présentées dans la conception préliminaire (via les exigences techniques du contrat C-C).

Le raccordement nord à l'endroit des travaux est enclavé entre l'étang de la Côte, l'étang du Moulin et le fleuve Saint-Laurent. Plusieurs cours d'eau et rivière bordent ou sillonnent ce milieu, soit la rivière Montmorency à l'est, le ruisseau et la Chute de la Dame Blanche ainsi que le ruisseau et l'exutoire de l'étang du Moulin (figure 1). La carte 5-1A de l'annexe A de l'étude d'impact présente les empiétements prévus.



Figure 1 : Vue de l'approche nord

Les exigences initiales du MTQ spécifiaient quatre modèles d'aménagement de l'échangeur nord, soit l'échangeur trèfle partiel comme l'existant, l'échangeur losange, l'échangeur losange inversé et l'échangeur losange avec giratoire, tel que présenté à la figure 2.

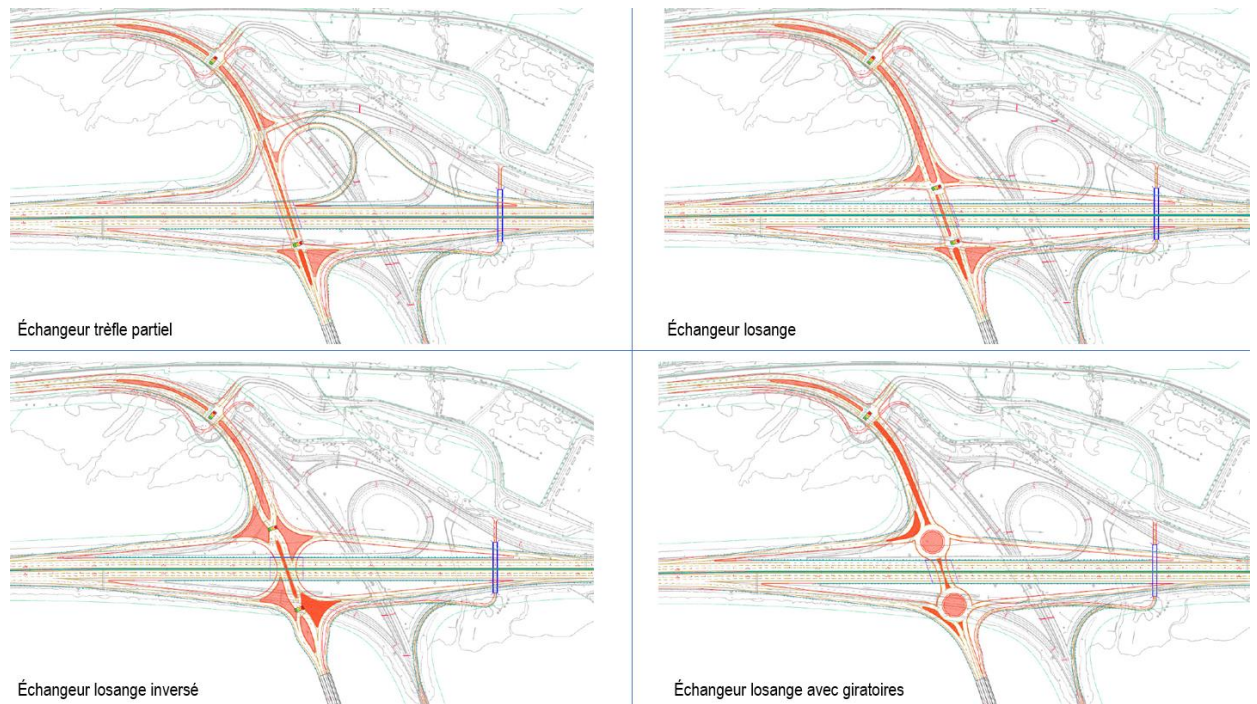


Figure 2 : Configuration d'échangeurs étudiés

Pour la sélection et choix de l'échangeur, les concepteurs ont réalisé une analyse multicritère spécifique sur la base de plusieurs critères et exigences à respecter. Ceux-ci étaient basés sur les grands enjeux suivants : l'intégration dans le milieu, la sécurité et géométrie routière, la mobilité et fluidité, le budget, l'échéancier et l'environnement incluant l'impact dans son milieu et la minimisation des empiètements en milieux hydrique et humide. De ces quatre modèles d'aménagement, l'échangeur losange est sans contredit l'échangeur le plus compact et qui offrait le moins d'impact dans le milieu récepteur et en particulier, moins d'empiètement en milieu naturel. Pour ces raisons et d'autres, touchant les autres familles d'enjeu, le choix de l'échangeur losange a été retenu.

Une fois le type d'échangeur retenu, les concepteurs se devaient d'éviter et minimiser l'impact et l'empreinte de cet échangeur dans son milieu récepteur. La conception vise par tous les moyens de limiter ces empiètements dans l'étang de la Côte ainsi que dans le fleuve Saint-Laurent. Pour ce faire, des optimisations ont été réalisées au niveau de l'échangeur, par exemple le rapprochement maximal des bretelles de l'axe de l'autoroute 40, la mise en œuvre de mur de soutènement entre l'autoroute 40 et les bretelles A et B pour diminuer la largeur des talus routiers latéraux et ainsi l'empiètement dans l'Étang de la Côte et le fleuve (exemple à la figure 3), l'élimination du couloir de virage à droite avec îlot déviateur en direction sud de la route 138 vers l'autoroute 40 Ouest, l'optimisation du profil en long de l'autoroute 40 pour limiter le rehaussement et la mise en œuvre de l'approche nord du pont principal à l'aide de murs de soutènement et empiètement réduit. Ces différentes optimisations ont permis de réduire au maximum les empiètements sur le Fleuve et l'étang de la Côte dans le respect des exigences de conception pour assurer la sécurité des usagers.



Figure 3: Mur de la bretelle B à l'approche nord vers le pont

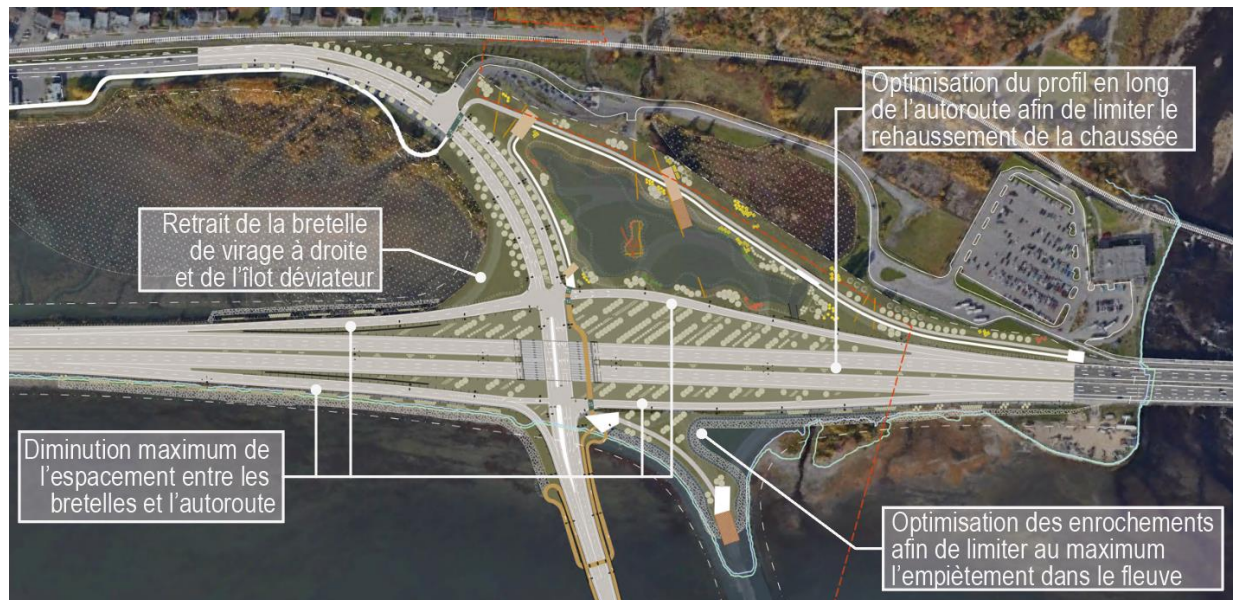


Figure 4 : Optimisation du concept en phase de conception

Les élévations des chaussées des bretelles B et C bordant le fleuve Saint-Laurent et des empièvements du remblai d'approche ont dû être revus à la hausse en cours de conception pour répondre à leur exposition aux aléas côtiers, comme les vagues et les glaces qui peuvent poser des risques aux utilisateurs. L'élévation des bretelles a été déterminée en évaluant la remontée des vagues, ainsi que celle des embruns sur la chaussée. L'élévation des empièvements prend également en compte les niveaux d'eau atteints en considérant les changements climatiques (remontée des eaux) et à la présence de glaces dans le fleuve.

Les élévations envisagées pour la chaussée et l'empierrement de protection ont été optimisées de sorte à assurer un niveau de service acceptable et à garantir la sécurité des usagers, mais en minimisant leur empiètement sur le Fleuve. La prise en compte des changements climatiques entraîne une augmentation des remblais, ce qui augmente par le fait même l'empiètement en milieu hydrique. Tout a été mis en œuvre pour limiter au maximum les empiètements : la pente des empierrements a été maximisée, la longueur de la crête des enrochements a été minimisée au maximum et la clé de l'enrochement a été enfouie ce qui permet de réduire l'empiètement requis pour assurer la protection des ouvrages.

QC-5 Aspect hydraulique: À la section 2.1.2.2 (p. 56), il est prévu que l'aire de services aménagée du côté de l'île d'Orléans et qui servira de zone de chantier soit aménagée en remblai à la limite du milieu humide MH2. Bien que l'initiateur indique avoir minimisé les empiètements, le milieu humide se trouvera complètement enclavé entre l'aire de service, la route 368, la nouvelle route d'accès au pont et l'aire de stationnement, sans connectivité aux milieux naturels et agricoles adjacents. La proximité de ces structures routières pourrait favoriser la dégradation du milieu humide par la présence de structures drainantes, l'apport de neiges usées et d'eau de ruissellement. L'intégration au paysage (p. 84) ne constitue pas un argument suffisant pour justifier la configuration de l'aire de service telle que présentée dans l'étude d'impact.

L'initiateur doit proposer des modifications à sa conception et expliquer son application de la séquence d'éviter-minimiser-compenser. S'il peut justifier qu'il s'agit de la conception optimale, soit de moindre impact sur le MH2, il doit démontrer de quelle façon il assurera le maintien de l'intégrité du milieu humide.

RQC-5 La connectivité de ce milieu humide sera assurée par les apports naturels d'eau de la pente du talus (falaise du côté sud) et les ponceaux de drainage prévus du côté sud-ouest de la nouvelle approche (voir figure 5; ponceaux 23+580 et 23+740) afin de ne pas retirer les apports actuels d'eau provenant de ce secteur. D'autre part, des ponceaux en aval du milieu humide vont permettre d'évacuer le surplus d'eau afin d'éviter que l'eau ne s'y accumule et y stagne. Les cotes d'élévation des radiers de ces ponceaux seront ajustées en conséquence tout en maintenant fonctionnel ce milieu humide.

Le morcellement de l'aire de services en deux sections répond à un important enjeu d'intégration dans le site patrimonial de l'île d'Orléans considérant qu'elle doit être implantée dans un milieu très ouvert et plat constituant la porte d'entrée à ce territoire emblématique. Il est prévu que l'aire de services ne constitue pas une surface imperméable (matériaux et méthode à définir) de sorte que le ruissellement de celui-ci vers le MH-2 résiduel sera très limité. De plus, la plantation de végétaux en 3 strates autour du milieu humide permettra de l'isoler des infrastructures routières et de l'aire de services tout en constituant une barrière naturelle aux sédiments et aux embruns.

Il est à noter que la valeur de ce milieu humide a été évaluée de faible qualité, notamment en raison de la présence d'espèces exotiques envahissantes et qu'il s'agit d'une ancienne terre agricole. Ce milieu humide est également déjà perturbé par le ruissellement de la route existante au nord.

L'entièreté du milieu humide MH3 est considérée en perte puisque ce complexe de milieux humides sera fortement morcelé par la nouvelle route 368, malgré le fait que certaines superficies pourraient en réalité se maintenir en périphérie. À l'opposé, il est considéré que le MH2 se maintiendra puisque l'essentiel de sa superficie sera épargné, sauf sur sa section périphérique sud, et que son bilan hydrique sera préservé.

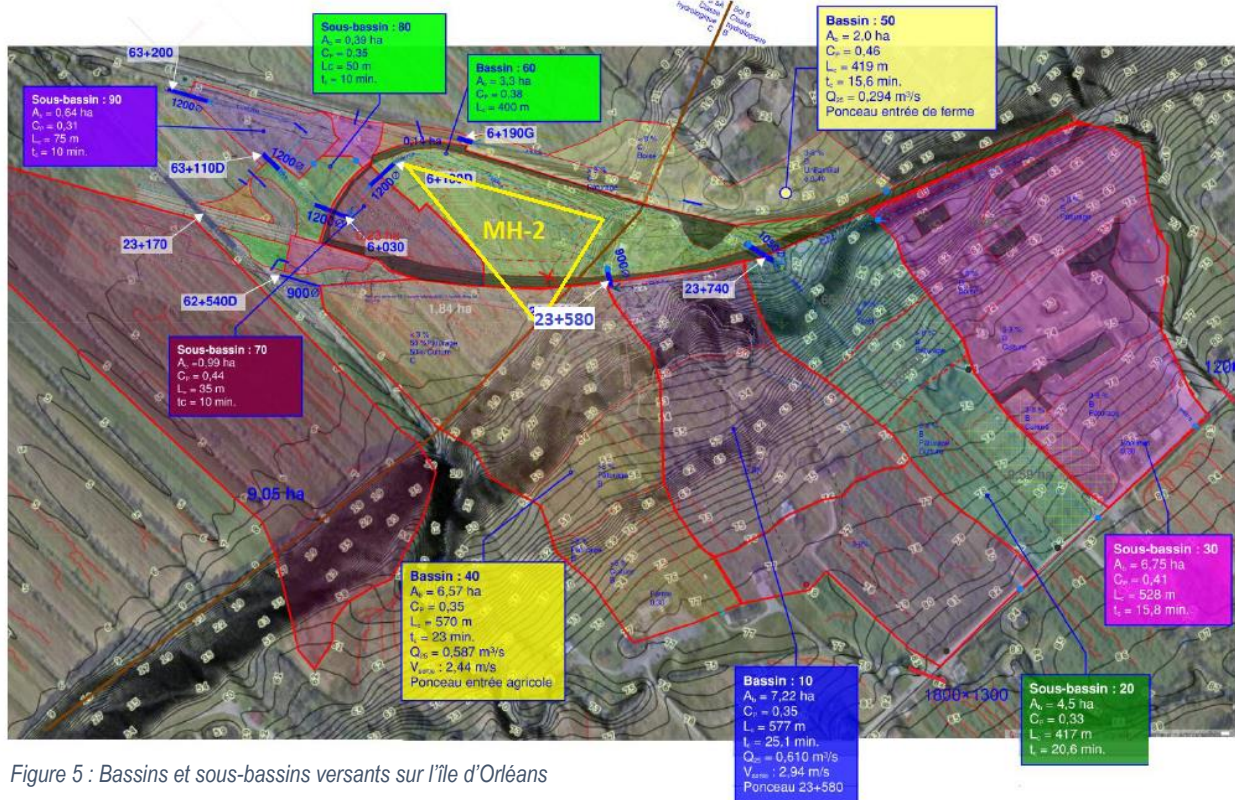


Figure 5 : Bassins et sous-bassins versants sur l'île d'Orléans

QC-6 Les superficies de milieux humides et hydriques affectées de façon temporaire et permanente par le projet ne sont pas clairement indiquées dans l'étude d'impact. En effet, il est difficile de faire correspondre les superficies associées aux différentes activités du projet dans les tableaux et le texte. Par exemple, les activités des tableaux 55 et 56 ne sont pas regroupées de la même façon, ce qui rend difficile la comparaison des superficies indiquées. De plus, les superficies associées aux structures du pont actuel qui seront laissées en place ne sont pas indiquées.

A. L'initiateur doit s'engager à utiliser les cotes d'inondation déterminées par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) en 1986 et intégrées au schéma d'aménagement et de développement (SAD) de la MRC de L'Île-d'Orléans et au règlement de zonage de la Municipalité de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans depuis plusieurs années pour établir les empiétements permanents et temporaires dans les milieux humides et hydriques. Ces cotes sont établies à 5,02 pour la cote de récurrence de 20 ans et à 5,19 m pour la cote de récurrence de 100 ans.

RQC-6A Le MTQ s'engage à utiliser les cotes intégrées au SAD de la MRC de L'Île-d'Orléans et au règlement de zonage de la Municipalité de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans pour le calcul des empiétements permanents et temporaires dans les milieux humides et hydriques au dépôt des demandes d'autorisation, pour ces milieux. En complément à cette réponse, vous pouvez consulter la réponse RQC-7.

À titre informatif, les cotes 20 ans et 100 ans présentées dans les documents initiaux étaient les cotes de conception du MTQ, calculées avec les données de 1979 à 2020 et donc plus contemporaines que celles incluses dans le SAD (1986). Ce sont ces données qui sont et seront utilisées pour la conception des

ouvrages plutôt que celle du SAD. Il importe aussi de noter que les cotes légales de 1986 sont présentement en révision.

- B.** L'initiateur doit déposer un tableau synthèse, lequel doit regrouper les superficies associées à toutes les activités qui ont des impacts sur les milieux humides et hydriques, et ce, pour chaque type de milieu défini à l'article 46.0.2 de la LQE (littoral, rive, plaines inondables et milieux humides isolés) et pour toutes les phases du projet (construction, déconstruction, exploitation). Ce tableau devra également inclure les superficies associées aux différentes structures qui seront retirées.

RQC-6B Le tableau demandé est présenté à l'annexe 1. En complément, vous pouvez consulter la réponse RQC-7.

- C.** L'initiateur doit également déposer une carte présentant une échelle adéquate illustrant tous les empiètements prévus dans les milieux humides et hydriques. Les figures qui illustrent notamment les aires de chantier, les aires de déboisement et les jetées temporaires doivent inclure les éléments de la description du milieu naturel à une échelle qui permet d'identifier de façon claire et sans ambiguïté.

RQC-6C Les empiètements permanents et temporaires ont été illustrés séparément dans les cartes 5.1.1 et 5.2.2 respectivement pour aider à la compréhension (voir annexe 1).

Pour alléger ces cartes, les milieux humides MH-1, MH-4 et MH-5 ont été retirés étant donné qu'ils sont situés sous la LHE et que les empiètements dans ces milieux sont comptabilisés dans le littoral. Les herbiers, bien qu'également situés dans le littoral, ont été conservés, étant donné que dans le tableau fourni à la réponse de QC-6B ils sont inclus dans la zone intertidale (avec herbier).

- QC-7** L'initiateur doit fournir les superficies de milieux humides et hydriques maximales en littoral et en rive qui pourraient être affectées de façon permanente dans le cadre du projet. Cette information est requise pour compléter l'analyse environnementale du projet. En effet, dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement, le gouvernement détermine si une contribution financière est exigible en vertu de l'article 46.0.11 de la LQE et si le paiement peut être remplacé en tout ou en partie, par l'exécution de travaux visant la création ou la restauration de milieux humides et hydriques. À la section 7 de l'étude d'impact, l'initiateur présente son programme de compensation préliminaire et affirme qu'il devra compenser certaines pertes par une contribution financière (p. 426). L'initiateur pourrait être tenu de compenser financièrement pour l'ensemble des pertes de milieux humides et hydriques occasionnées par son projet, lesquelles seront validées lors des demandes d'autorisation qui seront déposées en vertu de l'article 22 de la LQE.

RQC-7 Les superficies d'empiètement permanents et temporaires dans la plaine inondable ont été calculées à partir des cotes de l'étude hydraulique du MTQ (2021a). Afin d'inclure les empiètements entre ces cotes et celles du MELCC (1986), le MTQ désire appliquer une contingence sur les empiètements (temporaires et permanents confondus) du projet dans la plaine inondable de 4200 m². Cette superficie correspond à la zone entre la cote 100 ans du MTQ (5,11 m) et celle du MELCC (5,19 m) dans le secteur du projet (entre les limites extérieures de l'approche actuelle et la nouvelle approche, du côté de l'île d'Orléans) tel qu'illustré à la figure 6. Les empiètements temporaires et permanents seront calculés selon les côtes du MELCC lors des demandes d'autorisation.

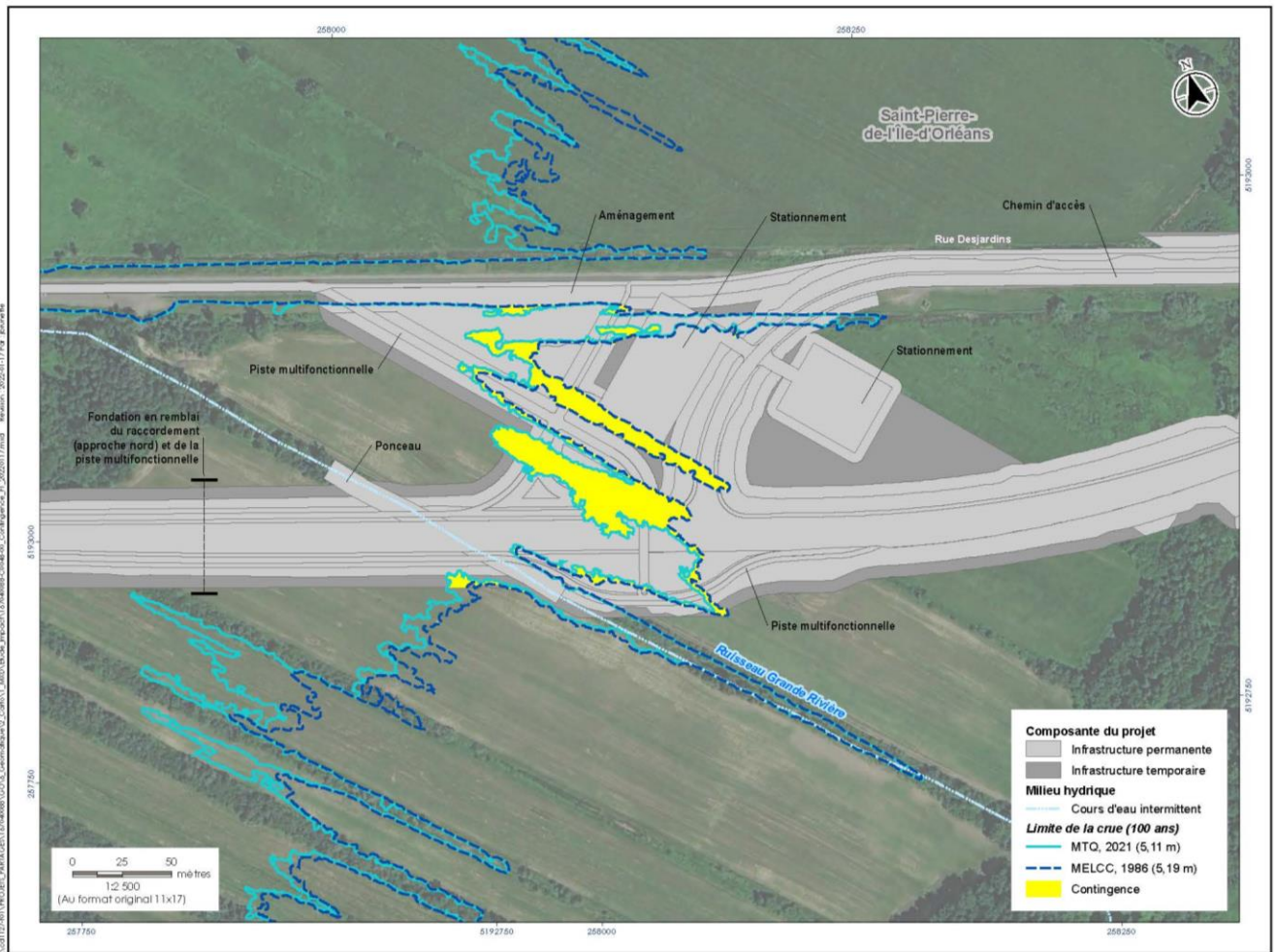


Figure 6 Contingence des empiètements dans la plaine inondable

Compte tenu l'avancement actuel de la conception, le MTQ désire demander la prise en compte d'une contingence de 15% des empiètements prévu actuellement dans le cadre du projet pour couvrir les imprévus. Bien que la volonté du MTQ soit de poursuivre l'application de la séquence éviter-minimiser-compenser dans la suite de la conception, cette marge de manœuvre permettra de palier aux différents imprévus qui pourraient survenir durant la réalisation des travaux.

- A. L'initiateur doit ainsi s'engager à déposer, lors de chaque demande d'autorisation, le bilan final des pertes réelles liées à l'activité faisant l'objet de la demande et comportant des travaux en milieux humides et hydriques, et ce, selon les plans et devis qui seront fournis à ce moment.

RQC-7A Les empiètements maximaux présentés en introduction de la réponse RCQ-7 constituent un maximum visé auquel il serait pertinent d'ajouter une légère contingence pour pallier les ajustements qui pourraient survenir en cours de conception. Comme présenté à l'étude d'impact (sections 5.1 et 6.1), des actions permettant d'éviter des empiètements, ou de les minimiser, lorsqu'inévitables, ont été prises. Ainsi, le nouveau pont verra son nombre de piles et de pylônes réduit au minimum, évitant ainsi une partie des empiètements en milieux hydriques. Des efforts ont également été mis de l'avant pour réduire l'empreinte des travaux routiers

prévus sur la rive nord (voir la réponse RCQ-4), et donc réduire l'empiètement au maximum. Plusieurs mesures d'atténuation sont aussi prévues et résumées aux tableaux 5-6 et 6-5 de l'étude d'impact.

La conception préliminaire présentée dans l'étude d'impact est un projet possible, mais n'est pas nécessairement la conception qui sera retenue par l'entrepreneur. Ce dernier développera sa propre conception détaillée, tout en respectant les exigences techniques du contrat C-C, lesquelles poursuivent l'objectif d'éviter au maximum les empiètements notamment en milieux humides et hydriques.

Afin d'assurer un bilan d'aucune perte nette réelle, le MTQ s'engage à déposer, lors de chaque demande d'autorisation pour des travaux réalisés en milieux humides et hydriques, le bilan final des pertes réelles liées à l'activité faisant l'objet de la demande.

- B.** L'initiateur doit prévoir et informer le MELCC dès maintenant de ses intentions de compensation pour chacun des milieux humides et hydriques, que ce soit par compensation financière ou par la réalisation de travaux.

RQC-7B Le tableau suivant présente la synthèse de la compensation visée par le retrait de structures anthropiques directement dans le projet.

Tableau 1: Bilan des superficies des structures anthropiques retirées directement dans le projet

		Habitat du poisson	Littoral*	Rive	Plaine inondable	Milieux humides terrestres
Nouveau pont	Excavation du nouvel étang du quadrant N-E	9 832	12 132	6 468	0	0
Déconstruction du pont existant	Fondations des piles 2 à 38	3 762	3 762	0	0	0
	Déconstruction des jetées en remblais derrière les culées 1 et 39	10 446	10 990	0	0	0
Total (m²)		24 040	26 884	6 468	0	0

* inclut les superficies dans l'habitat du poisson

Entre 2010 et 2012, le MTQ a restauré, dans la baie de Beauport, 2,2 hectares de marais de même nature qui avaient été détruits par un remblai dans les années 70. Ce site, une halte routière abandonnée et traversée par le ruisseau du Moulin canalisé à l'intérieur d'un ponceau de plusieurs centaines de mètres de longueur, a été excavé afin de redonner la topographie d'origine du fleuve à cet endroit et y restaurer un marais intertidal. Le ruisseau s'écoule au centre de l'aménagement et des talus stabilisés à l'aide de techniques mixtes (enrochement et génie végétal) le bordent en périphérie du marais. La valeur de l'habitat de réserve à ce jour disponible pour compenser un éventuel dommage sérieux aux poissons équivaut à 12 390 m² d'habitats fréquemment disponibles aux poissons situés au-dessous du niveau de la pleine mer supérieure de marée moyenne (PMSMM) et à 3 200 m² d'habitat occasionnellement utilisable pour le poisson (au-dessus de la PMSMM). Il s'agit d'un marais dominé par le scirpe piquant, la sagittaire à larges feuilles et l'eupatoire maculée. Il correspond aux milieux humides littoraux bordant le pont de l'Île-d'Orléans. Le ministère des Pêches et des Océans du Canada a par ailleurs souligné la qualité de ce projet de restauration dans sa lettre adressée au MTQ le 21 décembre 2017. La restauration de ces milieux par le MTQ a accru leur superficie dans la région et a été spécifiquement créée pour compenser des pertes éventuelles d'habitats du poisson et de milieux hydriques ou humides équivalents. Les superficies de gains de cet habitat de réserve, appelé « Marais de la Baie de Beauport – ruisseau du Moulin », pourront conséquemment être utilisées pour compenser de façon complémentaire les pertes inévitables de littoral et de rive inhérentes au projet de construction du PIO.



Figure 7 : Localisation du marais

Enfin, le MTQ s'engage à compenser financièrement les pertes résiduelles qui ne seraient pas compensées par les travaux en nature réalisés dans le cadre d'un projet de compensation approuvé par les autorités (MELCC, MFFP et MPO).

Remise en état

QC-8 Afin d'assurer une remise en état des lieux à la suite du retrait des structures temporaires, ainsi que des piles et des approches de l'ancien pont, et ce, en fonction des types d'habitats présents actuellement, l'initiateur doit s'engager à déposer les états de références détaillés de chacun des secteurs dans le cadre de la première demande d'autorisation visant des travaux dans ces secteurs.

RQC-8 Le MTQ s'engage à déposer les états de références comme indiqué dans le programme préliminaire de suivi environnemental des effets hydro-sédimentaires sur l'habitat du poisson et les herbiers aquatiques en deux temps, soit lors de la première demande d'autorisation visant la construction et ensuite lors de la première demande d'autorisation visant la déconstruction. En effet, comme indiqué en introduction du présent document, la construction et la déconstruction sont gérées comme deux phases distinctes du projet exécutées l'une après l'autre.

En ce qui concerne les rives, les plaines inondables et le littoral entre la LHE et la PMSMM le MTQ s'engage à fournir l'état de référence dont la caractérisation n'a pas été présentée à l'étude d'impact dans le cadre de la première demande d'autorisation visant des travaux dans ces secteurs.

QC-9 L'initiateur prévoit épandre une couche de gravier de 1 m d'épaisseur sous les couches structurales des jetées et prévoit laisser en place du gravier lors du démantèlement des jetées temporaires. Toutefois, afin de considérer une remise en état acceptable, celle-ci doit se rapprocher de l'état de référence initial. Ainsi, le matériel exogène devrait être retiré jusqu'au substrat naturel.

A. L'initiateur doit s'engager en ce sens ou évaluer d'autres méthodes de remise en état des secteurs affectés par les jetées temporaires, telle que la mise en place de matelas ou membrane de protection sur le lit du fleuve. L'initiateur doit confirmer dès maintenant ses intentions. Si l'option de proposer d'autres méthodes de remise en état est retenue, l'initiateur doit s'engager à déposer des précisions quant à celles-ci lors du dépôt des demandes d'autorisations visant ces activités.

RQC-9A La méthode proposée dans l'étude d'impact suppose l'utilisation d'une machinerie sans outil de positionnement de grande précision et ne serait requise qu'à l'extrémité distale des jetées. Advenant que l'entrepreneur dispose de tels outils, il serait possible d'effectuer le retrait des matériaux (pierres et autres granulats) enfoncés dans le substrat du lit du fleuve Saint-Laurent avec une précision nettement plus grande et la couche de gravier ne serait alors pas utile.

Dans les deux cas, afin de s'assurer qu'aucun matériau qui ne modifie de façon permanente le lit du fleuve, le MTQ exigera que l'entrepreneur retire les matériaux de la jetée d'un minimum de 300 mm sous la surface du lit du fleuve afin que les matériaux naturels de sédimentation du fleuve viennent recouvrir les matériaux de la jetée qui auraient pu être laissés en place.

La mise en place de matelas ou de membranes de protection sur le lit du fleuve ne sont pas des méthodes applicables, compte tenu notamment des profondeurs d'eau variables, des courants, du poids et du calibre des matériaux constituant les jetées. Aussi, il n'est pas souhaitable d'imposer une configuration trop précise des ouvrages temporaires, et ce afin d'éviter que la réalisation du projet ne soit trop limitative, engendrant une diminution potentielle de la concurrence lors du processus d'approvisionnement ou des enjeux de faisabilité. Cela dit, le MTQ est conscient des impacts possibles du démantèlement des jetées temporaires

sur le milieu et cherchera à recréer le milieu naturel potentiellement affecté, dans la mesure des contraintes techniques rencontrées.

QC-10 À la section 2.1.3.3, il est indiqué qu'il est possible que le dragage des sédiments qui se seront accumulés de chaque côté des jetées soit nécessaire. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à déposer au MELCC les résultats du suivi des effets hydro-sédimentaires réalisés ainsi que son programme de remise en état lors de la demande d'autorisation visant les travaux de remise en état. Ces travaux devront être approuvés par le MELCC.

RQC-10 Le MTQ s'engage à déposer au MELCC les résultats du suivi des effets hydro-sédimentaires annuellement comme indiqué au programme préliminaire de suivi à la section 9.2.2 de l'étude d'impact. La remise en état des lieux s'effectuera en deux temps, soit après le retrait des ouvrages temporaires de la construction du nouveau pont et dans un deuxième temps après la déconstruction du pont actuel. Les programmes de remise en état qui seront élaborés seront déposés lors des demandes d'autorisation visant la remise en état pour approbation par le MELCC.

QC-11 À la section 2.2.2.4, il est indiqué que les matériaux issus du dragage seront acheminés par barge sur la rive pour entreposage provisoire puis remis en place à la fin des travaux afin de reconstituer le lit du fleuve. Par ailleurs, à la section 2.3.3.1 « Préconstruction - Gestion des sols et sédiments contaminés » (p.76), l'initiateur mentionne que les sédiments qui seront excavés ne seront pas rejetés en eau libre et qu'une caractérisation des sédiments à la suite de leur excavation sera effectuée afin de déterminer le mode de gestion conformément à la Grille de gestion des sols excavés du « Guide d'intervention du MELCC » et aux règlements relatifs aux sols contaminés.

Certaines informations présentées dans l'étude d'impact semblent parfois contradictoires ou doivent être ajustées. Ainsi, l'initiateur doit :

- A. S'engager à respecter le « [Guide d'intervention – Protection de sols et réhabilitation des terrains contaminés du MELCC](#) ». Rappelons qu'afin d'établir la nature et le niveau de contamination des sédiments, de même que leur mode de gestion, la caractérisation des sédiments doit se faire in situ. L'échantillonnage des sédiments en pile n'est pas permis. Aucun mélange ou aucune dilution de sol (sédiments) ayant pour effet de les disposer de façon moins contraignante n'est permis (article 5 du Règlement sur le stockage et les centres de transfert de sols contaminés (RSCTSC)). La gestion de ce matériel doit donc être déterminée en fonction du résultat de la caractérisation du matériel en place et non les résultats obtenus sur un matériel remanié et asséché;

RQC-11A Les références du MELCC recommandent en effet que la caractérisation soit effectuée avant l'excavation. Cependant, il n'y a aucune mention à l'effet que la caractérisation des sédiments en piles ne soit pas permise. Par ailleurs, le « Guide d'intervention » du MELCC (section 7.9.2) mentionne que les sédiments excavés d'un cours d'eau qui sont ramenés sur la terre ferme pour y être gérés sont considérés comme des sols. Or, l'échantillonnage de sols en piles est une pratique encadrée par le « Guide de caractérisation des terrains » du MELCC (section 2.3.1.6.2) ainsi qu'à la section 9.1 du « Cahier 5 – Échantillonnage des sols » du « Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales » du Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec (CEAEQ).

Ceci étant dit, le MTQ a réalisé une caractérisation in situ des sédiments en 2017 et une seconde étude de caractérisation est en cours (2021 et 2022). Le milieu est très dynamique et subit des variations importantes dues aux marées, du brassage intense par les courants et le passage des bateaux, les sédiments sont soumis à une grande variation et auront tendance à montrer des caractéristiques homogènes (selon le « Guide d'échantillonnage des sédiments du Saint-Laurent pour les projets de dragage et de génie maritime

» d'Environnement Canada). Toutefois, les couches considérées contaminées d'après ces études de caractérisation in situ pourraient être excavées sélectivement de façon sommaire, et être séparées selon leur degré de contamination selon les critères du Guide d'intervention. Il sera toutefois techniquement difficile de faire des coupures nettes entre les différentes couches lors de l'excavation ou du dragage et d'éviter les mélanges étant donné que les sédiments seront gorgés d'eau et auront une texture coulante.

Par conséquent, une caractérisation complémentaire sur les sols (sédiments) en piles après un séchage sommaire est envisagée afin de préciser leur qualité environnementale dans chaque section de chacune des piles. En fonction des résultats, une ségrégation additionnelle pourrait être envisagée, au besoin, aux fins d'une gestion finale optimale. De cette façon, le MTQ diminue le risque que des chargements de sols soient refusés aux lieux récepteurs, dû à des différences de résultats à la suite des échantillonnages de contrôle par les exploitants.

- B.** Localiser le(s) site(s) d'entreposage et s'engager à ségréger, lors du stockage ou de l'assèchement, les sols (sédiments) en fonction de leur niveau de contamination;

RQC-11B Comme mentionné à la RQC-11A, les sédiments pourraient être excavés sélectivement de façon sommaire et séparés une première fois selon leur degré de contamination déterminé in situ. Toutefois, la caractérisation complémentaire des sols (sédiments) en piles permettrait de valider les concentrations de chaque section des piles et d'effectuer une ségrégation finale au besoin.

La méthode de gestion des sols, notamment les sites d'entreposage, sera établie par l'entrepreneur responsable des travaux. Celle-ci sera déposée, avec toutes les informations pertinentes, lors de chacune des demandes d'autorisation qui viseront à autoriser des travaux d'excavation ou de dragage.

- C.** S'engager à réaliser une caractérisation physico-chimique des sédiments de la zone à draguer préalablement à chaque opération de dragage et à déposer avec chaque demande d'autorisation visant des travaux de dragage, un rapport présentant les résultats ainsi que le mode de gestion des sédiments établi à partir de ces résultats.

RQC-11C Considérant que les périodes autorisées pour les travaux en eau sont restreintes entre le 1^{er} mai et le 30 septembre (5 mois), cela laisse peu de temps pour réaliser une caractérisation in situ préalablement à la demande d'autorisation en plus des travaux qui doivent être réalisés dans cette période très restreinte. Puisque le rapport de caractérisation in situ doit faire partie de la demande d'autorisation, cela impliquera donc que l'échantillonnage in situ des sédiments soit réalisé lors de l'année qui précède les travaux de dragage. Comme mentionner à la RQC-11A, le milieu étant très dynamique et causant un brassage constant des sédiments, les caractéristiques physico-chimiques mesurées lors de la caractérisation effectuée l'année précédente pourrait avoir changé au moment de réaliser le dragage.

De ce fait, le MTQ s'engage plutôt à réaliser une caractérisation des sols (sédiments) en piles et d'envoyer un rapport présentant les résultats et leurs modes de gestion prévus en fonction des niveaux de contamination. Ce rapport sera fourni au MELCC à la suite de chaque phase de dragage et avant le transport final des sols vers les lieux récepteurs.

- D.** La remise en place des sols (sédiments) dans le milieu aquatique (zones profondes) n'est pas souhaitable. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à inclure dans son suivi des effets hydro-sédimentaires les aires de dragage et s'engager à préciser sa démarche de remise en état pour ces zones dans le cadre du programme de suivi environnemental final qui sera déposé dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle.

RQC-11D Le MTQ s'engage à inclure dans son suivi des effets hydro-sédimentaires sur l'habitat du poisson et les herbiers aquatiques (le suivi) les aires de dragage. La remise en état des lieux s'effectuera en deux temps, soit après le retrait des ouvrages temporaires de construction du nouveau pont et dans un deuxième temps après la déconstruction du pont actuel. Les programmes de remise en état qui seront élaborés seront déposés lors des demandes d'autorisation visant la remise en état pour approbation par le MELCC.

Le MTQ souhaite souligner que la profondeur de l'eau à l'extrémité de la jetée nord (fondation A5) est approximativement de 2,0 m et que la profondeur maximale d'excavation atteindra 1,5 m (étude d'impact, p. 72). Il est probable que cette excavation relativement peu profonde se comble naturellement au gré des marées et des crues. Si les résultats de suivis démontrent le contraire et que les autorités compétentes jugent qu'il est souhaitable de reblayer les zones draguées en tout ou en partie, il semble que la remise en place des sols (sédiments) serait techniquement envisageable et relativement efficace.

Le MTQ s'engage à préciser la démarche de remise en état pour les zones de dragage dans le suivi en période post-construction tel que précisé à la section 9.2.2 de l'étude d'impact lorsque les résultats indiqueront que la restauration est nécessaire selon les modalités indiquées.

QC-12 La présence d'ouvrages temporaires (estimés à environ 117 000 m² incluant la construction du nouveau pont et déconstruction du pont actuel) est prévue pendant une durée minimale de sept à huit ans. L'emprise de ces ouvrages temporaires va rendre les habitats indisponibles, modifier les conditions hydrauliques et le bilan sédimentaire. Le MELCC préconise que la séquence de mise en place alternée des jetées temporaires soit favorisée puisque de cette manière, les habitats redeviennent disponibles plus rapidement et l'impact s'avère moindre sur ceux-ci. Toutefois, le MELCC pourrait considérer ces jetées comme permanentes si elles s'avéraient en place sur des durées de six à huit ans et sur des superficies totalisant 117 000 m².

- A.** L'initiateur doit s'engager à prévoir la séquence des travaux afin que les jetées temporaires ne soient pas en place simultanément pour diminuer l'impact de ces dernières sur le milieu environnant. Dans l'impossibilité de prévoir une telle séquence, l'initiateur doit le justifier.

RQC-12A La séquence actuelle prévoit les étapes suivantes :

Construction du nouveau pont (5 ans)

1. La construction des jetées prévues pour la construction en rive nord et sud (7 mois - Année 1)
2. La réalisation d'activités de dragage requises annuellement et l'entretien des jetées pendant la réalisation des travaux de construction (mise en place des unités de fondation, levage du pont, transport de matériaux entre la rive nord et sud, etc.).
3. La déconstruction complète des jetées requises pour la construction (4 mois - Année 5)

Les jetées pour la construction du nouveau pont seront en place pour une durée d'environ 5 ans et couvriront quatre périodes estivales (voir Tableau 2-4 de l'étude d'impact).

Déconstruction du pont existant (3 ans)

4. La construction des jetées temporaires prévues pour la déconstruction en rive nord et en rive sud (8 mois - Année 1 et 2 de la déconstruction ou 6 et 7 du projet)
5. La réalisation d'activités de dragage requises annuellement et l'entretien des jetées pendant la réalisation des travaux de déconstruction

6. La déconstruction complète des jetées requises pour la construction (2 mois - Année 2 et 3 de la déconstruction ou 7 et 8 du projet)

Les jetées pour la déconstruction du pont existant seront en place pour une durée d'environ 3 ans et couvriront trois périodes estivales (voir Tableau 2-9 de l'étude d'impact).

Ainsi, le MTQ s'engage à réaliser les travaux de déconstruction, une fois les travaux de construction complétés. Cette séquence assure que les jetées requises pour la construction seront entièrement démantelées et le site remis en état avant que ne débute la mise en place des jetées temporaires requises pour la déconstruction.

Dans le cadre de la construction du nouveau pont, il n'est pas possible de mettre en place seulement la jetée au nord, puis mettre en place la jetée sud ou vice-versa puisque les jetées temporaires assurent à la fois l'accès aux unités de fondation et seront utilisées par l'entrepreneur pour le transport de matériaux entre chacune des rives. En effet, compte tenu de l'état du pont actuel, ainsi que pour préserver la sécurité et la fluidité de la circulation, le MTQ interdit tout transport de matériaux et de machineries sur le pont existant durant les travaux pour ne pas accélérer sa détérioration et ainsi pouvoir conserver son niveau sécuritaire actuel. L'absence d'une des deux jetées (nord ou sud) ralentirait de manière significative les travaux de construction et de déconstruction, ce qui se solderait par l'allongement de la durée des travaux et conséquemment, la durée de l'impact global du projet sur le milieu naturel et humain.

- QC-13** Dans le cadre de la déconstruction du pont actuel, l'initiateur prévoit laisser en place une partie des approches de ce pont afin de les convertir en belvédère. Ces structures sont situées dans le littoral, dans des milieux humides isolés, dans la rive et les plaines inondables du fleuve.

Le MELCC est d'avis que la démolition du pont actuel permettrait potentiellement de restituer des milieux et habitats perdus et serait en phase avec les dispositions de la LQE qui visent notamment la protection des milieux humides et hydriques. De plus, le belvédère ferait partie d'un projet de la Municipalité régionale de comté de L'Île-d'Orléans nommé « Constellations » qui pour le moment n'est pas confirmé. L'initiateur pourrait démanteler l'entièreté des structures du pont actuel qui sont situées en littoral et effectuer la remise en état de ces zones et remettre en état les milieux humides et hydriques présentement fractionnés par la route. Ces superficies pourraient alors permettre de contrebalancer les pertes de milieux humides et hydriques associées à la construction du nouveau pont.

- A.** L'initiateur doit s'engager à retirer les jetées du pont actuel et les portions de routes sous la LHE du côté de l'Île d'Orléans. Ces étapes doivent aussi être intégrées à l'échéancier prévu (tableau 2-4). S'il n'est pas en mesure de prendre cet engagement, l'initiateur doit le justifier.

RQC-13A La planification de la déconstruction de l'ancien pont n'est pas complétée et sera précisée lors de la conception détaillée du projet. Le MTQ doit en outre déterminer le mode de réalisation de ce volet du projet, dont les travaux sont prévus durée environ trois ans et ne débuterons qu'une fois les travaux du nouveau pont complétés.

D'ici la fin de la construction du nouveau pont (horizon 2028), le MTQ aura raffiné les méthodes de déconstruction du pont actuel qui pourraient être mises en place, ainsi que les mesures d'évitement et d'atténuation à préconiser pour limiter les pertes des milieux.

Il est important de noter que les intervenants du milieu, tant ceux de la région de Québec que ceux de l'île d'Orléans, ont montré un intérêt marqué pour la construction de belvédères sur les culées du pont existant

de sorte à permettre aux usagers un accès aux berges du fleuve Saint-Laurent et pour commémorer la mémoire de cet ouvrage présentant une valeur historique et patrimoniale.

Cet enjeu fait partie intégrante du projet, notamment pour en assurer l'acceptabilité sociale et pour intégrer le projet dans son milieu. En ce sens, la minimisation de l'empiètement du projet sur le milieu hydrique a fait l'objet de plusieurs compromis de la part des parties consultées. Bien que la superficie réelle de l'empiètement sera raffinée et connue au fil de la conception de ces belvédères, le MTQ maintient que ces ouvrages constituent une part importante du projet, il serait prématuré de procéder à cette évaluation dès maintenant.

- B.** Évaluer les gains environnementaux et hydrodynamiques qui pourraient être faits en retirant cette structure (belvédère prévu au nord-est).

RQC-13B Le MTQ est d'avis que des gains environnementaux pourraient résulter du retrait dudit belvédère. Cependant, compte tenu de l'importance de cet élément pour l'acceptabilité sociale du projet (voir RQC-13A) qui doit également être prise en compte dans la conception du projet.

QC-14 À la section 2.2.1, l'initiateur prévoit l'arasement des piles de l'ancien pont jusqu'à un niveau de 500 mm sous le lit du fleuve, à l'exception des fondations des pylônes qui pourraient être arasées jusqu'à un niveau de 4 m sous le zéro des cartes.

- A.** L'initiateur doit s'engager à l'arasement de toutes les piles (incluant la partie de la fondation du massif d'ancrage nord) et les fondations des pylônes jusqu'à un niveau de 500 mm sous le lit du fleuve. Dans le cas contraire, l'initiateur doit expliquer son choix de les laisser en place.

RQC-14A Le MTQ s'engage à réaliser l'arasement de toutes les piles, massifs d'ancrages (P16 et P21) et des pylônes (P18 et P19) du pont existant jusqu'à un niveau de 500 mm sous le lit du fleuve.

- B.** S'il est impossible d'arasement toutes les piles et les fondations des pylônes, l'initiateur doit comparer l'élévation de 4 m sous le zéro des cartes par rapport à celle du « thalweg » et s'engager à fournir, dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle, une caractérisation des impacts hydrodynamiques de l'arasement de ces structures à cette élévation en considérant la présence du futur pont et prévoir, le cas échéant, les mesures d'atténuation nécessaires.

RQC-14B Voir réponse RQC-14A.

Habitat du poisson

QC-15 L'initiateur propose la création d'un nouvel étang dans son projet préliminaire de compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques. La remise en état de cette section du fleuve doit viser la création d'habitats présents naturellement.

A. L'initiateur doit s'engager à créer une zone intertidale sans seuil, afin d'assurer la pérennité de cet habitat.

RQC-15A Le MTQ considère qu'il y a une valeur ajoutée à conserver ce seuil. En effet, l'objectif visé par l'ajout d'un seuil à l'entrée du nouvel étang est de permettre l'établissement d'un habitat du poisson de la meilleure qualité possible et pendant la période mensuelle (vives-eaux vs mortes-eaux) et annuelle (liée aux saisons incluant les crues reçues de l'amont) la plus longue possible. En effet, avec un seuil, il est possible de préserver une profondeur d'eau constante d'un minimum de 1 m, et ce, même lorsque le Fleuve est à marée basse. Les apports d'eau dans l'étang et la profondeur de celui-ci ne seraient ainsi pas entièrement tributaires de l'apport d'eau des marées, mais également des deux ruisseaux qui alimentent l'étang du Moulin depuis l'amont.

Cette profondeur d'eau permanente permet l'accomplissement des différentes fonctions biologiques pendant toute l'année. Elle permet également de limiter la colonisation de ce milieu par le roseau commun, une espèce végétale exotique envahissante, et de conserver une meilleure qualité de l'habitat faunique aquatique et ripicole. De plus, cette profondeur d'eau assure la conservation d'une épaisseur d'eau libre sous la glace, offrant ainsi un habitat pour les poissons durant la période hivernale. La conservation d'une profondeur suffisante permet ainsi la création d'un habitat aquatique plus stable et de meilleure qualité pour les petites espèces de poissons et les juvéniles de toutes espèces qui pourraient ainsi l'utiliser toute l'année pour accomplir l'ensemble de leurs fonctions biologiques.

Une étude hydraulique, spécifique aux composantes techniques de cet étang permettra de raffiner la conception de l'étang et ses composantes et de dimensionner le tout adéquatement pour optimiser la fonction de l'étang. Diverses adaptations de ces composantes, notamment au niveau du seuil (par exemple avec des déflecteurs de courant immédiatement en amont), de même qu'un suivi adéquat pourra limiter une sédimentation importante, voire de permettre un auto-nettoyage régulier du lit du nouvel étang, pour calibrer davantage ses composantes.

Si, malgré les informations présentées dans l'étude d'impact et dans la réponse à la question, cela s'avère toujours requis du point de vue des autorités environnementales responsables, le MTQ s'engage à créer une zone intertidale sans seuil. Une position claire est attendue à cet effet de la part des autorités concernées.

B. Le MELCC sait que des suivis ont eu lieu dans des habitats similaires, entre autres, dans l'étang de la Côte. Afin de pouvoir évaluer justement la valeur du nouvel étang à créer, l'initiateur doit fournir ces résultats de suivis ichtyologiques dès maintenant afin de pouvoir attribuer une valeur de compensation valable pour la création de ce nouvel étang.

RQC-15B Les suivis sont disponibles à l'annexe 2.

QC-16 À la section 5.2.3, il est indiqué que la mise en place des ouvrages temporaires entraînera une modification locale de la dynamique hydro-sédimentaire. L'envergure des ouvrages temporaires permet de croire que les modifications induites sur les conditions hydrologiques pourraient se répercuter jusque dans le secteur du fleuve, situé entre

l'embouchure de la rivière Saint-Charles et de la Baie de Beauport. Puisque ce secteur abrite une frayère à bar rayé et d'alose savoureuse, il importe que les modifications ne perturbent pas sa fonction. La fraie de ces espèces étant pélagique, la dynamique des courants doit permettre aux œufs et aux jeunes larves de se maintenir dans la colonne d'eau, et ce, tout au long de la période de reproduction, d'incubation et de dérive larvaire.

- A. L'initiateur doit fournir une modélisation permettant d'évaluer l'impact hydraulique sur les frayères et autres habitats sensibles du secteur situé à proximité de la Baie de Beauport et utilisé par de nombreuses espèces. L'initiateur doit préciser quelles mesures d'atténuation seront mises en place pour minimiser ces impacts, le cas échéant.

RQC-16A Le rapport présentant l'impact hydraulique, incluant les résultats de la modélisation, sur les frayères et autres habitats sensibles est disponible à l'annexe 3. Selon ces modélisations, les modifications induites par les ouvrages temporaires ne se répercuteront pas jusque dans le secteur du fleuve situé entre l'embouchure de la rivière Saint-Charles et de la Baie de Beauport.

Les mesures d'atténuation prévues pour les habitats fauniques sont présentées dans les sections 5.2 et 6.2 de l'étude d'impact.

L'impact des jetées sur l'hydrodynamique de la Baie de Beauport avait été évalué dans les calculs réalisés pour l'étude hydraulique. Les effets résiduels des jetées, à la PMSGM, se dissipent à la pointe de l'île d'Orléans. Ce résultat est attendu puisque l'écoulement provient majoritairement du chenal des Grands Voiliers, ce qui dissipe d'autant plus les effets déjà limités sur l'écoulement qui arrivent du chenal de l'île d'Orléans. La figure qui suit montre que l'impact sur les vitesses d'écoulement est nul dans la baie de Beauport (les zones sans couleur ont un impact inférieur à 0,01m/s sur les vitesses d'écoulement).

Étant donné l'absence d'impact sur les courants près de la baie de Beauport, aucune mesure supplémentaire n'est prévue pour ce secteur.

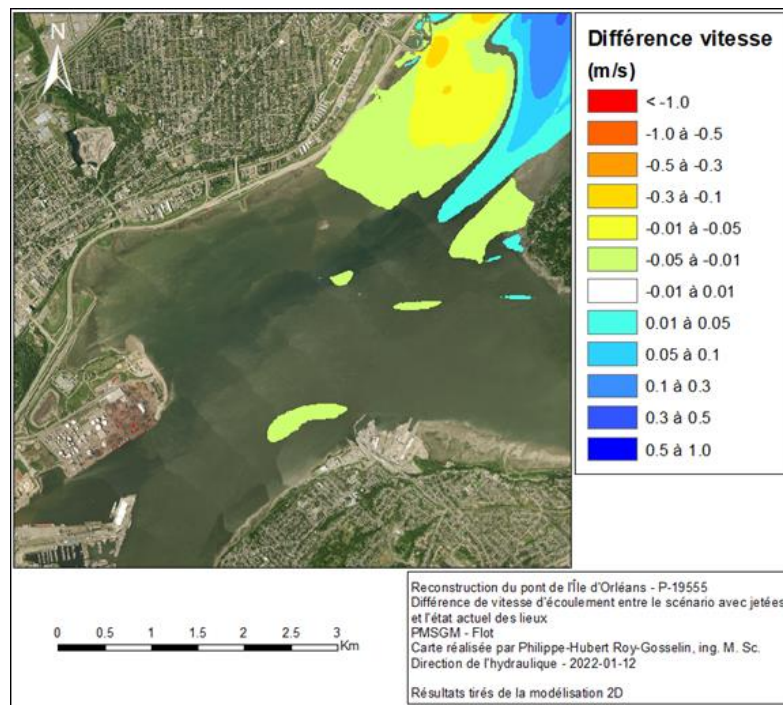


Figure 8 : Différence entre les vitesses d'écoulement au flot de la PMSGM. Scénario avec jetées de construction comparé à l'état actuel des lieux.

Suivis

QC-17 À la section 9.2.2.3, l'initiateur propose un programme de suivi. Ce dernier vise plusieurs activités, telles que l'état de référence des milieux humides et hydriques affectés par le projet, le suivi en période de construction et en post-construction ainsi que la restauration et la remise en état de ces milieux.

L'initiateur doit s'engager à y inclure un suivi de la dispersion des matières en suspension (MES) pendant les travaux (construction, démantèlement des jetées, déconstruction des piles et des semelles, dragage, etc.). Il doit également préciser les mesures d'atténuation qu'il mettra en place afin de limiter la dispersion des MES durant les travaux et les actions qu'il prendra en cas de dépassement.

Enfin, l'initiateur doit s'engager à déposer, dans le cadre de la première demande d'autorisation, la version finale du programme de suivi, lequel devra préciser notamment les modalités relatives à la méthodologie, aux paramètres de suivi ainsi qu'au dépôt des rapports de suivi.

RQC-17 L'aménagement de jetées temporaires en empierrement permettra dans un premier temps d'accéder aux principaux ouvrages à construire et à déconstruire dans des conditions assurant la stabilité du littoral et assurant que les camions et la machinerie demeurent hors de l'eau. Également, la construction des principales piles du nouveau pont se fera au cœur d'une jetée. Les fondations correspondantes seront réalisées à l'intérieur d'un batardeau de palplanches à même les jetées, ce qui constitue une mesure de confinement efficace des principales zones à risque et qui minimisera l'émission de MES. Ces mesures sont requises pour respecter les périodes de restriction imposée tout en permettant la réalisation des travaux dans un délai restreint.

Dans le cadre d'un essai de consolidation du fond marin autour des fondations de l'une des piles de l'actuel pont de l'Île-d'Orléans, le MTQ a expérimenté le déploiement de rideaux de turbidité dans le fleuve. En raison des forts marnages quotidiens et des courants et vagues qui viennent de toutes directions, le rideau a été déchiré à maintes reprises et n'a pas pu être efficace comme il peut l'être dans d'autres contextes. Il est donc admis que cette mesure d'atténuation n'est pas applicable dans le Fleuve près du pont de l'Île-d'Orléans. Aussi, en raison du contexte local particulier connu sous l'appellation de « bouchon de turbidité », il est plutôt proposé de mettre en œuvre un programme de surveillance visuelle adapté liant les observations de panaches de dispersion des MES à des valeurs de turbidité en UTN.

Le programme préliminaire de surveillance de MES pendant les travaux est décrit à la section 9.1.4 de l'étude d'impact. On y détaille les critères de gestion, les objectifs, les paramètres de l'état de référence ainsi que les étapes qui doivent être réalisées en cas de dépassement. Un programme de surveillance plus détaillé sera produit et déposé avec les demandes d'autorisation pertinente (travaux dans le milieu hydrique). Après son approbation par les autorités, celui-ci sera mis en œuvre. Il fera l'objet d'une réévaluation régulière afin de s'assurer qu'il demeure toujours bien performant dans toutes les situations ou encore qu'il soit toujours requis en tout ou en partie en fonction des résultats. Toute modification envisagée au programme fera l'objet d'échanges avec les autorités jusqu'à leur approbation.

QC-18 Dans un même ordre d'idées, il est indiqué que le programme de suivi de la variation des élévations verticales de l'estran sera fait sous la cote de la pleine mer supérieure marée moyenne (PMSMM).

A. L'initiateur doit s'engager à effectuer ce suivi en dessous de la LHE.

RQC-18A Les zones à risque de sédimentation par la diminution des vitesses d'écoulement se situant sous la PMSMM (voir figure 5-1 de l'étude d'impact), cette cote avait été retenue pour la réalisation des suivis des effets hydro-sédimentaires. Le MTQ s'engage toutefois à ajouter le suivi des élévations verticales jusqu'à la LHE.

Cependant, comme décrit à la section 9.2.2.3 de l'étude d'impact, la fréquence et l'étendue de ces relevés seront réévaluées en fonction des résultats obtenus durant les suivis. Advenant qu'après le premier levé de suivi, les zones d'accumulation s'avèrent plus petites que prévu ou que les portions affectées « significativement » devaient être nettement plus localisées, il pourrait alors être recommandé de réduire les superficies à inventorier.

- B.** À la dernière puce du suivi (p. 457), il est indiqué qu'il sera fait durant une période couvrant au moins deux périodes de vives-eaux et une période dénommée f. L'initiateur doit clarifier ce que signifie cette période.

RQC-18B Il s'agit d'une coquille, la phrase se lit comme suit :

Mesurer, selon des méthodes aussi précises que possible, les conditions hydrauliques (directions et vitesses des courants, niveaux d'eau, caractéristiques des vagues, etc.) au droit de l'extrémité distale des quatre futures jetées, et ce, durant une période couvrant au moins deux périodes de marées de vives-eaux et une période de **mortes-eaux**. Une station marégraphique fixe devrait aussi être installée depuis le début de l'état de référence jusqu'à la fin du suivi hydro-sédimentaire.

QC-19 Aux sections 9.2.2 et 9.2.3, l'initiateur présente son programme de suivi des milieux humides et hydriques affectés par le projet. Or, le programme proposé ne couvre pas l'ensemble de ces milieux. L'initiateur ne précise pas de mesure de suivi pour les milieux humides isolés, les rives, les plaines inondables et le littoral entre la LHE et la PMSMM.

L'initiateur doit s'engager à élaborer un programme de suivi pour l'ensemble des milieux humides et hydriques affecté par les activités du projet. Les détails du programme de suivi, ainsi que les mesures qui seront mises en place afin de s'assurer de rétablir la couverture végétale (herbiers) et le caractère naturel des milieux humides et hydriques (remise en état) devront être fournies lors du dépôt des demandes d'autorisations ministérielles en vertu de l'article 22 de la LQE affectant ces milieux.

RQC-19 Comme indiqué à la section 9.2.3 de l'étude d'impact, à la fin des travaux pour les phases de construction et ensuite de déconstruction, l'ensemble des aménagements temporaires ayant servi aux travaux nécessiteront des interventions de remise en état au niveau du milieu hydrique, des rives et de la végétation aquatique ou terrestre. Ces interventions se réaliseront sur les rives, les plaines inondables, le littoral entre la LHE et la PMSMM et le milieu humide isolé MH-2. Le succès de ces aménagements à assurer le retour des fonctions écologiques fera l'objet d'un suivi à raison de deux visites par année pour les deux premières années (en fonction de la période de garantie associée aux plantations terrestres qui seront réalisées) puis à une fréquence qui sera adaptée par le bilan des observations effectuées.

Le MTQ s'engage à présenter un programme de suivi ainsi que les mesures qui seront mises en place afin de s'assurer de rétablir la couverture végétale (herbiers) et le caractère naturel des milieux humides et hydriques (remise en état) lors du dépôt des demandes d'autorisations ministérielles en vertu de l'article 22 de la LQE affectant ces milieux.

Mesures d'atténuation

QC-20 Aux sections 5.1.5.1 et 6.1.5.1, l'initiateur présente les mesures d'atténuation proposées pour diminuer les impacts résiduels des activités du projet sur les milieux humides et hydriques. Ces mesures sont d'ordre général. L'initiateur doit s'engager à présenter, lors du dépôt des demandes d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE pour les activités s'inscrivant dans ces milieux, les mesures d'atténuation concrètes et spécifiques qui seront mises en place et qui sont adaptées à chacune des activités du projet ainsi qu'un échéancier de mise en place de ces mesures.

RQC-20 Le MTQ s'engage à présenter des mesures d'atténuation concrètes et spécifiques, si possible, sur les milieux humides et hydriques aux dépôts des demandes d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE pour les activités s'inscrivant dans ces milieux. Ces demandes présenteront un échéancier de mise en place de ces mesures, lorsque requis.

QC-21 L'initiateur doit préciser les mesures prévues pour la récupération des matériaux issus de la déconstruction et qu'elles sont les mesures de réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES) qui peuvent y être associées (ex. : transport évité vers les dépôts de matériaux secs, etc.).

RQC-21 Comme mentionné précédemment à la RQC-13A, plusieurs éléments n'ont pas encore été arrêtés concernant le volet déconstruction du projet, dont le mode de réalisation, l'échéancier précis ainsi que les mesures d'évitement et d'atténuation à préconiser pour limiter les impacts environnementaux. La conception incluant le séquençage précis des travaux sera réalisée dans les prochaines années et permettra de répondre avec plus de précision aux différentes préoccupations. Une stratégie de mise en valeur du pont à la suite de son démantèlement, incluant des activités de consultation, est en cours d'élaboration ce qui pourrait avoir un impact sur la réutilisation de pièces du pont à même le site.

Selon le mode de réalisation choisi et le processus d'approvisionnement engagé, un plan de gestion des débris de déconstruction devra être élaboré selon les balises fixées par le MTQ. À titre informatif, le MTQ inclut des cibles de valorisation des matières résiduelles à l'ensemble de ses contrats de projets majeurs, notamment en lien avec la réutilisation ou le recyclage des débris de la déconstruction pour d'autres projets, par exemple pour des chantiers qui ont lieu en simultané. L'estimation des émissions de GES est aussi généralement considérée pour le transport hors site des matériaux de déconstruction.

Ainsi, le MTQ souhaite inclure une cible de valorisation des matières résiduelles au volet déconstruction du projet. Celle-ci sera définie lorsque les autres constituantes de ce volet seront connues, puis les mesures visant spécifiquement à réduire les émissions de GES estimés seront présentées lors du dépôt des demandes d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE.

Drainage des eaux pluviales

QC-22 L'initiateur doit s'engager à ce que le système de gestion des eaux de ruissellement (page 86 et tableau 4-1 p.121) soit conçu de manière à ce que son système de drainage des égouts pluviaux se rejette directement dans le fleuve, sans transiter par les étangs de la côte et du Moulin ni dans le nouvel étang qui sera aménagé comme projet de compensation.

RQC-22 Les systèmes de drainage des égouts pluviaux du projet ont été optimisés de manière à privilégier un rejet direct vers le fleuve Saint-Laurent et minimiser le nombre d'exutoires vers les étangs existants. Toutefois, en raison des contraintes topographiques du terrain ainsi que des niveaux piézométriques engendrés par le fleuve Saint-Laurent, les eaux d'un tronçon du boulevard Sainte-Anne n'ont pas pu être évacuées directement dans le fleuve dans la conception actuelle prévue de l'échangeur nord et il resterait donc un exutoire dans l'étang de la Côte.

La situation s'en retrouve néanmoins grandement améliorée par rapport à la situation actuelle, où on ne retrouve pas moins de quatre (4) exutoires dans chacun des bassins existants. Pour ce qui est de la piste cyclable et du sentier pédestre longeant cette dernière, aucun système de gestion des eaux pluviales n'a été envisagé afin de ne pas concentrer les eaux de ruissellement et ainsi permettre une diffusion des eaux de ruissellement sur un couvert végétal avant qu'elles ne se rejettent dans le futur étang projeté. Par cette approche, les apports en sédiments vers l'étang sont minimisés.

Le MTQ s'engage à continuer d'optimiser le tout, en fonction des contraintes du secteur, afin de privilégier les rejets directs vers le fleuve dans le cadre de la conception finale du projet. En outre, cela respecte l'orientation qui avait été discutée lors d'une rencontre tenue spécifiquement sur la gestion des eaux pluviales le 4 mai 2021 avec les représentants du MELCC.

QC-23 Dans un même ordre d'idées, l'initiateur indique que l'utilisation de sels de déglacage pourrait modifier la qualité de l'habitat du poisson (p. 166 de l'étude d'impact). Le rejet au fleuve sans traitement d'eau contaminée par des sels de déglacage n'est pas acceptable pour le MELCC. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à mettre en place des mesures afin d'éviter le rejet au fleuve d'eau contaminée par des sels de déglacage. Ces mesures devront être présentées dans le cadre de la première demande d'autorisation.

RQC-23 En raison de la hauteur d'eau lors des hautes marées du fleuve et du manque d'espace en rive, l'encerclement des plans d'eau autour des axes routiers contraint à des rejets directs dans le Fleuve et empêche l'implantation d'un système de traitement pour l'eau contaminée par les sels de déglacage. Il est à noter que les sels de déglacage se dissolvent dans l'eau, ce qui rend la décontamination très difficile sans l'utilisation d'un processus chimique ou de végétaux, par l'entremise d'un système de type PGO tel qu'un marais filtrant ou encore de noues. Par contre, ces techniques exigent certaines conditions d'application, telles qu'une limitation des superficies drainées vers ces installations, une nappe phréatique profonde pour permettre l'infiltration des eaux et un apport en eau qui doit être diffusé avant d'atteindre le système de traitement.

Considérant la configuration hydrographique du secteur et les aménagements routiers, la mise en place de ces éléments exigerait des empiétements supplémentaires dans les plans d'eau actuels en raison du manque d'espace afin de permettre l'implantation des aménagements requis, et ce, sans pour autant garantir leur efficacité en raison de la présence des marées dans le secteur.

Nous croyons utile de rappeler par ailleurs que dans le cas particulier du projet de reconstruction du pont de l'Île d'Orléans, il n'y aura pas d'ajout significatif de sels de déglacage pour entretenir la nouvelle infrastructure, étant donné que son nombre de voies de circulation ne sera pas augmenté. Aussi, considérant que les ions Cl⁻ et Na⁺ se trouvent naturellement et en forte concentration non loin en aval de la zone d'étude, et considérant l'immense effet de dilution que le débit du fleuve peut engendrer, il est raisonnable de conclure que cet impact sera négligeable. Le MTQ ne peut donc pas prendre un tel engagement pour les raisons évoquées.

Aire de travail /chantier

QC-24 À la section 2.1.3.1 Pré-construction, l'initiateur identifie approximativement les zones de chantier prévues de part et d'autre du fleuve et indique que les aires précises seront identifiées par l'entrepreneur. Comme ces zones de chantier font partie intégrante du projet, l'initiateur doit identifier leurs superficies maximales et leurs localisations, puis s'engager à ce que ces aires de chantier soient situées à l'extérieur du littoral du fleuve Saint-Laurent ou bien dans des remblais déjà existants ou prévus.

RQC-24 Les zones de chantiers seront établies avec précision par l'entrepreneur avant le début des travaux selon ses besoins et sa séquence de travaux. Celles-ci seront présentées dans le cadre des premières demandes d'autorisation avec les informations pertinentes concernant les aires de chantier.

Afin de poursuivre les efforts pour minimiser les empiètements sur le milieu naturel, le MTQ s'engage à inscrire au contrat des clauses demandant à l'entrepreneur de :

- Minimiser la superficie des aires de chantier;
- Prioriser l'utilisation des aires de chantier déjà perturbées ou les aires qui seront utilisées par les futures/anciennes infrastructures.

QC-25 Selon ce qui est indiqué dans l'étude d'impact, trois usines temporaires (assemblage et à béton) seront localisées dans les milieux humides et hydriques.

A. L'initiateur doit justifier son choix de construire de telles usines en milieux humides et hydriques et démontrer qu'aucune autre solution ne peut être envisagée (localisation en milieu terrestre, approvisionnement à partir d'une usine existante, etc.).

RQC-25A Les usines d'assemblages prévus pour la construction doivent permettre d'assembler les sections de tablier qui doivent être fabriquées en tronçons de dimension transportable. La longueur des sections de tablier a été maximisée pour permettre de réduire le nombre de piles requises pour le nouveau pont, mais leurs dimensions imposantes (22,1 mètres de largeur, 4,2 mètres de hauteur et environ 90 mètres de longueur) les rendent impossibles à transporter vers le pont en un seul morceau. Des usines d'assemblage sont donc requises, en rive nord et en rive sud, pour assurer la finalisation de la fabrication dans des conditions de travail contrôlées pour assurer la qualité et la pérennité du nouveau pont. Ces usines permettent également le poussage du pont à partir de la rive, ce qui implique qu'elles soient localisées directement aux limites du pont, en milieu hydrique. L'utilisation des superficies déjà prévues pour les culées nord et sud (empiètements permanents déjà calculés) a été priorisée pour limiter les empiètements temporaires additionnels dans le secteur.

L'usine de béton vise à limiter le temps de transport du béton frais jusqu'à son lieu de déchargement. La construction du nouveau pont impliquera la mise en place de quantité importante de béton par exemple pour la construction des unités de fondation, des murs et de la dalle sur le tablier. L'utilisation du pont existant pour le transport de matériaux étant interdite pour éviter sa dégradation accélérée durant les travaux, le transport du béton et des équipements de bétonnage sur la rive sud (Île d'Orléans) doit être effectué par barge. Or, dépendamment des courants et marées et de l'achalandage sur le fleuve, le temps de transport du béton frais par barge peut facilement excéder la période maximale de 2 heures pour compléter le déchargement du béton frais avant que celui-ci développe une prise initiale le rendant inutilisable pour la coulée. La mise en place de l'usine de béton apparaît comme une solution optimale pour limiter le temps de

transport maritime de bétonnières et l'impact des périodes hivernales et de restrictions environnementales sur le fonctionnement du chantier.

La nécessité finale de la construction d'une usine de béton sera cependant établie par l'entrepreneur qui réalisera les travaux en fonction de sa séquence de réalisation. Il sera également responsable de déposer les demandes d'autorisation requises pour faire autoriser la mise en place de celle-ci par les autorités concernées.

- B.** Dans le cas où l'initiateur maintient la localisation proposée de ces usines, il doit fournir :
- les informations sur tous les types d'activités qui pourraient s'y dérouler et les mesures qui seront mises en place afin d'éviter ou intervenir en cas d'accident ou de déversement;
 - un plan à l'échelle incluant la localisation, les dimensions et les accès prévus aux usines.

RQC-25B Ces informations seront transmises aux autorités concernées lors du dépôt des demandes d'autorisation pertinentes. Ces informations seront établies avec précision par l'entrepreneur responsable de réaliser les travaux qui les adaptera en fonction de sa méthode de construction et ne peuvent donc être fournies à ce stade d'avancement du projet.

Hydraulique

QC-26 Le MELCC est d'avis que la méthode utilisée pour calculer les niveaux d'eau du fleuve pour différentes récurrences respecte les règles de l'art pour la conception des ouvrages. Cependant, la période de données hydrométriques choisie par l'initiateur pour en faire l'analyse statistique qui est de 1979-2020 limite la prise en compte du rehaussement des niveaux d'eau observé particulièrement depuis les vingt dernières années. Cela peut expliquer entre autres pourquoi les résultats obtenus par l'initiateur pour les récurrences 20 ans et 100 ans sont inférieurs aux cotes de crues actuellement en vigueur.

Ainsi, par principe de précaution, l'initiateur doit présenter une analyse statistique avec une période de données plus contemporaine, donc un peu plus courte, permettant de tenir compte du phénomène récent de rehaussement des niveaux d'eau. En fonction des résultats obtenus, l'initiateur doit préciser si l'utilisation des cotes de crues en vigueur pourrait devoir être envisagée pour la conception du futur pont afin d'adapter la structure à ces cotes.

RQC-26 Les cotes actuellement en vigueur datent de 1986 et sont plus élevées que les valeurs calculées et utilisées par le MTQ actuellement. Comme souligné dans la QC-6, les cotes ne sont plus contemporaines et ne considèrent pas les valeurs plus récentes (2000 à 2020) suggérées dans la QC-6. À la RQC-6, il a été décidé par le MTQ que les cotes de 1986 seront utilisées pour établir les empiétements, mais, pour la conception des ouvrages, le MTQ est d'avis d'utiliser des données plus à jour.

L'évaluation sur les vingt dernières années a été réalisée dans le cadre des analyses du projet et il apparaît, aux termes des analyses, que la différence pour la cote de conception 100 ans est négligeable. La différence pour les autres périodes de retour se situe dans un intervalle de 100 mm, soit une valeur correspondant à la précision des appareils de mesure. Elle semble donc largement inférieure à la remontée causée par les vagues à ce site. Pour la valeur présentant la plus grande différence (deux ans), la valeur 1979-2020 se situe confortablement dans l'intervalle de confiance de la valeur de 2001-2020.

Tableau 2: Analyse statistique des valeurs

Période de retour	Étude hydraulique 1979-2020	Analyse 2001-2020	Cotes 1986
2 ans	4,44	4,54	4,58
5 ans	4,67	4,75	
10 ans	4,79	4,86	
20 ans	4,90	4,95	5,02
25 ans	4,93	4,98	
50 ans	5,02	5,05	
100 (conception)	5,11	5,12	5,19

La règle de l'art pour l'analyse de statistiques pour une période de retour de 100 ans vise généralement de disposer d'environ 33 ans de données (n/3) pour assurer une meilleure analyse. Cet intervalle de données

semble d'autant plus important en présence de systèmes de marée (cycle de 18,6 ans) et d'un bassin versant de la taille de celui du fleuve Saint-Laurent. En retenant les données de 41 années, le MTQ juge que la série est suffisamment longue pour mener une analyse rigoureuse de ce système. Une série de 20 ans comme suggérée dans la question semble trop courte pour assurer une conception sécuritaire de l'ouvrage.

Le tableau qui suit résume les 5 événements les plus importants des 40 dernières années.

Tableau 3: Événements historiques importants

Événement historique	Heure	m CGVD28	Période de retour
15 mars 2017	8 : 00	5,03	50-100 ans
14 mars 1993	10 : 30	5,00	50 ans
17 avril 1984	7 : 00	4,85	20 ans
11 décembre 2004	17 : 30	4,83	10-20 ans
6 décembre 2010	18 : 30	4,81	10-20 ans

L'événement le plus important jamais enregistré date de 1918. La valeur enregistrée est de 5,10 m. Par contre la fiabilité de cette mesure est difficile à évaluer.

La cote 5,11 m retenue par le MTQ pour la conception n'a pas été dépassée dans les 41 années analysées ni même dans les enregistrements des 100 dernières années. Elle représente donc une cote jugée suffisamment sécuritaire pour la conception de l'ouvrage.

La conception du MTQ prend en compte un scénario pessimiste de changements climatiques. Elle prend aussi en compte une houle de conception. Finalement, une revanche de sécurité est prévue. Le choix d'une valeur de 5,11 m, 5,12 m ou 5,19 m ne semble donc pas avoir d'impact significatif au niveau de la conception ou de la pérennité de l'ouvrage.

Il n'y a pas de différence significative entre la valeur de conception retenue par le MTQ et celle qui aurait été obtenue avec l'utilisation de données moins nombreuses comme suggérée dans la question (5,11m vs 5,12m). À noter que la cote de conception proposée par le MTQ n'a jamais été dépassée en plus de 100 ans de mesures.

Le MTQ maintient donc l'utilisation de la cote évaluée à l'aide des données plus contemporaines pour la conception de la structure.

QC-27 L'élévation finale (surface de roulement) des jetées temporaires prévues est importante pour réduire les risques d'inondation de celles-ci. L'élévation doit tenir compte du régime tidal dans lequel s'insèrent les jetées, de même que les conditions susceptibles d'être rencontrées pendant la durée des travaux (vent, vagues, niveaux d'eau). L'élévation actuelle a été fixée à 6 m (sections 2.1.3.1 et 2.2.2.3), mais ne semble pas basée sur une récurrence adaptée au régime tidal du secteur. Cet élément est important puisque l'élévation finale des ouvrages temporaires a un impact direct sur les empiètements dans l'habitat du poisson, l'ampleur des compensations à mettre en place et la remise en état des lieux au moment de la démobilitation. De plus, ces simulations hydrauliques sont faites pour le niveau de pleine mer supérieure grande marée (PMSGM) qui se trouve à être inférieur à un niveau de récurrence 2 ans. En considérant la durée des travaux de mise en place des ouvrages temporaires de quatre à cinq ans :

- A.** L'initiateur doit simuler des événements de flot et jusant ayant de fortes probabilités de se produire pendant cette période. Par exemple, les simulations additionnelles pourraient être faites avec des niveaux de récurrences de 5 ans ou 10 ans qui sont plus élevés que la PMSGM afin de mieux évaluer les impacts potentiels en cours de travaux.

RQC-27A Le MTQ fait une distinction dans ses analyses et sa conception entre :

- l'analyse de l'impact des jetées sur l'écoulement et les conditions de marées récurrentes et ;
- le calcul de la hauteur requise des jetées.

Les modélisations avec la PMSGM ont été réalisées pour offrir une représentation fidèle de l'impact des jetées sur le milieu et non pour calculer la hauteur requise des jetées.

Le travail de modélisation a permis de démontrer que l'impact sur les vitesses d'écoulement n'était pas majeur entre la PMSGM, la PMSMM ou la marée de conception par exemple (écart de 0,1 m/s au centre du chenal).

À partir de ces résultats, il faut s'attendre à ce que ce qui affecte le système sur une période de quatre à cinq ans ne soit pas un événement ponctuel de période de retour de cinq ou dix ans, mais bien des événements survenant plus fréquemment comme les PMSMM et les PMSGM qui se répètent à de très nombreuses reprises, parfois plusieurs fois en une journée ou une semaine. C'est ce qui a orienté la décision du MTQ de considérer la cote de la PMSGM pour évaluer l'impact sur le milieu et non une marée plus rare comme celle survenant tous les dix 10 ans par exemple.

- B.** L'analyse ayant permis de déterminer l'élévation des jetées temporaires doit être revue et présentée afin de tenir compte des commentaires précédents. Comme mentionné, elle devrait tenir compte des plus hauts niveaux d'eau enregistrés et des vagues ainsi que des glaces et de tout autre facteur pouvant influencer le niveau d'eau pendant la durée totale des travaux de construction et de déconstruction du pont.

RQC-27B L'élévation des jetées temporaires a été déterminée en utilisant des marées de différentes périodes de retour, les vagues et les épaisseurs de glaces. La conception a été réalisée en respect des règles de l'art de manière à éviter que les vagues ou les glaces n'endommagent les crêtes.

Plusieurs scénarios et combinaisons ont été analysés: marée deux ans avec vagues de dix ans ou marée dix ans avec vagues de deux ans par exemple. Un travail d'analyse de données concomitantes sur 23 ans entre les niveaux et les épaisseurs de glaces a également été réalisé. L'élévation finale retenue est basée sur ces différentes analyses, ce qui permet d'établir un niveau plus sécuritaire pour la crête des jetées.

Voici les résultats de ces analyses qui ont permis d'établir la hauteur des jetées présentées dans l'étude d'impact:

- Concomitance entre les niveaux d'eau et ceux des glaces (avec une majoration de 50% des épaisseurs de glaces)
- Période de retour de 10 ans : Élévation requise de 5,86 m
- Concomitance vagues et niveaux d'eau
- Vague de 2 ans et marée de 10 ans : Élévation requise de 6,00 m

C. S'il est requis d'augmenter l'élévation des jetées, les calculs des superficies d'empiètements temporaires doivent être mis à jour en tenant compte de cette nouvelle élévation.

RQC-27C L'élévation des jetées calculée à 6,0 m est sécuritaire selon les analyses du MTQ (voir RQC-27A et RQC-27B) et celle-ci est donc maintenue.

De plus, il n'est pas souhaitable d'imposer une configuration trop restrictive des ouvrages temporaires, et ce afin d'éviter que la réalisation du projet ne soit trop limitative et engendre des problématiques de faisabilité au moment des travaux.

QC-28 À la section 2.1.2.2, l'initiateur présente la description des jetées temporaires prévues en remblais, sans ponceau sous-jacent. Il est mentionné à ce sujet que la mise en place de ponceaux aurait peu d'impact sur le régime hydro-sédimentaire et pourrait même provoquer des effets indésirables avec des zones de forts courants. Étant donné cette entrave à la libre circulation de l'eau et des sédiments amont-aval, le MELCC anticipe une sédimentation accrue, entre autres, dans les herbiers existants.

A. L'initiateur doit appuyer son affirmation sur le régime hydro-sédimentaire, à l'aide de simulations hydrodynamiques incluant des ponceaux dans les jetées et s'engager à déposer les résultats dans le cadre de la demande d'autorisation ministérielle visant la construction des jetées. Il doit s'engager à inclure des ponceaux dans son concept de jetée s'il n'arrive pas à faire la démonstration que son concept sans ponceau est optimal pour minimiser les impacts liés à l'accumulation de sédiments.

RQC-28A Comme demandé, l'ajout de ponceaux a été modélisé pour en mesurer l'impact sur l'hydrodynamique du secteur. L'hypothèse utilisée pour cette validation est l'ajout de batteries de 5 ponceaux de 3,0 m chacun. Compte tenu de la géométrie des jetées, 4 batteries pour la jetée nord et 6 batteries pour la jetée sud ont été considérées.

Les figures 9 et 10 illustrent la position des ponceaux étudiés.

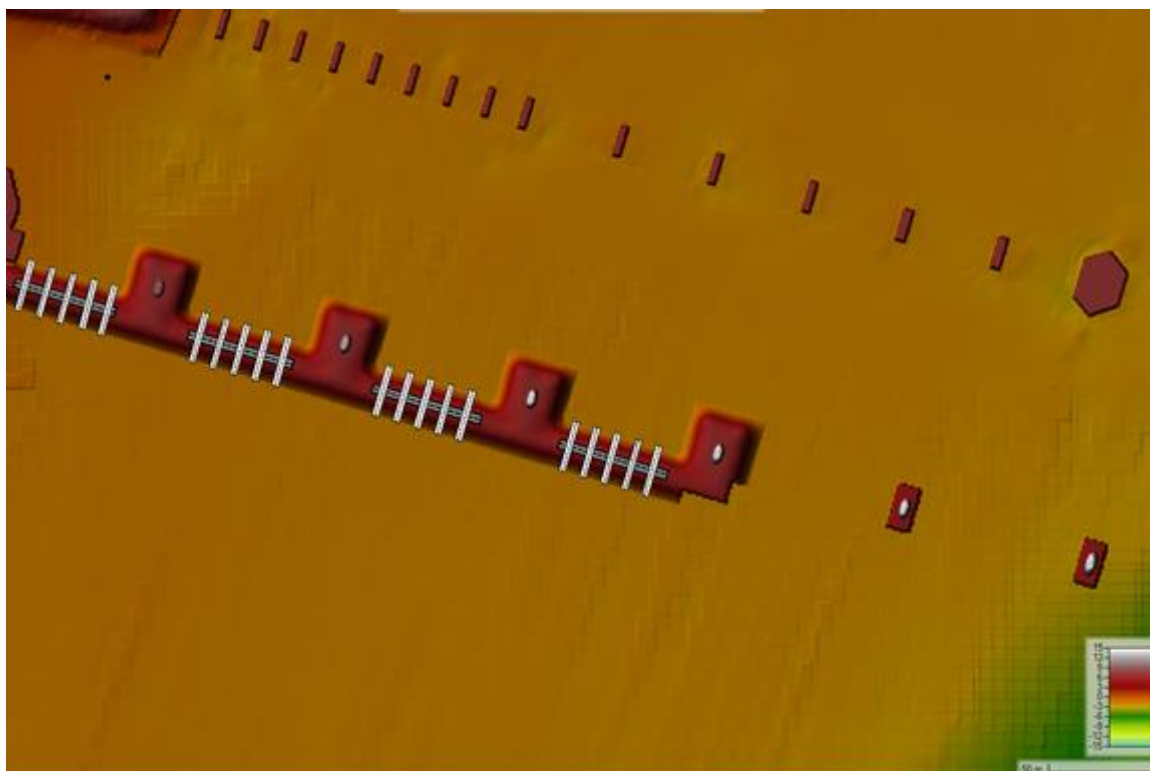


Figure 9 : Jetée nord : Quatre batteries de 5 ponceaux de 3,0 m de diamètre évalués

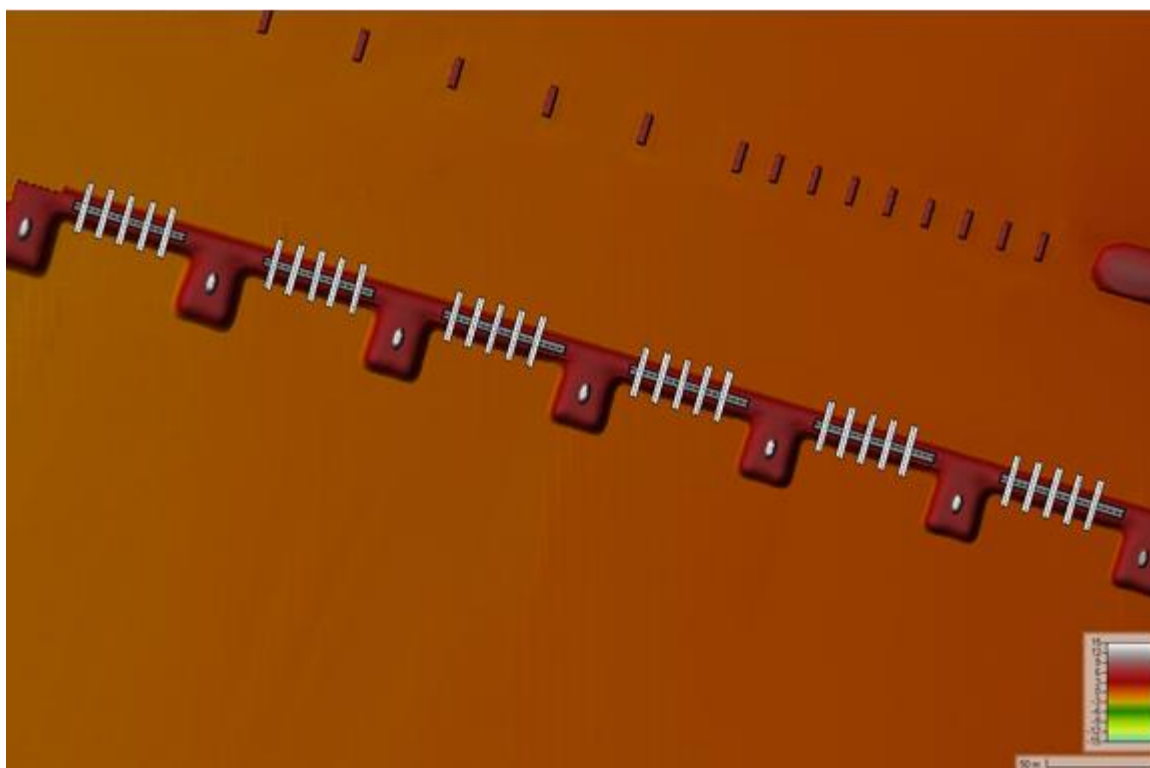


Figure 10 : Jetée sud : Six batteries de 5 ponceaux de 3,0 m de diamètre évalués

La mise en place de ponceaux va créer des zones localisées aux sorties des ponceaux où les vitesses d'écoulement seront plus importantes que les vitesses à l'état naturel. Les vitesses maximales à la PMSGM seraient ainsi augmentées entre 0,16 et 0,40 m/s aux embouts de chacun des ponceaux. Étant donné le type de dépôts fins dans le secteur, cette augmentation des vitesses occasionnerait probablement des zones d'érosion aux embouts de chaque ponceau, et ce, autant en amont qu'en aval de ceux-ci.

Le tableau suivant permet de comparer les vitesses maximales à l'état actuel et les vitesses obtenues à la sortie des ponceaux proposés.

Tableau 4: Variation des vitesses d'écoulement ponctuelles aux embouts des ponceaux entre l'état actuel et les jetées avec ponceaux

Batterie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vitesse actuelle (m/s)	0,43	0,44	0,57	0,60	0,40	0,39	0,39	0,26	0,26	0,28
Vitesse ponceau (m/s)	0,78	0,79	0,82	0,78	0,56	0,65	0,64	0,65	0,66	0,64
Augmentation vitesse (m/s)	0,35	0,35	0,25	0,18	0,16	0,26	0,25	0,39	0,40	0,36

Le débit passant au droit des jetées a été comparé entre les conditions naturelles et en présence des ponceaux. Le tableau suivant présente les débits maximums passant à la PMSGM.

Tableau 5: Débit maximum passant à la PMSGM au droit des jetées proposées

Scénario évalué	Débit maximum passant à l'endroit de la jetée nord (m ³ /s)	Débit maximum passant à l'endroit de la jetée sud (m ³ /s)
Jetées avec ponceaux	112	134
État actuel des lieux	810	600

Les ponceaux permettent le passage de 14 à 22% de la portion du débit naturel bloqué par la jetée. Le débit passant dans les ponceaux correspond à environ 2,5% du débit passant le chenal de l'île d'Orléans.

Les vitesses à 50 m en amont et en aval des jetées ont aussi été comparées pour évaluer l'impact sur les vitesses d'écoulement en dehors des zones localisées aux embouts des ponceaux. Le tableau suivant présente la vitesse calculée pour trois scénarios.

Tableau 6: Vitesse d'écoulement à 50m des ponceaux

Scénario	Vitesse au flot (m/s)	Vitesse au jusant (m/s)
Actuel	0,20 à 0,60	0,10 à 0,40
Jetées sans ponceaux	0,00 à 0,05	0,00 à 0,05
Jetées avec ponceaux	0,05 à 0,10	0,05 à 0,10

L'impact sur les vitesses d'écoulement générales en amont et en aval des jetées reste minimal (autour de 0,05m/s) en ajoutant les ponceaux. Ce résultat est conforme à nos attentes puisque les ponceaux ne permettent pas à une part très importante de l'écoulement de circuler. Les vitesses engendrées ne sont pas de nature à permettre une mobilité des sédiments comparables à la situation actuelle sans les jetées.

Conclusion

L'ajout de nombreux ponceaux dans les jetées a été modélisé. Les ponceaux augmentent les vitesses d'écoulement localement à leurs embouts. Les vitesses augmentées dépassent les vitesses à l'état actuel sans les jetées et ces vitesses pourraient engendrer de l'érosion près des embouchures des ponceaux.

L'impact sur les débits qui sont bloqués par les jetées n'est pas majeur, avec seulement entre 14% et 22% de débits bloqués passent à nouveau au droit des jetées à la PMSGM. Ces ponceaux ont peu d'impact sur l'écoulement de toute la section puisque seulement 2,5% de celui-ci passera par les ponceaux. L'impact sur les vitesses lorsqu'on s'éloigne un peu des embouts est très limité par rapport au scénario avec les jetées. L'augmentation n'est que de 0,05 m/s environ. Il y aura donc tout de même des conditions propices à la sédimentation même avec les ponceaux en place.

Devant ces résultats, le MTQ est d'avis que la balance des avantages et des inconvénients penche en faveur du scénario sans ponceaux, pour limiter l'érosion aux embouts des ponceaux. Toutefois, pour des raisons autres qu'hydrauliques, comme le passage de la faune par exemple, l'ajout de quelques ponceaux positionnés stratégiquement pourra être envisagé si les autorités environnementales confirment que cet élément doit être inclus dans la conception des jetées temporaires.

Mulettes

QC-29 L'inventaire réalisé par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), en 2018 a permis de détecter la présence d'individus vivants de trois espèces de mulettes en situation précaire, dont l'obovarie olivâtre, espèce inscrite à la liste des espèces fauniques et floristiques susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables (RLRQ, c. E-12.01, r. 5), dans chacun des quatre secteurs (amont nord, aval nord, amont sud et aval sud) de la zone de projet. Selon le protocole de Mackie et al. (2008), la présence de mulettes à statut précaire est suffisante pour déclencher la mise en place d'un programme de relocalisation.

Selon les données disponibles sur les impacts sédimentaires du projet, sur les empiètements permanents et temporaires ainsi que sur le dragage, l'initiateur est en mesure de déterminer dès maintenant la zone d'activité, la zone de risque et la zone d'influence afin de concevoir le programme de relocalisation avant la mise en place des jetées temporaires et la réalisation du premier dragage.

La relocalisation des mulettes doit être complétée au moins un mois avant que la température de l'eau descende sous les 16°C, ce qui se produit généralement à la fin septembre. Comme les jetées temporaires seront installées et que le premier dragage sera effectué entre le 1er octobre et le 30 avril, cela implique que le programme de relocalisation devra être réalisé dans la saison estivale précédente et possiblement deux saisons avant le début des travaux, dépendamment de la zone d'influence des travaux à couvrir.

- A.** L'initiateur doit s'engager à effectuer un inventaire des mulettes et une relocalisation des individus avant la réalisation des travaux et selon les paramètres précédemment mentionnés. Un permis SEG ainsi qu'un permis en vertu de la Loi sur les espèces en péril (LC 2002, ch.29) (LEP) sera également requis pour effectuer ces travaux.

RQC-29A Les mulettes seront inventoriées et les individus détectés, le cas échéant, seront relocalisés avant le début des travaux. Les conditions indiquées à la question 29 orienteront les directives que le prestataire de services devra respecter.

- B.** L'initiateur doit déposer son programme de relocalisation des mulettes à statut précaire dès maintenant, comprenant la carte des zones d'influence des travaux, lequel devra être adaptés à la séquence des travaux.

RQC-29B Le MTQ s'engage à préparer dès que possible un programme de relocalisation des mulettes à statut précaire adapté à la séquence des travaux, et ce, en collégialité avec le MFFP et le MPO afin que leurs objectifs soient bien pris en compte.

QC-30 À la section 5.3.1, l'initiateur mentionne que « compte tenu des mentions existantes de faucons pèlerins et de la tendance à la hausse des effectifs, il sera cependant prudent d'envisager des mesures appropriées, considérant qu'un retour de l'espèce en tant que nicheur potentiel est possible aux environs du pont et du pylône avoisinant ».

- A.** L'initiateur doit s'engager à réaliser, selon le protocole standardisé pour le suivi de la nidification et de la productivité du faucon pèlerin au Québec (MFFP 2021), la vérification de la nidification du faucon entre le 15 mars et le 30 avril.

RQC-30A Le potentiel de présence de faucons pèlerins, une espèce désignée vulnérable en vertu de la *Loi sur les espèces menacées ou vulnérables*, aux environs du pont et du pylône avoisinant demeure faible. Il est important de noter qu'aucun individu de cette espèce n'a été observé lors des rapports de suivi de la nidification du faucon pèlerin dans la zone concernée, réalisés par le MTQ en 2018 (voir rapport du milieu en annexe D de l'étude d'impact). Par ailleurs, il est raisonnable de croire que les activités de chantier de

construction du nouveau pont, qui se tiendront à proximité du pont existant, ne favoriseront pas une nouvelle appropriation du site par le faucon pèlerin durant les travaux.

Le MTQ s'engage néanmoins à réaliser une vérification complémentaire avant les travaux. Plus précisément, le MTQ exigera, dans le contrat C-C, que préalablement au début des travaux de construction, l'entrepreneur procède à la vérification de la présence du faucon pèlerin sur le site et qu'il prenne les mesures nécessaires, tel que la protection des sites de nidification durant la période de nidification, le déplacement des œufs ou des fauconneaux présents dans le nid, etc., si la nidification est confirmée.

- B.** Advenant la nidification avérée d'un couple de faucons pèlerins, l'initiateur doit s'engager à déposer un plan de gestion visant à limiter le dérangement de ces oiseaux durant cette période critique dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle.

RQC-30B Advenant la nidification avérée d'un couple de faucons pèlerins, un programme de protection visant entre autres cet oiseau migrateur devra être soumis par l'Entrepreneur, incluant un suivi de la nidification et toutes les mesures à mettre en place pour assurer la protection des sites de nidification pendant ses travaux.

Il est à noter que le MTQ a déjà établi qu'un périmètre de protection (rayon de 20 m) pour prévenir les effets néfastes des travaux sur la nidification d'autres espèces migratrices, à partir de recommandations¹ effectuées dans le cadre des travaux de maintien du pont de l'Île-aux-Tourtes par la firme spécialisée en gestion des oiseaux Services environnementaux Faucon inc.

¹ Ministère des Transports du Québec, 2014. État de la nidification de l'hirondelle à front blanc en 2014 au pont de l'Île-aux-Tourtes et recommandations de gestion pour 2015.

Oiseaux migrateurs

QC-31 L'initiateur n'a pas précisé si le nouveau pont présentera des aménagements pour accueillir la population d'hirondelles à front blanc qui niche sur le pont actuel de l'Île-d'Orléans et le pont à étage de l'échangeur A-440/R-138. Il est recommandé que des sites de nidification soient toujours accessibles pour permettre la nidification des hirondelles durant et après les travaux. L'aménagement de structures artificielles pourrait s'avérer nécessaire pour accueillir l'ensemble de la population nichant sur les structures du pont de l'Île d'Orléans et du pont à étage. Le cas échéant, un suivi devrait être réalisé pour évaluer l'efficacité de ces structures.

A. L'initiateur doit démontrer que des structures de nidification seront disponibles pour l'hirondelle à front blanc pendant toutes les phases du projet et évaluer la pertinence de mettre en place des structures d'accueil alternatives afin de s'assurer de la disponibilité de structures de nidification exemptes de dérangement anthropique significatif pendant toutes les phases du projet.

RQC-31A Le MTQ s'engage à protéger la nidification lors de la déconstruction du pont existant et du pont à étage de l'échangeur A-440/R-138 en s'assurant qu'aucun nid actif n'est présent pendant les travaux (voir programme de surveillance des oiseaux nicheurs à la section 9.1.1 de l'étude d'impact). La nidification sur les nouvelles structures ne sera pas restreinte, et comme mentionnée dans l'étude d'impact (pp. 357 et 362), le MTQ est favorable à mettre à la disposition de l'hirondelle à front blanc des surfaces propices à la nidification de cette espèce en guise de site de nidification de remplacement. Le MTQ s'engage donc à inscrire au contrat C-C une clause demandant à l'entrepreneur de s'assurer que des surfaces appropriées à la nidification de cette espèce soient disponibles sur le nouveau pont.

B. L'initiateur doit s'engager à élaborer un programme de surveillance et de suivi spécifiques à l'hirondelle à front blanc avant le début des travaux et d'assurer sa mise en œuvre durant la réalisation du projet afin, notamment, de documenter les impacts des travaux sur la nidification de cette espèce, de s'assurer que la nidification des individus nichant à proximité des travaux n'est pas affectée et de déterminer si des mesures d'atténuation supplémentaires sont requises. Ce programme devra être déposé au MELCC pour approbation lors de la première demande d'autorisation ministérielle.

RQC-31B Le MTQ s'engage à ce qu'un programme de surveillance et de suivi spécifique à l'hirondelle blanc soit élaboré et mis en œuvre durant les travaux de construction puis ceux de déconstruction. Ce programme de surveillance devra notamment

- 1- documenter les impacts des travaux sur la nidification de cette espèce;
- 2- déterminer si des mesures d'atténuation supplémentaires sont requises.

Le programme de surveillance et de suivi sera déposé lors de la première demande d'autorisation visant la construction et, ensuite, lors de la première demande d'autorisation visant la déconstruction. En effet, la construction et la déconstruction sont gérées comme deux phases distinctes du projet et feront l'objet de demandes d'autorisation distinctes.

Espèces floristiques menacées ou vulnérables et susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables

QC-32 Considérant la présence de colonies d'éléocharide des estuaires, espèce floristique susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables (chapitre E-12.01) (LEMV), l'initiateur doit préciser les mesures qu'il mettra en place pour limiter les impacts sur cette espèce, étant donné qu'il s'agit d'une plante endémique du nord-est américain dont la plus grosse population québécoise et mondiale se trouve dans le secteur de l'Île d'Orléans.

RQC-32 Les impacts sur cette espèce doivent être validés lors du suivi hydro-sédimentaire. Plusieurs facteurs, telle la modification du régime hydro-sédimentaire, pourraient venir perturber ou non ces populations à la suite de la construction des jetées temporaires de construction du nouveau pont et celle de déconstruction du pont existant. Le retrait de la jetée permanente du pont existant (derrière la culée C39) pourrait également occasionner une modification du régime hydro-sédimentaire.

Par conséquent, dans le cadre du suivi hydro-sédimentaire projeté, un état de référence précis sera effectué afin de détailler l'état initial de ces populations. Cette caractérisation détaillée sera réalisée avant le début des travaux de chantier et 1, 3 et 5 ans après le retrait des ouvrages temporaires de la déconstruction du pont existant. Une attention particulière sera portée pour documenter l'habitat de l'éleocharide des estuaires dans la zone d'influence du projet afin de pouvoir éventuellement recréer cet habitat, si requis.

QC-33 L'initiateur a répertorié deux individus de noyers cendrés dans l'aire d'étude, espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables en vertu de la LEMV. Ces derniers seraient situés à l'intérieur de la zone de déboisement prévue dans le cadre des travaux.

L'initiateur doit démontrer les alternatives envisagées pour éviter la coupe de ces arbres. Advenant que la coupe soit inévitable, il devra préciser les mesures qu'il mettra en place pour en disposer (ex. : les brûler), compte tenu de la problématique sanitaire reliée à la maladie fongique provoquant la précarité de cette espèce, et ce, dans le cadre de la demande d'autorisation qui traitera des travaux de déboisement.

RQC-33 Il est à noter qu'il n'y aura qu'un seul individu de noyer cendré qui devra inévitablement être coupé pour le passage de la route. L'initiateur s'engage à présenter les mesures requises pour limiter, durant cette coupe, la propagation du champignon dans la partie de la demande d'autorisation qui traitera des travaux de déboisement.

QC-34 Selon l'information présentée dans l'étude d'impact, la Gentiane de Victorin et la Cicutaire de Victorin identifiées comme espèces menacées dans LEMV et à l'annexe 1 de la LEP, est retrouvée dans le secteur du projet. Toutefois, elle n'aurait pas été inventoriée lors des inventaires floristiques de 2018 dans l'aire d'étude. De plus, cet inventaire a été réalisé à une période trop hâtive pour cette espèce de l'estuaire fluvial d'eau douce du Saint-Laurent.

A. L'initiateur doit s'engager à réaliser, avant le début des travaux, des inventaires complémentaires en période propice pour la Gentiane de Victorin et la Cicutaire de Victorin (août ou septembre) dans l'aire des travaux ainsi que dans la zone d'influence de ceux-ci et à déposer un rapport d'inventaire au MELCC dans le cadre de la première demande d'autorisation.

RQC-34A Le MTQ réalisera un inventaire complémentaire pour la Gentiane de Victorin et la Ciculaire de Victorin en période propice dans l'aire des travaux ainsi que dans la zone d'influence de ceux-ci et déposera le rapport d'inventaire au MELCC lors des premières demandes d'autorisation visant les travaux de construction du nouveau pont.

- B.** L'initiateur doit préciser les mesures d'atténuation qu'il mettra en place pour protéger ces espèces dans le cas où les inventaires complémentaires confirmeraient leur présence.

RQC-34B Dans le cas où des individus de la Gentiane de Victorin et/ou la Ciculaire de Victorin seraient répertoriés dans l'aire des travaux ou dans la zone d'influence de ceux-ci, le MTQ précisera les mesures d'atténuation qu'il mettra en place pour protéger ces espèces.

Espèces en péril

- QC-35** Des inventaires spécifiques ont été effectués pour vérifier la présence d'espèces en péril dans l'aire d'étude, notamment pour vérifier la présence de tortues géographiques. Bien qu'aucune tortue n'ait été observée, des occurrences à proximité de l'aire des travaux ont été répertoriées et le secteur demeure un habitat potentiel pour cette espèce. Aucune mesure d'atténuation n'est toutefois prévue par l'initiateur pour limiter les impacts du projet sur cette dernière.
- A.** Ainsi, l'initiateur doit s'engager à mettre en place des mesures d'atténuation afin de minimiser ces impacts potentiels. Ces mesures seront encadrées dans un permis SEG qui devra être obtenu préalablement aux travaux auprès du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

RQC-35A Il est important de noter que les inventaires effectués par le MTQ en 2018 n'ont pas détecté la présence de tortues géographiques.

Le MTQ s'engage toutefois à inscrire au contrat C-C des clauses demandant à l'entrepreneur de mettre en place des mesures nécessaires pour minimiser l'impact potentiel dans les zones identifiées par le MTQ comme étant sensibles pour cette espèce. Dans l'éventualité où une tortue géographique serait trouvée à l'intérieur des limites du projet et qu'elle pourrait être impactée par celui-ci, le MTQ s'engage à demander dans les meilleurs délais un permis SEG au MFFP afin que soient mises en place les mesures d'atténuation appropriées et que soient minimisés les impacts potentiels sur cette espèce.

Mobilité durable

QC-36 L'un des objectifs exprimés dans ce projet est : « d'assurer la mobilité durable des personnes et des marchandises : le projet doit permettre de disposer d'une desserte en transport fonctionnelle et sécuritaire, qui répond aux besoins actuels et futurs de tous les usagers ». Or, selon les informations disponibles, les besoins futurs de tous les usagers en termes de mobilité ne semblent pas être entièrement considérés (ex. : travailleurs étrangers, personnes âgées ou démunies, etc.). Dans une perspective en développement durable, la planification de cette infrastructure devrait se faire en cohérence avec la Politique de mobilité durable 2030 du gouvernement du Québec.

L'initiateur doit faire la démonstration de la prise en compte de la mobilité durable dans la planification de son projet et s'engager à harmoniser son projet avec les stratégies gouvernementales actuelles et projetées. Il doit identifier et présenter, au sein de l'infrastructure, des opportunités qui permettraient éventuellement un transfert modal et d'assurer les besoins futurs en transport collectif.

RQC-36 Depuis le début de la conception du projet de reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans, le MTQ travaille en étroite collaboration avec les instances municipales, reconnues par le gouvernement du Québec comme gouvernement de proximité et qui possède les principaux outils de mise en œuvre de mesures structurantes visant la mobilité et l'aménagement du territoire, comme énoncé dans la politique de mobilité durable 2030 (PMD).

Le MTQ doit également s'arrimer aux objectifs, cibles, priorités et mesures d'intervention enchâssés dans sa propre Politique de mobilité durable qui porte comme trame de fond l'approche RTA², soit celle de Réduire / Transférer / Améliorer. Ces trois grands concepts s'expliquent ainsi :

RÉDUIRE

Les déplacements motorisés ou les distances à parcourir pour répondre aux différents besoins de mobilité par une meilleure intégration de la planification du territoire et des transports.

TRANSFÉRER

Les déplacements vers des moyens de transport moins énergivores et qui se traduisent par de plus faibles émissions de GES, comme le transport collectif et actif.

AMÉLIORER

L'efficacité des véhicules en réduisant leur empreinte carbone, mais aussi améliorer les déplacements en termes de coûts, de qualité et de sécurité.

² Transporter le Québec vers la modernité – Politique de Mobilité Durable 2030, p.24

Cette approche propose d'influencer la demande en favorisant un changement de comportement de la part des usagers à l'aide d'une meilleure planification du territoire et de choix de transport plus nombreux afin que les usagers adoptent des habitudes de déplacement favorisant des modes de transport plus durables. Cette approche est donc au diapason des objectifs de réduction des émissions de GES, de la consommation d'énergie et de la congestion.

Le rôle du MTQ dans ce projet de construction est de mettre en place les éléments pouvant favoriser cette transition vers une mobilité plus durable. De manière plus concrète, il le fait en apportant les solutions suivantes :

- **En choisissant une conception géométrique qui améliorera la fluidité et la sécurité sur le pont et aux approches, sans toutefois en augmenter la capacité routière actuelle.** Il a été démontré dans les études de circulation que la capacité actuelle répond adéquatement aux besoins présents et projetés (horizon 2057) des diverses mobilités.
- **En assurant la pérennité de l'infrastructure ainsi que la qualité des aménagements.** À terme, davantage de services de mobilité durable pourront s'étendre sur le territoire, profiter des infrastructures en place et ainsi offrir à la population la possibilité de se déplacer par différents moyens et d'effectuer ce transfert modal souhaité vers les mobilités alternatives.
- **En aménageant de généreux accotements de 2,5 mètres permettant leur utilisation lors d'incidents, de travaux d'entretien ou pour céder le passage aux véhicules d'urgence.** Cette mesure peut améliorer de manière significative les temps de déplacements. Les usagers motorisés et ceux du transport en commun se voient ainsi éviter ces ralentissements qui sont actuellement gérés par l'alternance.
- **En aménageant des infrastructures cyclopiétonnes sécuritaires en continuité des aménagements sur les rives et en tout respect des milieux naturel et patrimonial.** La proposition de deux pistes polyvalentes unidirectionnelles sur le pont répond aux besoins identifiés par le milieu et peut supporter un important transfert modal à long terme vers le transport actif.

Opportunités de transfert modal et considération des besoins futurs du transport collectif

La prise en compte des besoins en mobilité alternative et des potentiels de transfert s'appuie, entre autres sur la situation démographique à l'île d'Orléans, le portrait des déplacements et des parts modales ainsi que sur des analyses en circulation.

Le statut patrimonial de l'île d'Orléans (Loi sur le patrimoine culturel) et la *Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles* limitent le potentiel de développement immobilier sur l'île. Près de l'ensemble du territoire de l'île (94%) est protégé par la *Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles* (LPTAA). Bien qu'il soit pris en compte dans les projections, l'augmentation de la population due au développement immobilier reste faible. En conséquence, les importantes augmentations démographiques restent peu probables.

Le portrait des parts modales et des déplacements produits et attirés par l'île d'Orléans est construit à partir des données des dernières Enquête Origine-Destination 2006, 2011 et 2017³. Le tableau ci-dessous

³ Enquête Origine-Destination 2017, 2011, 2006, Sommaire des résultats

présente un extrait de ces résultats soient, les parts modales et le nombre de déplacements 24 H (sauf retour à la maison), selon le mode de transport.

Tableau 7: Nombre de déplacements par mode (24H sauf retour)

Année	Mode	Nombre déplacement ⁴	Part modal
2006	Auto conducteur	7 376	67,5 %
	Auto passager	1 637	15 %
	Transport actif	616	5,6 %
	Transport en commun	19	0,1 %
	Total déplacements		10 929
2011	Auto conducteur	6 404	71,1 %
	Auto passager	1 172	13 %
	Transport actif	244	2,7 %
	Transport en commun	82	0,9 %
	Total déplacements		9 010
2017	Auto conducteur	8 890	73 %
	Auto passager	2 045	16,8 %
	Transport actif	474	3,8 %
	Transport en commun	77	0,6 %
	Total déplacements		12 169

Certains éléments sont à considérer dans la prise en compte des besoins en mobilité alternative et des potentiels de transfert dans ce tableau :

- Une plus grande propension à la pratique du transport actif pour aller et partir de l'île d'Orléans en comparaison à l'utilisation du transport en commun et malgré l'absence d'aménagements dédiés;
- Un faible nombre de déplacements en mobilité alternative (application de la note méthodologique sur les volumes de déplacements inférieurs à 316 pourraient ne pas être significatifs);
- Une présence marquée du mode auto passager (2 personnes et +) et de possibilités de co-voiturage.

Les études de circulation, ainsi que les projections (jusqu'en 2057) menées dans le cadre du projet de reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans ont quant à elles démontré l'efficacité de la cohabitation entre les

⁴ Enquête Origine-Destination 2017, 2011, 2006, Sommaire des résultats

services de transport collectif et les autres véhicules. Également, aux périodes de pointes du matin et d'après-midi aucune problématique de circulation ou de congestion, que ce soit sur l'Île ou aux approches, n'est relevée.

Des ralentissements sont actuellement observables lors des fortes périodes touristiques, l'été et l'automne. Les ralentissements sont davantage attribuables à la géométrie limitée du pont et de ses approches (largeur de voie, peu ou pas d'accotement disponible). Toutefois, avec sa reconstruction et sa nouvelle configuration, cela aura une répercussion positive sur la fluidité de la circulation.

Ce faisant, l'implantation d'une voie réservée a été exclue pour les raisons suivantes :

- Une voie réservée doit être implantée aux endroits où il y a une problématique de congestion continue ou de refoulement aux approches, ce qui n'est pas le cas sur cette structure;
- Un débit minimal doit être atteint pour qu'une voie réservée soit justifiée; 700 à 1 000 véhicules par heure dans la voie réservée. Cette cible n'est pas atteinte sur le pont actuel et correspond plutôt au volume total de véhicules pour la voie de circulation principale.
- Une voie réservée doit être connectée à un réseau de voies réservées afin qu'elle soit pleinement efficace.

Par ailleurs, un service de transport collectif est actuellement offert par PluMobile et assure une desserte vers la Côte-de-Beaupré et le centre-ville de Québec à raison de 6 passages par jour. Un service de transport adapté est également offert par PluMobile par un système de réservation. À long terme, ces services de transport collectif pourront aisément se déployer sur le nouveau pont où leur potentiel d'expansion et celui des autres mobilités alternatives comme le co-voiturage, l'autopartage, le taxi, entre autres, ont été considérés.

De manière plus large, un projet-pilote d'interconnexion des services de transport adapté sur le territoire de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) et auquel le MTQ participe financièrement est également en cours d'essai. Ce projet-pilote vise à faciliter les déplacements des utilisateurs sur l'ensemble du territoire de la CMQ. De plus, le MTQ offre de l'aide financière susceptible de favoriser l'accessibilité à différents moyens de transport dans le cadre du programme de subvention au transport adapté, ainsi que du programme de subventions aux véhicules collectifs accessibles.

Enfin, le projet de reconstruction du pont de l'île d'Orléans propose une importante amélioration de l'offre en infrastructures cyclo-piétonne pouvant supporter un important transfert modal vers le transport actif, en tout respect des seuils d'achalandage piétonniers et cyclistes maximaux fixés par le guide technique « Aménager pour les piétons et les cyclistes de Vélo Québec »⁵.

⁵ Un débit total inférieur à 300 usagers à l'heure la plus achalandée et un pourcentage de piétons inférieur à 30%. Guide technique Aménager pour les piétons et les cyclistes, Vélo Québec 2019, p.117

Dès le début de la conception du projet de reconstruction du pont, des rencontres avec les instances municipales et différents experts en mobilité active ont été tenues afin d'identifier les besoins. Parmi les éléments ressortis, on retrouve:

- L'intégration d'aménagements pour le transport actif;
- La sécurité des usagers actifs;
- L'harmonisation et la continuité des aménagements pour le transport actif avec le réseau existant en rive nord.

En réponse à ces attentes, l'aménagement prévoit deux pistes polyvalentes de 3 m de largeur de part et d'autre du pont. Les améliorations prévues aux aménagements piétonniers et cyclables le sont tant au point de vue de la convivialité que de la sécurité. Par exemple, les traversées aux intersections sont protégées avec des feux de circulation et du marquage au sol. Des passages sous la route sont prévus pour éviter les conflits entre les usagers actifs et motorisés. Ces deux passages sont aménagés sous la R-368 près de la culée au nord et près de la rue Desjardins sur l'île d'Orléans. S'ajoute également diverses typologies d'aires de repos et de transition sur le pont et aux approches nord et sud incluant du mobilier urbain et des espaces de stationnement pour les vélos. De l'éclairage est également prévu afin d'assurer la sécurité de ces espaces.

Impacts sonores

QC-37 L'initiateur doit s'engager à respecter les Lignes directrices relativement aux niveaux sonores provenant d'un *chantier de construction industrielle*⁶.

RQC-37 Le MTQ s'engage à respecter les lignes directrices relativement aux niveaux sonores provenant d'un chantier de construction industriel ainsi que sa politique en matière de gestion du bruit.

⁶ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Lignes directrices relativement aux niveaux sonores provenant d'un chantier de construction industriel*, 27 mars 2015, [En ligne : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/lignes-directrices-construction.pdf>].

GES

QC-38 L'explication de la méthodologie utilisée pour la quantification des différentes sources d'émission de GES ainsi que les résultats des calculs sont présentés dans l'étude d'impact. Toutefois, le détail des calculs pour chaque source est absent. Dans l'« annexe F - GES », la référence est faite à un chiffrier de calcul Excel.

- A.** L'initiateur doit s'engager à fournir lors de la première demande d'autorisation ministérielle ce chiffrier de calcul utilisé pour la quantification de toutes les sources d'émissions de GES et de carbone noir considérées, en incluant les formules et hypothèses posées, ceci à des fins de validation, en respect des principes de la norme ISO 14064.

RQC-38A Les fichiers ayant servi aux calculs des émissions de GES et de carbone noir dans l'étude d'impact sont disponibles à l'annexe 8.

QC-39 À la section 9.1.3 de l'étude d'impact (p.148), sur la surveillance des émissions de GES, il est indiqué que : « La source de GES que représenterait l'activité de déboisement, ainsi que l'activité de reboisement (paysagement) qui constituerait un puits de carbone, n'ont pas été pris en compte dans le bilan GES de la phase construction étant donné le manque d'information précise pour faire ces calculs. Des activités de surveillance ont donc été établies afin d'inclure les activités de déboisement et de reboisement au bilan GES. » Afin de respecter le principe de complétude de la norme ISO 14064 sur la quantification des émissions de GES, il est nécessaire de quantifier toutes les sources. Ainsi, en l'absence de données très précises, il est tout de même nécessaire d'effectuer une quantification en utilisant les données disponibles et en posant les hypothèses les plus plausibles possibles.

- A.** L'initiateur doit s'engager à fournir lors de la première demande d'autorisation, une quantification pour cette source en cohérence avec le plan de déboisement décrit dans l'étude d'impact et en vous référant à la méthodologie présentée à la section 3.9 du « Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre du MELCC ».

RQC-39A Les superficies de déboisement présentées constituent un maximum. Les superficies exactes de déboisement seront définies en fonction de la conception définitive réalisée par l'entrepreneur lors de l'exécution du contrat C-C et détermineront le besoin réel en compensation.

Le MTQ s'engage à fournir lors de la demande d'autorisation pour les travaux une quantification des émissions de GES liés au déboisement au terme de la conception définitive de l'entrepreneur.

Documents cités dans l'étude d'impact à transmettre

QC-40 Différents documents de support à l'étude d'impact n'ont pas été fournis. Ces documents sont importants pour permettre d'analyser chaque enjeu adéquatement, ainsi il est demandé à l'initiateur de fournir ces documents :

- Rapports sur les inventaires floristiques à statut qui ont eu lieu, soit les 31 mai et 18 juillet 2018, et d'un inventaire réalisé en 2017, mentionné dans l'étude d'impact (p.129, p.40 de l'annexe D) sans aucune autre précision (incluant les fiches d'inventaires terrain qui ont servi à caractérisation du milieu naturel).
- MASSON, A., E. VALIQUETTE et L. L'ITALIEN (2021a). Rapport sur les mesures des impacts de la construction et de la mise en opération du nouveau pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, VII + 16 p.
- MASSON, A., E. VALIQUETTE et L. L'ITALIEN (2021b). Rapport sur les mesures des impacts de la déconstruction du pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, VII + 9 p.
- MTQ – Ministère des Transports du Québec. 2021a. Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, Étude hydraulique pour la reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans. Structure no : P-19555.
- MTQ – Ministère des Transports du Québec. 2021b. Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, avis technique, évaluation des impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées allongées proposées par Groupe Origine Orléans (GOO). 6 pages
- MTQ – Ministère des Transports du Québec. 2021c. Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, avis technique, Évaluer les impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées de déconstruction et le dragage prévus par Arup 6 pages.
- Fiches d'inventaire des structures anthropiques littorales qui pourraient potentiellement être retirées dans le but de compenser les pertes du projet de reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans, et qui sont identifiées dans le tableau 7-1.

RQC-40 Les documents demandés sont joints en annexe au présent document. Il est cependant important de noter qu'il n'existe pas de rapport sur les inventaires floristiques à statut : les résultats d'inventaires sont intégrés dans la description du milieu récepteur présentée en annexe de l'étude d'impact (annexe D). Les informations colligées dans les fiches de terrain sont présentées sous forme de tableaux qui sont disponibles à l'annexe B de l'annexe D de l'étude d'impact. La mention indiquant qu'un inventaire floristique avait eu lieu en 2017 est une erreur, c'est plutôt l'identification des zones d'étude qui a été effectuée en 2017.

Les fiches d'inventaire des sept interventions de compensation envisageable à proximité immédiate du projet de pont sont fournies à l'annexe 9. Outre les neuf interventions non retenues initialement mentionnées à la section 7.2.1 de l'étude d'impact, sept autres ont été présentées suffisamment en détail à sa section 7.2.5. Pour ce qui est des 34 autres interventions possibles illustrées à la carte 7-1 de l'étude d'impact, beaucoup d'entre elles présentent des contraintes majeures de réalisation (multiples propriétaires, propriétaires ayant leurs propres besoins de compensation, complexité du dossier en matière d'accessibilité, de contamination, etc., coûts jugés actuellement trop élevés par rapport aux gains espérés, etc.). D'autre part, certaines recherches d'informations ont été faites à cette étape très préliminaire, sans en aviser les propriétaires. Les informations spécifiques les concernant doivent donc demeurer confidentielles. Enfin, il faut comprendre également que les programmes de compensation jugés acceptables pourraient à plus ou

moins brève échéance devenir plutôt rares, et provoquer ainsi une surenchère des valeurs de ces terrains. Cela explique donc le choix effectué dans l'illustration des sites sur la carte 7-1.

Commentaires

À l'annexe D de l'étude d'impact - Description du milieu, section 4.3.4, veuillez noter que quatre aires de concentration d'oiseaux aquatiques et non trois sont présentes dans le secteur. Il manque celle de Boischatel (no. 02-03-0147), qui est localisée du côté aval nord du pont actuel, qui fait pourtant partie de la zone d'influence des travaux.

ANNEXES

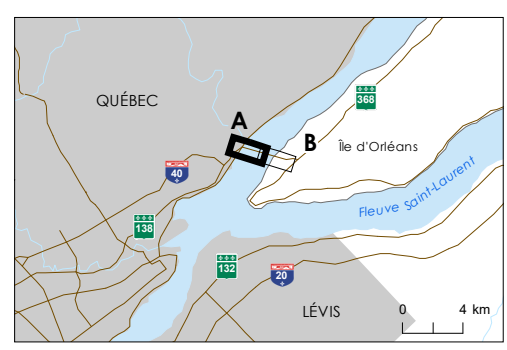
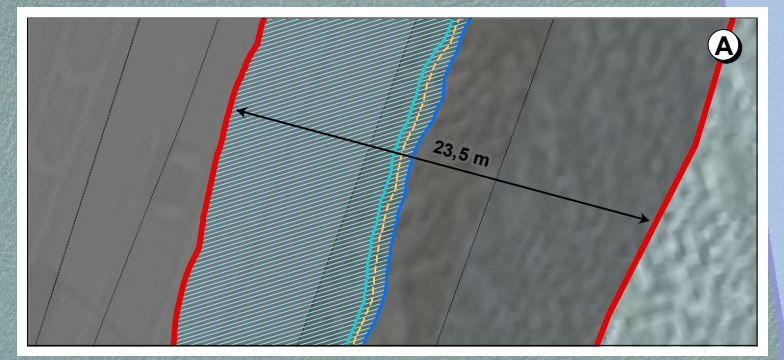
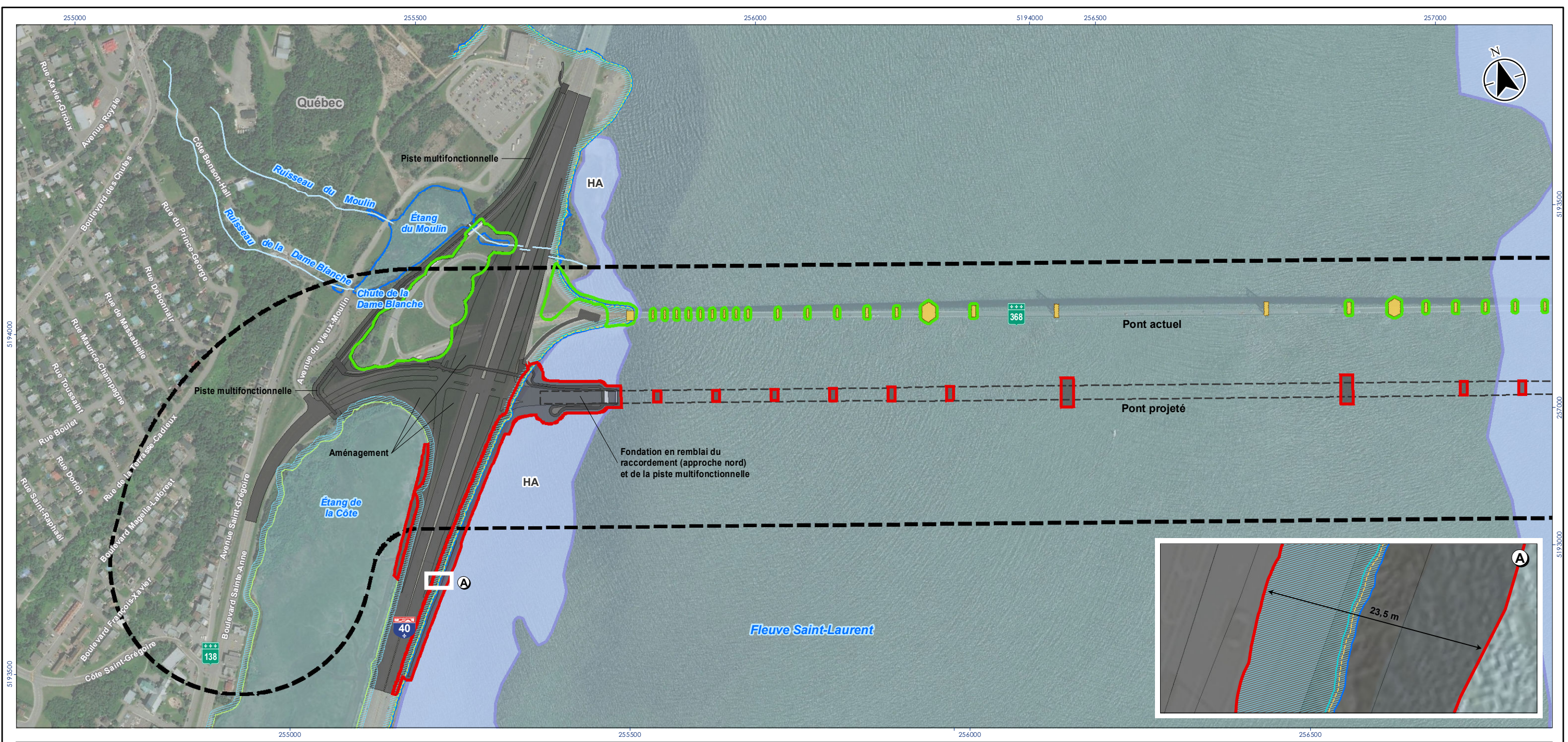
Annexe 1 (RQC-3 et RQC-6)	Tableau des empiétements temporaire et permanent pour le projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent et carte
Annexe 2 (RQC-15B)	Résultats des inventaires réalisés dans l'étang de la Côte
Annexe 3 (RQC-16A et 40)	Rapport sur les mesures des impacts de la construction et de la mise en opération du nouveau pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune
Annexe 4 (RQC-16A et 40)	Rapport sur les mesures des impacts de la déconstruction du pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune
Annexe 5 (RQC-16A et 40)	Étude hydraulique pour la reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans
Annexe 6 (RQC-16A et 40)	Avis technique, évaluation des impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées allongées proposées
Annexe 7 (RQC-16A et 40)	Avis technique, évaluation des impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées de déconstruction et le dragage prévus
Annexe 8 (RQC-38)	Fichiers de calcul pour la quantification des sources d'émissions de GES et de carbone noir
Annexe 9 (RQC-40)	Fiches d'inventaire des structures anthropiques littorales qui pourraient potentiellement être retirées dans le but de compenser les pertes du projet de reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans, et qui sont identifiées dans le tableau 7-1.
Annexe 10	Projet de reconstruction du pont de l'île d'Orléans (3220-02-002) - Demandes d'engagements et d'informations complémentaires

Annexe 1

Tableau 1: Empiètements temporaires et permanents pour le projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Cotes BMIGM : -1,98 m PMSMM fleuve : 3,02 m PMSMM étang de la Côte : 2,65 m LHE fleuve : 4,58 m LHE étang de la Côte: 3,81 m Rive : 10 m 0-20 ans: 4,90 m 0-100 ans: 5,11 m		Type de milieu											Bilan				
		Anthropique	Littoral						Rive (LHE + 10m horizontal)	Plaine inondable		Milieu humide terrestre					
			Entre LHE et PMSMM	Habitat du poisson				20 ans (>4,58 m et ≤ 4,90 m)		100 ans (>4,90 m et ≤ 5,11 m)	Marais	Marécage					
			Fleuve (>3,02 m et ≤ 4,58 m)	zone intertidale (>-1,98 m et ≤3,02 m)		zone subtidale (≤-1,98 m)							Habitat du poisson	Littoral	Rive	Plaine inondable	Milieux humides terrestres
Nouveau pont	Piles A2 à A7 et A10 à A18	0	0	1 116	1 335	0	487	0	0	0	0	0	2 938	2 938	0	0	0
	Culées C1 et C19	0	181	0	181	0	0	0	0	0	0	0	181	362	0	0	0
	Pylônes P8 et P9	0	0	0	0	0	1 672	0	0	0	0	0	1 672	1 672	0	0	0
	Fondation en remblai du raccordement nord et de la piste multifonction (inclus les talus)	9 796	1 472	5 492	7 989	0	0	1 521	0	0	0	0	13 481	14 953	1 521	0	0
	Aménagement permanent nord	4 146	490	432	0	0	0	572	0	0	0	0	432	922	572	0	0
	Aménagement permanent sud	0	2 779	51	0	0	0	851	327	227	0	0	51	2 830	851	554	0
	Stationnements (inclus un talus)	0	0	0	0	0	0	0	0	245	0	0	0	0	0	245	0
	Fondation en remblai du raccordement sud et de la piste multifonction (inclus les talus)	1 305	10 723	177	0	0	0	4 154	1 741	2 380	6 490	4 335	177	10 900	4 154	4 121	10 825
	Nouveau ponceau ruisseau Grande rivière	<i>Inclus dans la construction de la fondation en remblai du raccordement sud</i>															
	Total des empiètements permanents (nouveau pont)	15 247	15 645	7 268	9 505	0	2 159	7 098	2 068	2 852	6 490	4 335	18 932	34 577	7 098	4 920	10 825
Empiètement temporaire (m ²)	Jetée temporaires nord	0	0	13 971	4 825	0	1 114	0	0	0	0	0	19 910	19 910	0	0	0
	Jetée temporaires sud	0	966	7 903	21 372	0	3 533	0	0	0	0	0	32 808	33 774	0	0	0
	Dragage nord	0	0	318	0	0	7 074	0	0	0	0	0	7 392	7 392	0	0	0
	Aire de chantier	1 739	5 157	0	0	0	0	3 577	740	685	0	0	0	5 157	3 577	1 425	0
	Palées provisoires	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	0	14	14	0	0	0
Total des empiètements temporaires (nouveau pont)	1 739	6 123	22 192	26 197	7	11 728	3 577	740	685	0	0	60 124	66 247	3 577	1 425	0	
Retrait de structure anthropique (m²)	Excavation du nouvel étang	0	2 300	9 832	0	0	0	6 468	0	0	0	0	9 832	12 132	6 468	0	0
Déconstruction du pont existant	Jetée temporaire nord	461	29	7 782	2 406	0	0	0	0	0	0	0	10 188	10 217	0	0	0
	Jetée temporaire sud	0	0	6 834	13 906	0	0	0	0	0	0	0	20 740	20 740	0	0	0
	Dragage au nord	0	0	9 317	0	0	6 378	0	0	0	0	0	15 695	15 695	0	0	0
	Dragage au sud	0	0	2 286	0	0	1 103	0	0	0	0	0	3 389	3 389	0	0	0
	Excavation autour des piles (sauf P18 et P19)	0	0	3 709	2 587	0	875	0	0	0	0	0	7 171	7 171	0	0	0
	Aires de chantier – nord et sud	<i>Aucune superficie supplémentaire nécessaire</i>															
Total des empiètements temporaires (déconstruction pont existant)	461	29	29 928	18 899	0	8 356	0	0	0	0	0	57 183	57 212	0	0	0	
Retrait de structure anthropique (m ²)	Fondations des piles 2 à 38	0	0	2 083	728	146	805	0	0	0	0	0	3 762	3 762	0	0	0
	Déconstruction des jetées en remblais des culées 1 et 39	1 340	544	2 464	7 982	0	0	0	0	0	0	0	10 446	10 990	0	0	0
Total retrait structures anthropiques (déconstruction du pont existant)		1 340	544	4 547	8 710	146	805	0	0	0	0	0	14 208	14 752	0	0	0
Grands totaux	Retrait de structure anthropique (m²)	1 340	2 844	14 379	8 710	146	805	6 468	0	0	0	0	24 040	26 884	6 468	0	0
	Empiètements permanents (m²)	15 247	15 645	7 268	9 505	0	2 159	7 098	2 068	2 852	6 490	4 335	18 932	34 577	7 098	4 920	10 825
	Empiètements temporaires (m²)	2 200	6 152	52 120	45 096	7	20 084	3 577	740	685	0	0	117 307	123 459	3 577	1 425	0

Notes:
 Littoral : toutes les superficies sous la LHE (cote d'inondation de récurrence 2 ans). Les milieux humides qui s'y trouvent sont considérés comme faisant partie du littoral.
 Rive : bande de terre telle que définie dans le RAMHHS et la PPRLPI. Les milieux humides qui se trouvent dans la rive sont considérés comme faisant partie de la rive.
 Plaines inondables : telle que définie par la PPRLPI. Une référence à une plaine inondable *existante* le littoral et la rive ainsi que tout milieu humide qui y est présent.
 Milieu humide terrestre: marais, marécage, étang, tourbière tels que définis dans le RAMHHS, et situé hors littoral et hors rive.
 LHE: ligne des hautes eaux
 PMSMM: Niveau de la pleine mer supérieure, marée moyenne
 RAMHHS: Règlement sur les activités dans des milieux humides, hydriques et sensibles
 PPRLPI: Politique de protection des rives, du littoral et des plaines inondables
 LQE: Loi sur la qualité de l'environnement
 LP: Loi sur les pêches



- Composante de projet**
- Zone d'inventaire du milieu naturel (200 m de part et d'autre du tracé projeté)
 - Pont projeté
 - Infrastructure existante (pile ou culée)
 - Infrastructure permanente
 - Empiètement permanent
 - Retrait de structure anthropique

- Milieu hydrique**
- Cours d'eau permanent
 - LHE¹ (4,58 m)
 - LHE¹ Étang de la Côte (3,81)
 - Limite de la crue (20 ans - 4,90 m)
 - Limite de la crue (100 ans - 5,11 m)
 - Bande riveraine (10 m)
 - Herbier aquatique

- Sources**
1. Système de coordonnées : NAD 1983 CSRS MTM 7
 2. Composantes de projet : Stantec, 2021
 3. Inventaire et caractérisation : Stantec et Aménatech inc., 2018
 4. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2019
 5. Hydrographie (cotes) : Stantec 2021
 6. Cours d'eau : GRHQ, 2018
 7. Réseau routier : Adresses Québec, 2020
 8. Image aérienne : World Imagery, 2020

¹ LHE (Ligne des Hautes Eaux)



Localisation du projet
 Ville de Québec
 Québec

167040088-C0039 REV0
 Préparé par Julie Brunette le 2022-01-17
 Vérifié par Louis-Simon Barville le 2022-01-17
 Révision indépendante par Mario Heppel le 2022-01-17

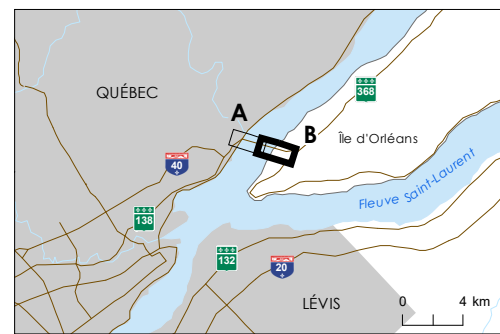
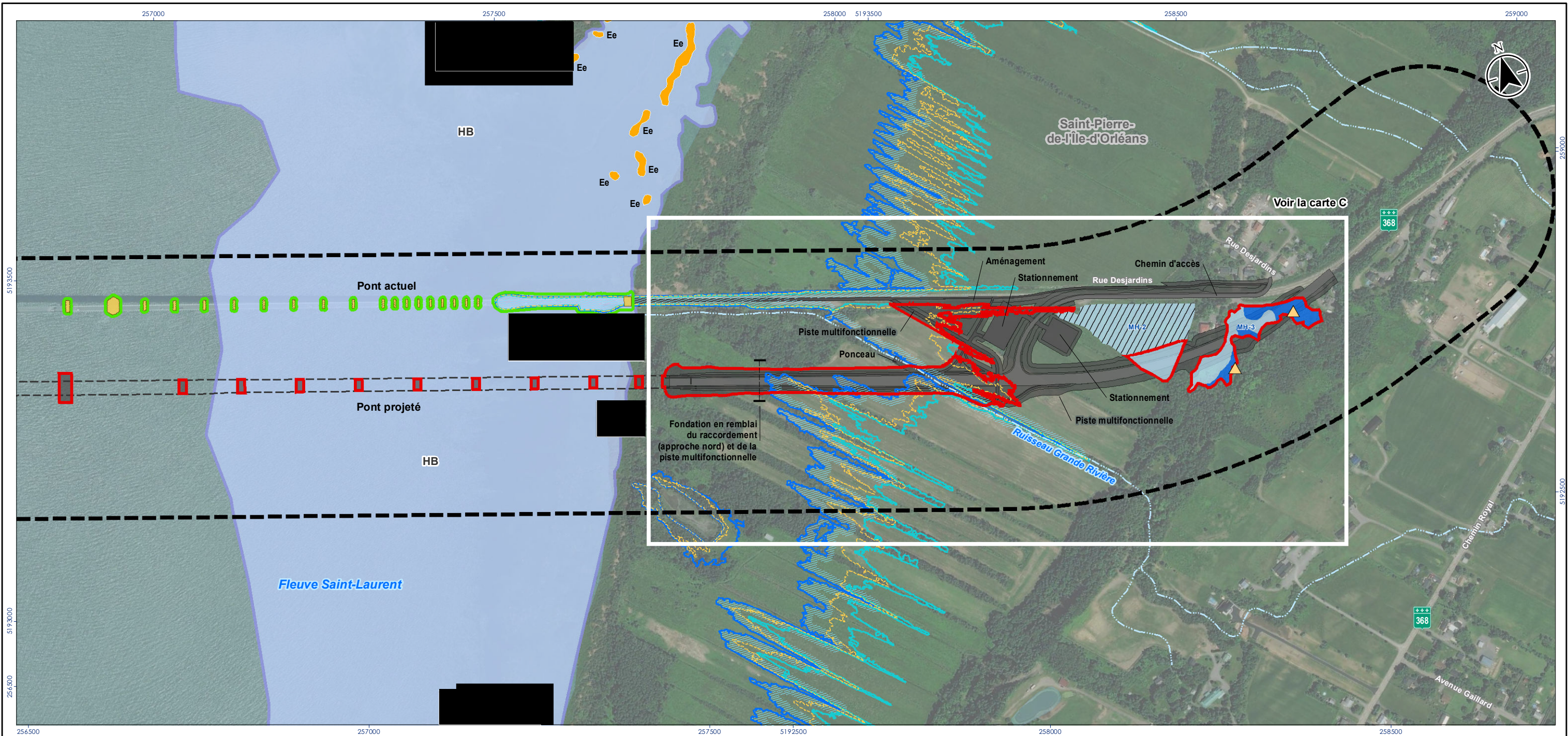
Cient/Projet
 Ministère des Transports
 Projet de construction d'un pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Carte No.
5-1-1A

Titre
Empiètements permanents en milieux humides et hydriques

\\cad1127-10\PROJETS_PARIAGES\167040088-C0039-00_EmpPermanent_MH_Hydroque_C5-1_20220117.mxd Révision : 2022-01-17 For : Brunette

Prrière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.



Composante de projet

- Zone d'inventaire du milieu naturel (200 m de part et d'autre du tracé projeté)
- Pont projeté
- Infrastructure existante (pile ou culée)
- Infrastructure permanente
- Empiètement permanent
- Retrait de structure anthropique

Espèce menacée ou vulnérable (EFMVS)

- Noyer cendré (susceptible d'être désignée)

Espèce végétale désignée et susceptibles (CDPNQ)

- Menacée**
- Cicutaire de Victorin (CV)
- Ériocaulon de Parker (EP)
- Susceptible**
- Éléocharide des estuaires (Ee)

Sources

1. Système de coordonnées : NAD 1983 CSRS MTM 7
2. Composantes de projet : Stantec, 2021
3. Inventaire et caractérisation : Stantec et Aménatech inc., 2018
4. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2019

Milieu humide

- Au-dessus de la rive**
- Marais
- Marécage arbustif
- Milieu humide résiduel

Milieu hydrique

- Cours d'eau permanent
- Cours d'eau intermittent
- LHE¹ (4,58 m)
- LHE¹ Étang de la Côte (3,81)
- Limite de la crue (20 ans - 4,90 m)
- Limite de la crue (100 ans - 5,11 m)
- Bande riveraine (10 m)
- Herbier aquatique

¹ LHE (Ligne des Hautes Eaux)



Localisation du projet
 Ville de Québec
 Québec

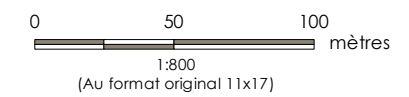
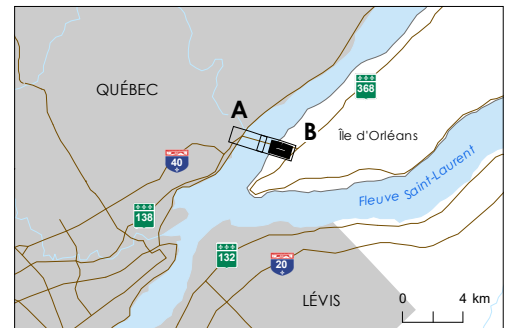
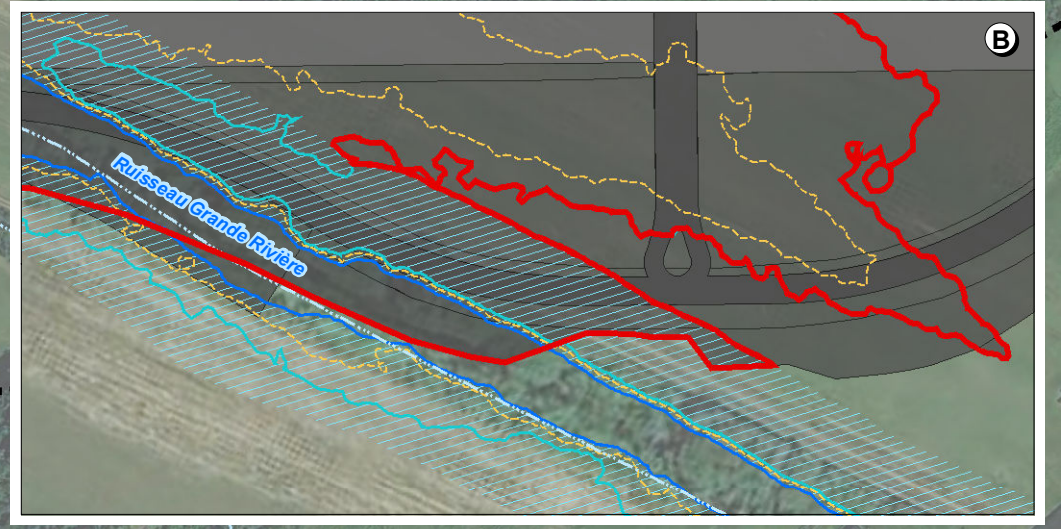
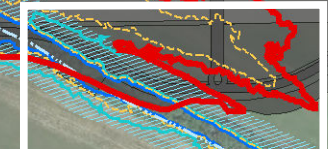
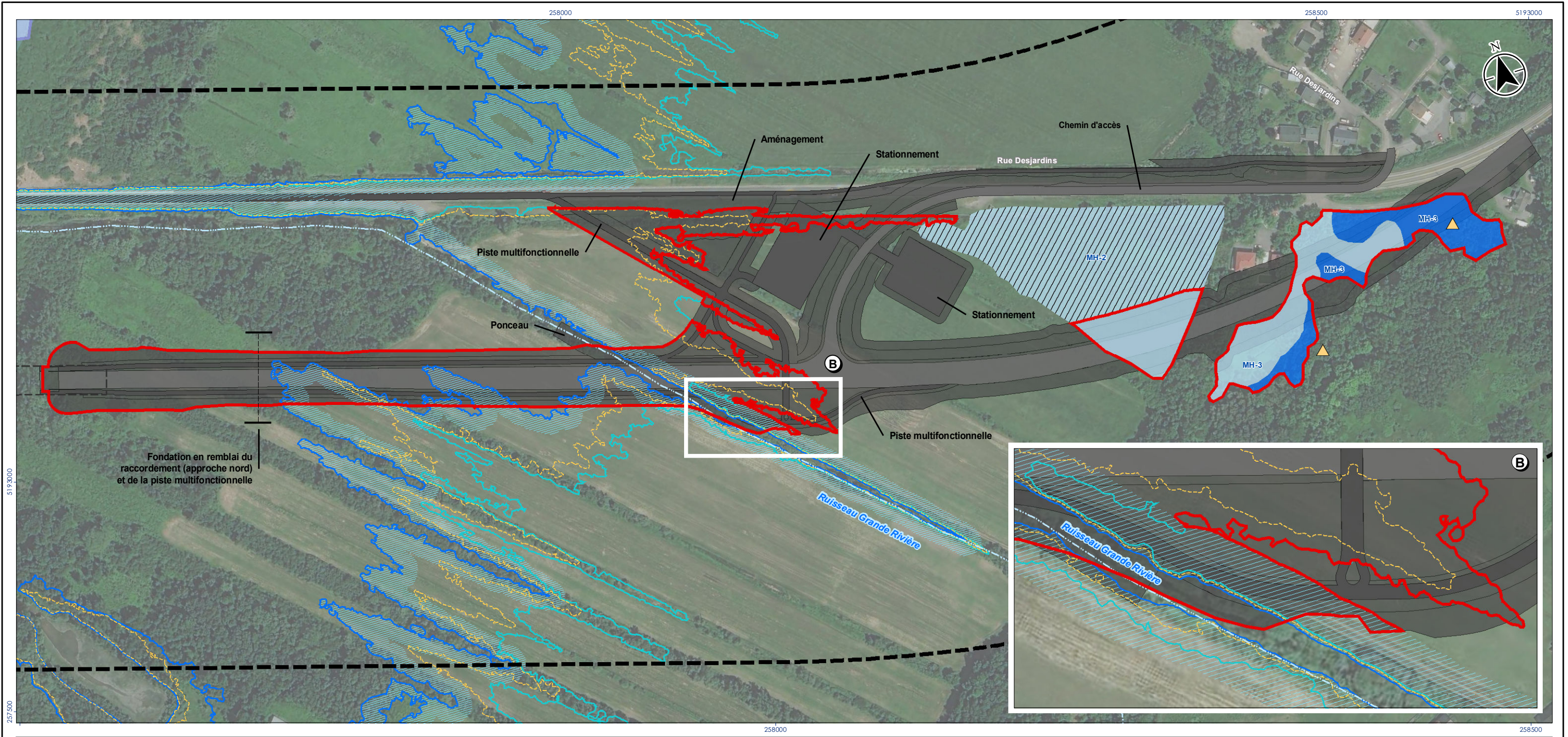
167040088-C0039 REV0
 Préparé par Julie Brunette le 2022-01-17
 Vérifié par Louis-Simon Barville le 2022-01-17
 Révision indépendante par Mario Heppel le 2022-01-17

Cient/Projet
 Ministère des Transports
 Projet de construction d'un pont à haubans pour relier
 l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Carte No.
5-1-1B

Titre
**Empiètements permanents en milieux
 humides et hydriques**

\\cad1127-10\PROJETS_PARIAGES\167040088-C0039-00_EmpPermanent_MH_Hydroque_C5-1-1_20220117.mxd Révision : 2022-01-17 For : brunette



- Composante de projet**
- Zone d'inventaire du milieu naturel (200 m de part et d'autre du tracé projeté)
 - Pont projeté
 - Infrastructure existante (pile ou culée)
 - Infrastructure permanente
 - Empiètement permanent
 - Retrait de structure anthropique

- Espèce menacée ou vulnérable (EFMVS)**
- Noyer cendré (susceptible d'être désignée)

- Milieu humide**
- Au-dessus de la rive**
- Marais
 - Marécage arbustif
 - Milieu humide résiduel

- Milieu hydrique**
- Cours d'eau intermittent
 - LHE¹ (4,58 m)
 - LHE¹ Étang de la Côte (3,81)
 - Limite de la crue (20 ans - 4,90 m)
 - Limite de la crue (100 ans - 5,11 m)
 - Bande riveraine (10 m)
 - Herbier aquatique

- Sources**
1. Système de coordonnées : NAD 1983 CSRS MTM 7
 2. Composantes de projet : Stantec, 2021
 3. Inventaire et caractérisation : Stantec et Aménatech inc., 2018
 4. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2019
 5. Hydrographie (cotes) : Stantec 2021
 6. Cours d'eau : GRHQ, 2018
 7. Réseau routier : Adresses Québec, 2020
 8. Image aérienne : World Imagery, 2020

¹ LHE (Ligne des Hautes Eaux)



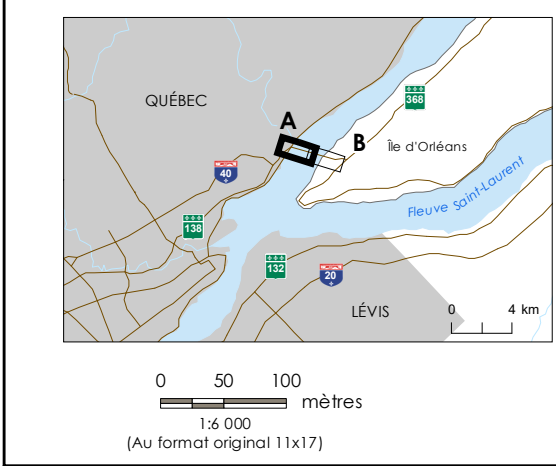
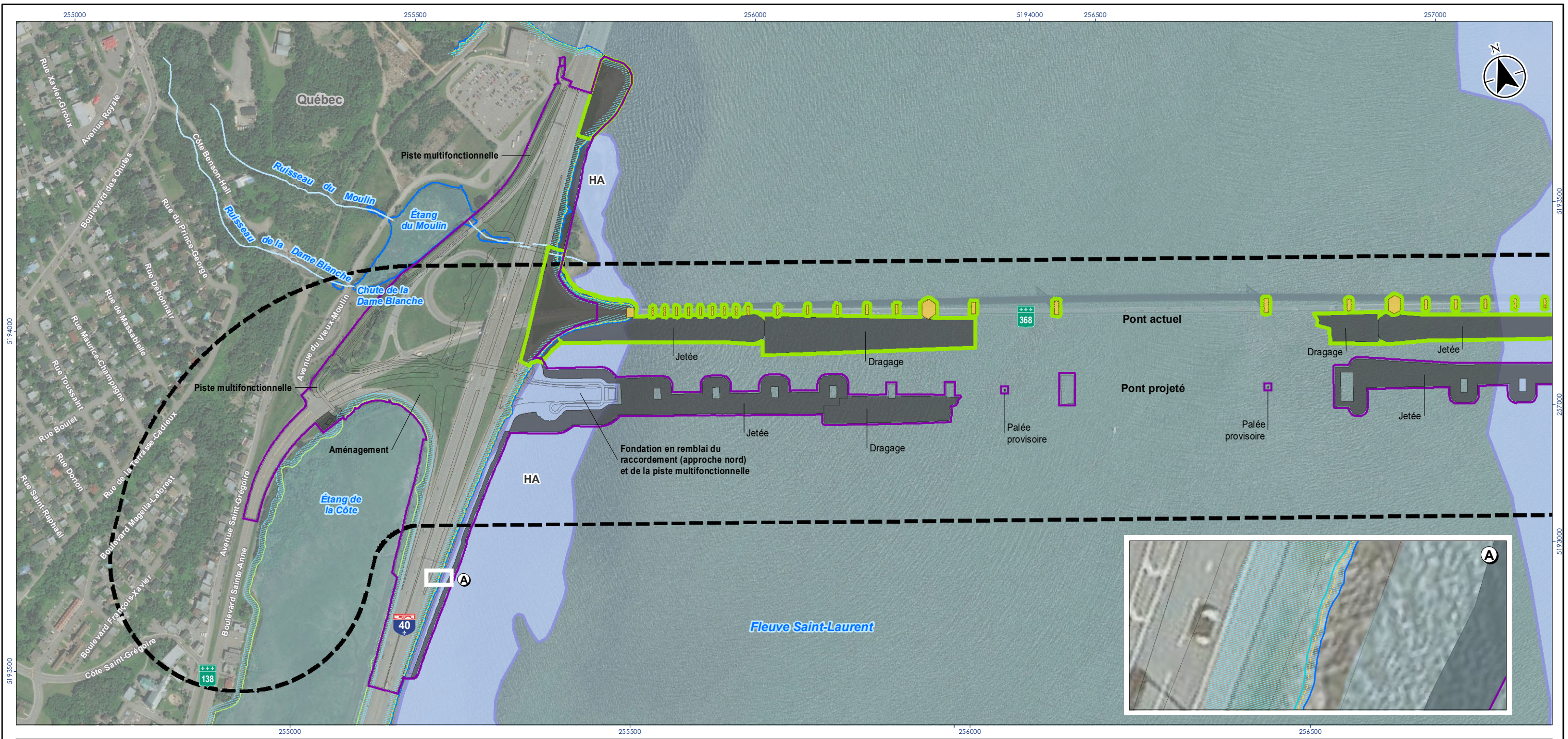
Localisation du projet
 Ville de Québec
 Québec

167040088-C0039 REV0
 Préparé par Julie Brunette le 2022-01-17
 Vérifié par Louis-Simon Barville le 2022-01-17
 Révision indépendante par Mario Heppel le 2022-01-17

Cient/Projet
 Ministère des Transports
 Projet de construction d'un pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Carte No.
5-1-1C

Titre
Empiètements permanents en milieux humides et hydriques



- Composante de projet**
- Zone d'inventaire du milieu naturel (200 m de part et d'autre du tracé projeté)
 - Pont projeté
 - Aire de chantier (construction)
 - Aire de chantier (déconstruction)
 - Infrastructure existante (pile ou culée)
 - Infrastructure permanente
 - Infrastructure temporaire

- Milieu hydrique**
- Cours d'eau permanent
 - LHE¹ (4,58 m)
 - LHE¹ Étang de la Côte (3,81)
 - Limite de la crue (20 ans - 4,90 m)
 - Limite de la crue (100 ans - 5,11 m)
 - Bande riveraine (10 m)
 - Herbier aquatique

- Sources**
1. Système de coordonnées : NAD 1983 CSRS MTM 7
 2. Composantes de projet : Stantec, 2021
 3. Inventaire et caractérisation : Stantec et Aménatech inc., 2018
 4. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2019
 5. Hydrographie (cotes) : Stantec 2021
 6. Cours d'eau : GRHQ, 2018
 7. Réseau routier : Adresses Québec, 2020
 8. Image aérienne : World Imagery, 2020

¹ LHE (Ligne des Hautes Eaux)



Localisation du projet
 Ville de Québec
 Québec

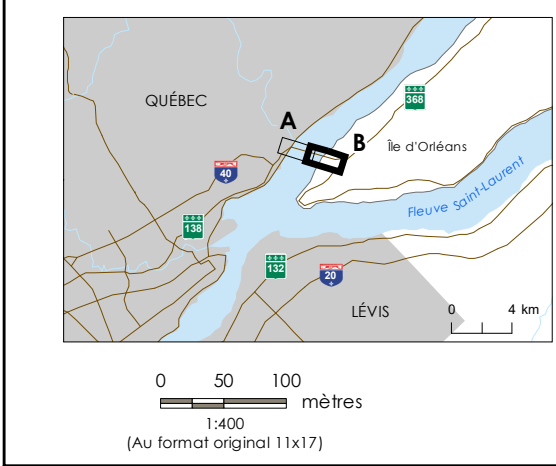
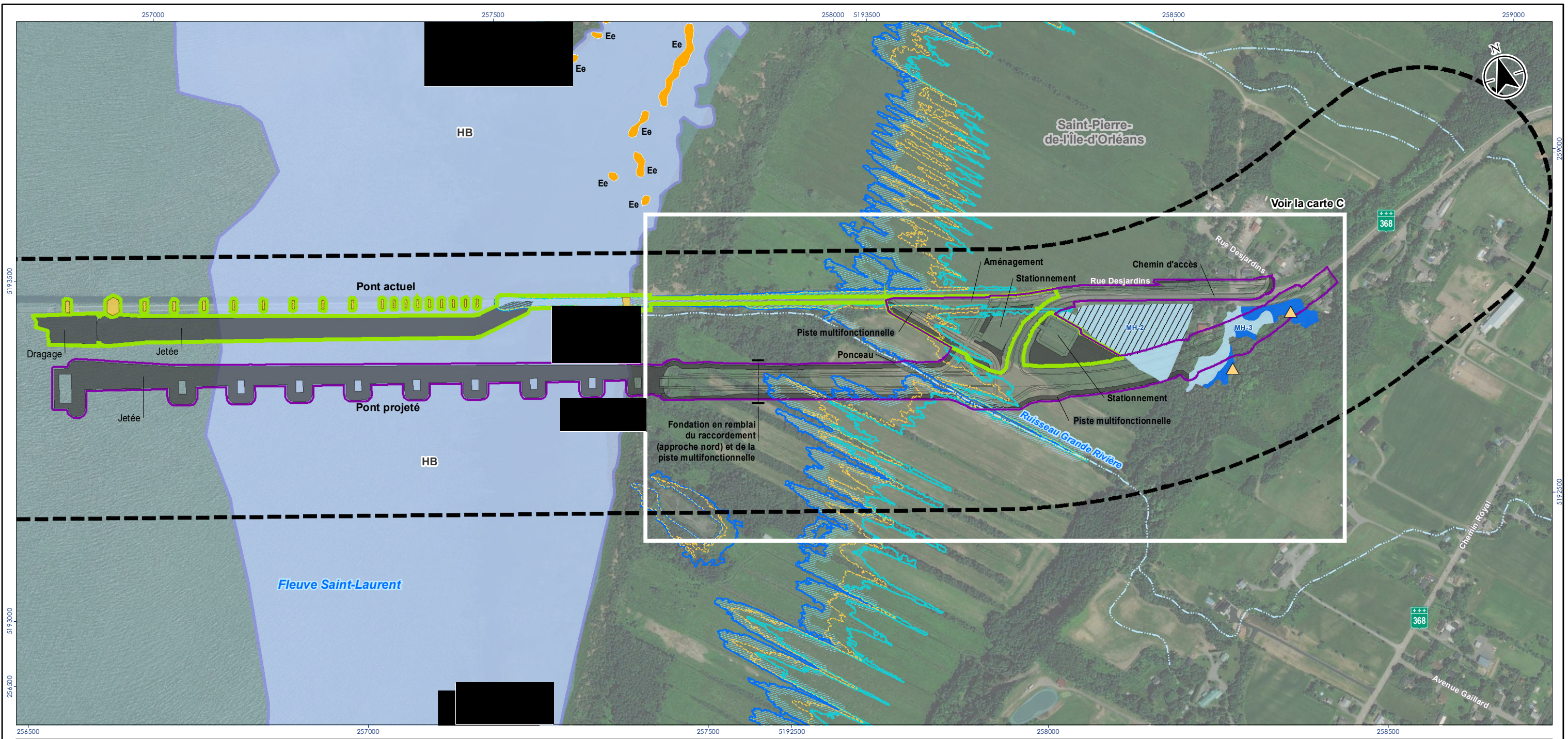
167040088-C0039 REV0
 Préparé par Julie Brunette le 2022-01-17
 Vérifié par Louis-Simon Barville le 2022-01-17
 Révision indépendante par Mario Heppell le 2022-01-17

Client/Projet
 Ministère des Transports
 Projet de construction d'un pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Carte No.
5-1-2A

Titre
Empiètements temporaires en milieux humides et hydriques

Prrière de ne pas modifier les échelles de dimensions des plans/dessins transmis – toute erreur ou omission doit être rapportée à Stantec sans délai. Les droits d'auteur des plans et dessins demeurent la propriété de Stantec. Toute reproduction ou utilisation pour tout autre motif autre que celui autorisé par Stantec est strictement interdite.



- Composante de projet**
- Zone d'inventaire du milieu naturel (200 m de part et d'autre du tracé projeté)
 - Pont projeté
 - Aire de chantier (construction)
 - Aire de chantier (déconstruction)
 - Infrastructure existante (pile ou culée)
 - Infrastructure permanente
 - Infrastructure temporaire

- Espèce menacée ou vulnérable (EFMVS)**
- Noyer cendré (susceptible d'être désignée)
- Espèce végétale désignée et susceptibles (CDPNQ)**
- Menacée**
- Ciculaire de Victorin (CV)
 - Ériocaulon de Parker (EP)
- Susceptible**
- Éléocharide des estuaires (Ee)

- Sources**
1. Système de coordonnées : NAD 1983 CSRS MTM 7
 2. Composantes de projet : Stantec, 2021
 3. Inventaire et caractérisation : Stantec et Aménatech inc., 2018
 4. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2019

- Milieu humide**
- Au-dessus de la rive**
- Marais
 - Marécage arbustif
 - Milieu humide résiduel

- Milieu hydrique**
- Cours d'eau permanent
 - Cours d'eau intermittent
 - LHE¹ (4,58 m)
 - LHE¹ Étang de la Côte (3,81)
 - Limite de la crue (20 ans - 4,90 m)
 - Limite de la crue (100 ans - 5,11 m)
 - Bande riveraine (10 m)
 - Herbier aquatique

¹ LHE (Ligne des Hautes Eaux)

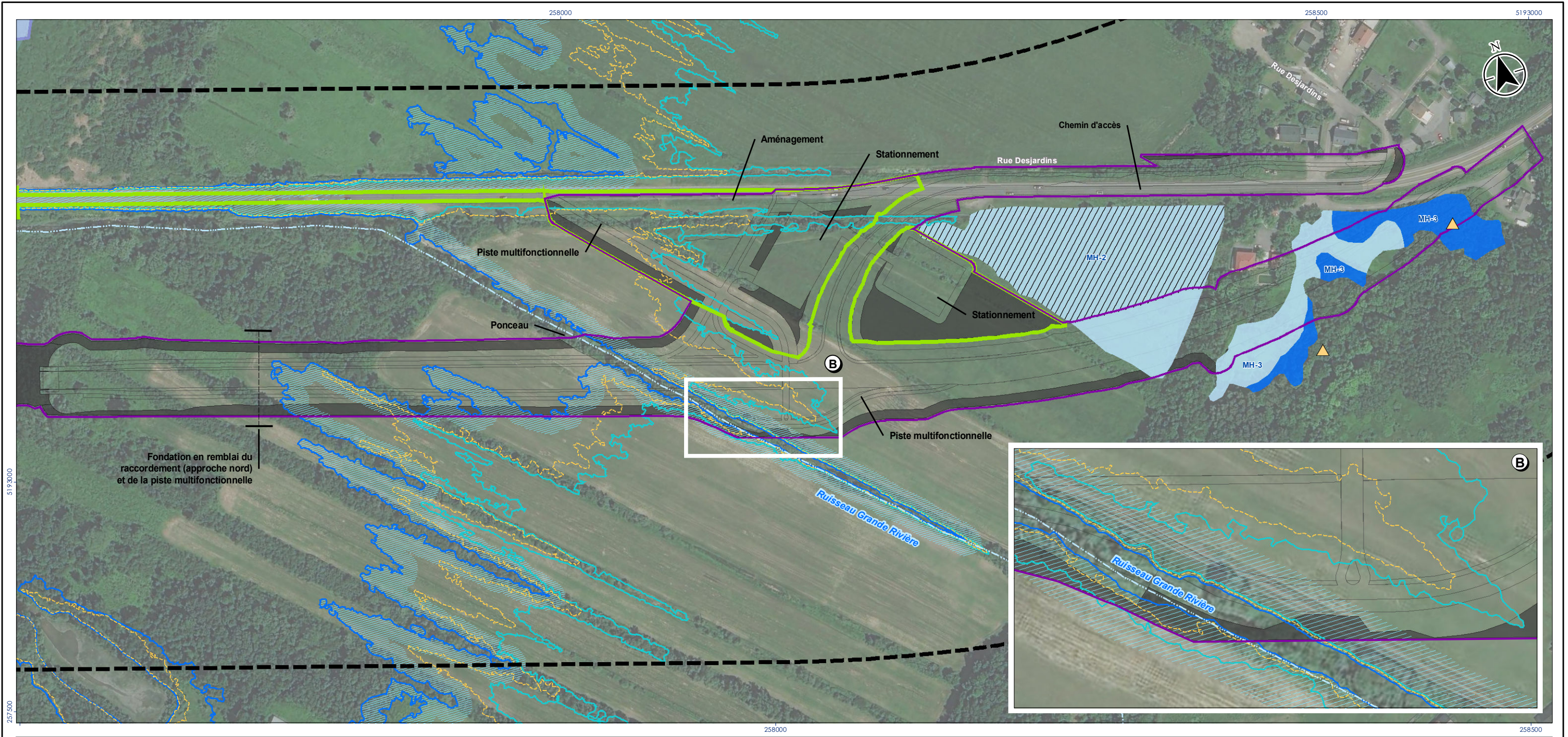
Localisation du projet
 Ville de Québec
 Québec

167040088-C0039 REV0
 Préparé par Julie Brunette le 2022-01-17
 Vérifié par Louis-Simon Barville le 2022-01-17
 Révision indépendante par Mario Heppel le 2022-01-17

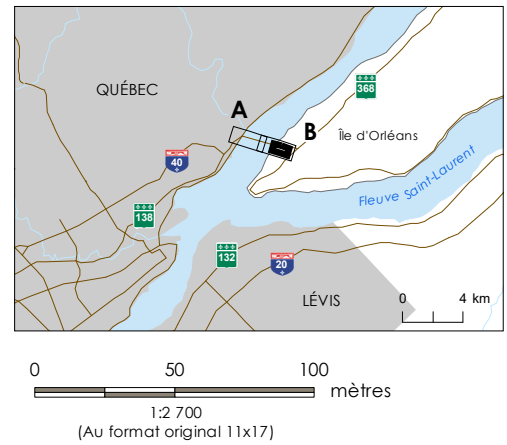
Client/Projet
 Ministère des Transports
 Projet de construction d'un pont à haubans pour relier
 l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Carte No.
5-1-2B

Titre
Empiètements temporaires en milieux humides et hydriques



\cad\122-10\PROJETE_PARRAGES\167040088-C0039-00_Emp\Temporaire_MH\Hydrique_CS-12_20220117.mxd Révisé : 2022-01-17 Par : Brunette
 257500 5193000 258000 258500 5193000 258500



- Composante de projet**
- Zone d'inventaire du milieu naturel (200 m de part et d'autre du tracé projeté)
 - Pont projeté
 - Aire de chantier (construction)
 - Aire de chantier (déconstruction)
 - Infrastructure existante (pile ou culée)
 - Infrastructure permanente
 - Infrastructure temporaire

- Espèce menacée ou vulnérable (EFMVS)**
- Noyer cendré (susceptible d'être désignée)

- Milieu humide**
- Au-dessus de la rive**
- Marais
 - Marécage arbustif
 - Milieu humide résiduel

- Milieu hydrique**
- Cours d'eau intermittent
 - LHE¹ (4,58 m)
 - LHE¹ Étang de la Côte (3,81)
 - Limite de la crue (20 ans - 4,90 m)
 - Limite de la crue (100 ans - 5,11 m)
 - Bande riveraine (10 m)
 - Herbier aquatique

- Sources**
1. Système de coordonnées : NAD 1983 CSRS MTM 7
 2. Composantes de projet : Stantec, 2021
 3. Inventaire et caractérisation : Stantec et Aménatech inc., 2018
 4. Milieux humides : Canards Illimités Canada, 2019
 5. Hydrographie (cotes) : Stantec 2021
 6. Cours d'eau : GRHQ, 2018
 7. Réseau routier : Adresses Québec, 2020
 8. Image aérienne : World Imagery, 2020

¹ LHE (Ligne des Hautes Eaux)

Localisation du projet : 167040088-C0039 REV0
 Ville de Québec Préparé par Julie Brunette le 2022-01-17
 Québec Vérifié par Louis-Simon Barville le 2022-01-17
 Révision indépendante par Mario Heppell le 2022-01-17

Client/Projet : Ministère des Transports
 Projet de construction d'un pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Carte No. : 5-1-2C
 Titre : **Empiètements temporaires en milieux humides et hydriques**

Annexe 2

Tableau 1. Résultats des inventaires ichtyologiques réalisés dans l'Étang de la Côte en 2015 (année de référence). Les spécimens ont été capturés à l'aide d'une trappe Alaska ou d'une seine de rivage.

Année	Engin	UE	Espèces	Nombre	Poid moy. (g)	Longueur moy. (mm)
2015	Trappe Alaska	19	<i>Alosa pseudoharengus</i> (Gaspereau)	245	0,6	43
			<i>Anguilla rostrata</i> (anguille d'Amérique)	1	888	784
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	336	10,7	ind
			<i>Cyprins sp.</i>	4	ind	ind
			<i>Esox Lucius</i> (Grand brochet)	1	180	290
			<i>Etheostoma nigrum</i> (Raseux-de-terre noir)	1	4	71
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	6074	2,1	ind
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	33	ind	57
			<i>Hiodon tergisus</i> (Laquaiche argentée)	3	1,3	52
			<i>Morone americana</i> (Baret)	5	70,9	107,4
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	76	5,6	43,6
			<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	8	ind	93
			<i>Notropis hudsonius</i> (Menée queue à tache noire)	1	1,5	56
			<i>Osmerus mordax</i> (Éperlan arc-en-ciel)	16	ind	ind
			<i>Perca flavescens</i> (Perchaude)	1	1	50
			<i>Sander vitreus</i> (Doré jaune)	22	27,5	96
2015	Seine	16	<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	1	29	138
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	3712	3,3	54
			<i>Etheostoma nigrum</i> (Raseux-de-terre noir)	16	1,3	46
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	21517	1,7	ind
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	6	3,1	62
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	1	1	48
			<i>Sander vitreus</i> (Doré jaune)	1	2,5	68

UE : unité d'effort, correspondant à un relevé de trappe Alaska suivant un cycle de marée haute ou à un coup de seine de rivage

Tableau 5. Nombre total de spécimens et prises par unité d'effort caractérisant les inventaires ichthyologiques réalisés dans l'Étang de la Côte entre 2015 et 2021. Les captures ont été regroupées, toutes méthodes confondues (trappe Alaska et seine de rivage).

Espèces	2015		2016		2018		2021	
	Total	CPUE	Total	CPUE	Total	CPUE	Total	CPUE
<i>Acipenser oxyrinchus</i> (Esturgeon noir)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	1	0,02
<i>Alosa pseudoharengus</i> (Gaspareau)	245	7,00	7	0,22	0	0,00	10	0,20
<i>Anguilla rostrata</i> (anguille d'Amérique)	1	0,03	1	0,03	1	0,02	0	0,00
<i>Apeltes quadracus</i> (Épinoche à quatre épines)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	0	0,00
<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	1	0,03	384	12,00	2589	57,53	28	0,56
<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	4048	115,66	53	1,66	4978	110,62	920	18,40
<i>Catostomus sp.</i>	0	0,00	194	6,06	0	0,00	0	0,00
<i>Corregonus clupeaformis</i> (Grand corégone)	0	0,00	2	0,06	41	0,91	5	0,10
<i>Cyprinus carpio</i> (carpe commune)	0	0,00	10	0,31	20	0,44	2	0,04
<i>Cyprinus sp.</i>	4	0,11	22	0,69	11	0,24	4	0,08
<i>Esox Lucius</i> (Grand brochet)	1	0,03	0	0,00	1	0,02	0	0,00
<i>Etheostoma sp.</i>	0	0,00	0	0,00	0	0,00	4	0,08
<i>Etheostoma nigrum</i> (Raseux-de-terre noir)	17	0,49	60	1,88	17	0,38	0	0,00
<i>Etheostoma olmstedii</i> (Raseaux-de-terre gris)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	1	0,02
<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	27591	788,31	6111	190,97	3371	74,91	4999	99,98
<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	39	1,11	128	4,00	43	0,96	201	4,02
<i>Hiodon tergisus</i> (Laquaiche argentée)	3	0,09	1	0,03	1	0,02	0	0,00
<i>Ictalurus punctatus</i> (barbue de rivière)	0	0,00	2	0,06	4	0,09	5	0,10
<i>Micropterus dolomieu</i> (Achigan à petite bouche)	0	0,00	0	0,00	0	0,00	1	0,02
<i>Microgadus tomcod</i> (Poulamon)	0	0,00	13	0,41	5	0,11	77	1,54
<i>Morone americana</i> (Baret)	5	0,14	0	0,00	280	6,22	1298	25,96
<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	77	2,20	119	3,72	448	9,96	158	3,16
<i>Moxostoma sp.</i>	0	0,00	0	0,00	1	0,02	1	0,02
<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	8	0,23	4	0,13	7	0,16	3	0,06
<i>Notropis antherinoides</i> (ménée émeraude)	0	0,00	0	0,00	2	0,04	0	0,00
<i>Notropis hudsonius</i> (Menée queue à tache noire)	1	0,03	2	0,06	0	0,00	3	0,06
<i>Osmerus mordax</i> (Éperlan arc-en-ciel)	16	0,46	106	3,31	13	0,29	426	8,52
<i>Perca flavescens</i> (Perchaude)	1	0,03	2	0,06	7	0,16	70	1,40
<i>Petromyzon marinus</i> (Lamproie marine)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	0	0,00
<i>Pomoxis nigromaculatus</i> (Marigane noire)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	0	0,00
<i>Salvelinus fontinalis</i> (Omble de fontaine)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	0	0,00
<i>Sander canadensis</i> (doré noir)	0	0,00	1	0,03	0	0,00	2	0,04
<i>Sander vitreus</i> (Doré jaune)	23	0,66	4	0,13	6	0,13	1	0,02
<i>Tinca tinca</i> (Tanche)	0	0,00	0	0,00	1	0,02	0	0,00

CPUE : captures par unité d'effort (nombre total de spécimens capturés / (total des relevés de trappe Alaska + total des coups de seine))

Tableau 2. Résultats des inventaires ichtyologiques réalisés dans l'Étang de la Côte en 2016 (1 an après la mise en service du nouveau ponceau). Les spécimens ont été capturés à l'aide d'une trappe Alaska ou d'une seine de rivage.

Année	Engin	UE	Espèces	Nombre	Poid moy. (g)	Longueur moy. (mm)
2016	Trappe Alaska	16	<i>Alosa pseudoharengus</i> (Gaspareau)	2	5,5	88
			<i>Anguilla rostrata</i> (anguille d'Amérique)	1	1518,5	653
			<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	334	3,5	73
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	25	16,8	110
			<i>Corregonus clupeaformis</i> (Grand corégone)	2	0,75	50
			<i>Cyprinus carpio</i> (carpe commune)	9	13,1	88
			<i>Cyprinus sp.</i>	13	0,5	31
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	568	3,2	68
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	52	2,8	57
			<i>Hiodon tergisus</i> (Laquaiche argentée)	1	2,5	75
			<i>Ictalurus punctatus</i> (barbue de rivière)	2	1040,5	467
			<i>Microgadus tomcod</i> (Poulamon)	13	74	147
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	5	9,8	78
			<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	1	4,5	80
			<i>Osmerus mordax</i> (Éperlan arc-en-ciel)	106	9,7	123
			<i>Perca flavescens</i> (Perchaude)	2	5,8	85
			<i>Sander canadensis</i> (doré noir)	1	224	322
			<i>Sander vitreus</i> (Doré jaune)	4	393	292
2016	Seine	16	<i>Alosa pseudoharengus</i> (Gaspareau)	5	2,2	66
			<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	50	2,7	64
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	28	7,7	83
			<i>Catostomus sp.</i>	194	0,4	ind
			<i>Cyprinus carpio</i> (carpe commune)	1	11,5	79
			<i>Cyprinus sp.</i>	9	ind	28,2
			<i>Etheostoma nigrum</i> (Raseux-de-terre noir)	60	0,8	39
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	5543	1,4	58
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	76	2,4	55
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	114	ind	28
			<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	3	4,7	77
			<i>Notropis hudsonius</i> (Menée queue à tache noire)	2	1,8	51

UE : unité d'effort, correspondant à un relevé de trappe Alaska suivant un cycle de marée haute ou à un coup de seine de rivage

Tableau 3. Résultats des inventaires ichthyologiques réalisés dans l'Étang de la Côte en 2018 (3 ans après la mise en service du nouveau ponceau). Les spécimens ont été capturés à l'aide d'une trappe Alaska ou d'une seine de rivage.

Année	Engin	UE	Espèces	Nombre	Poid moy. (g)	Longueur moy. (mm)
2018	Trappe Alaska	25	<i>Acipenser oxyrinchus</i> (Esturgeon noir)	1	338,0	490
			<i>Anguilla rostrata</i> (anguille d'Amérique)	1	2640,0	1070
			<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	107	49,2	95
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	14	151,4	145
			<i>Corregonus clupeiiformis</i> (Grand corégone)	41	24,1	126
			<i>Cyprinus carpio</i> (carpe commune)	1	9,0	82
			<i>Cyprinus sp.</i>	9	ind	ind
			<i>Esox Lucius</i> (Grand brochet)	1	262	342
			<i>Etheostoma nigrum</i> (Raseux-de-terre noir)	8	2,8	61
			<i>Etheostoma olmstedii</i> (Raseaux-de-terre gris)	1	2,5	68
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	500	3,0	65
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	30	2,2	55
			<i>Ictalurus punctatus</i> (barbue de rivière)	4	346,5	376
			<i>Microgadus tomcod</i> (Poulamon)	5	130,7	243
			<i>Morone americana</i> (Baret)	2	184,5	177
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	295	1,7	100
			<i>Notropis antherinoides</i> (méné émeraude)	2	3,0	79
			<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	3	2,7	63
			<i>Osmerus mordax</i> (Éperlan arc-en-ciel)	13	4,1	86
			<i>Perca flavescens</i> (Perchaude)	7	9,8	88
			<i>Pomoxis nigromaculatus</i> (Marigane noire)	1	73,0	172
			<i>Salvelinus fontinalis</i> (Omble de fontaine)	1	172,0	260
			<i>Sander vitreus</i> (Doré jaune)	6	569,2	288
			<i>Tinca tinca</i> (Tanche)	1	726,0	361
2018	Seine	20	<i>Apeltes quadracus</i> (Épinoche à quatre épines)	1	0,5	ind
			<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	2482	4,8	ind
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	4964	1,1	ind
			<i>Cyprinus carpio</i> (carpe commune)	19	30,1	113
			<i>Cyprinus sp.</i>	2	1	77
			<i>Etheostoma nigrum</i> (Raseux-de-terre noir)	9	2,2	56
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	2871	1,7	52
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	13	2,2	54
			<i>Hiodon tergisus</i> (Laquaiche argentée)	1	11,5	114
			<i>Morone americana</i> (Baret)	229	3	58
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	153	15,7	ind
			<i>Moxostoma sp.</i>	1	2	58
			<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	4	5,8	85,5
			<i>Petromyzon marinus</i> (Lamproie marine)	1	863	770

UE : unité d'effort, correspondant à un relevé de trappe Alaska suivant un cycle de marée haute ou à un coup de seine de rivage

Tableau 4. Résultats des inventaires ichthyologiques réalisés dans l'Étang de la Côte en 2021 (6 ans après la mise en service du nouveau ponceau). Les spécimens ont été capturés à l'aide d'une trappe Alaska ou d'une seine de rivage.

Année	Engin	UE	Espèces	Nombre	Poid moy. (g)	Longueur moy. (mm)
2021	Trappe Alaska	25	<i>Acipenser oxyrinchus</i> (Esturgeon noir)	1	794,5	550
			<i>Alosa pseudoharengus</i> (Gaspareau)	10	2,6	59
			<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	1	2,5	65
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	2	526,3	289
			<i>Corregonus clupeaformis</i> (Grand corégone)	5	18,8	120
			<i>Cyprinus sp.</i>	4	1,5	50
			<i>Etheostoma sp.</i>	4	0,5	27
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	76	2,6	60
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	176	3,2	60
			<i>Ictalurus punctatus</i> (barbue de rivière)	5	1020,1	448
			<i>Micropterus dolomieu</i> (Achigan à petite bouche)	1	0,5	44
			<i>Microgadus tomcod</i> (Poulamon)	60	87,1	207
			<i>Morone americana</i> (Baret)	17	1,6	39
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	5	12,4	110
			<i>Osmerus mordax</i> (Éperlan arc-en-ciel)	426	7,4	103
			<i>Perca flavescens</i> (Perchaude)	51	4,9	74
			<i>Sander canadensis</i> (doré noir)	2	445,3	318
			<i>Sander vitreus</i> (Doré jaune)	1	247	326
2021	Seine	25	<i>Catostomus catostomus</i> (Meunier rouge)	27	15,3	105
			<i>Catostomus commersoni</i> (Meunier noir)	918	8,4	76
			<i>Cyprinus carpio</i> (carpe commune)	2	1,3	48
			<i>Etheostoma olmstedii</i> (Raseaux-de-terre gris)	1	2	67
			<i>Fundulus diaphanus</i> (Fondule barré)	4923	2	60
			<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Épinoche à trois épines)	25	3,2	60
			<i>Microgadus tomcod</i> (Poulamon)	17	93,2	210
			<i>Morone americana</i> (Baret)	1281	4,9	63
			<i>Morone saxatilis</i> (Bar Rayé)	153	14,4	109
			<i>Moxostoma sp.</i>	1	11	108
			<i>Notemigonus crysoleucas</i> (Chatte de l'Est)	3	3,8	80
			<i>Notropis hudsonius</i> (Menée queue à tache noire)	3	3,5	73
			<i>Perca flavescens</i> (Perchaude)	19	4,2	70

UE : unité d'effort, correspondant à un relevé de trappe Alaska suivant un cycle de marée haute ou à un coup de seine de rivage

Annexe 3

Rapport sur les mesures des impacts de la construction et de la mise en opération du nouveau pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune

Juin 2021

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS



Photographies de la page couverture :

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

MASSON, A., E. VALIQUETTE et L. L'ITALIEN (2021). *Rapport sur les mesures des impacts de la construction et de la mise en opération du nouveau pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, VII + 16 p.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Introduction

Le présent rapport porte sur les impacts de la construction et de la mise en opération du nouveau pont de l'Île-d'Orléans sur l'utilisation de l'habitat du stade adultes du baret (*Morone americana*) et de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) en période de reproduction.

Cette analyse a été réalisée par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) dans le cadre de l'entente de collaboration entre le MFFP et le ministère des Transports (MTQ), signée en 2013. Cette entente indique que le MFFP fournira une mesure des impacts des travaux et du nouveau pont sur les habitats des poissons fréquentant le secteur. Plus précisément, l'entente indique que le MFFP doit supporter le mandataire de l'étude d'impact en lui fournissant un rapport des mesures des impacts potentiels des ouvrages sur les habitats des poissons susceptibles d'être touchés par le projet de construction du nouveau pont. Ce rapport constitue un livrable de cette entente de collaboration.

Afin d'évaluer les impacts de la construction du nouveau lien routier ainsi que de sa mise en opération, le MFFP a collaboré avec Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) pour développer un modèle d'utilisation de l'habitat par le stade adulte du baret et de l'esturgeon jaune en période de reproduction. Ce faisant, ce rapport ne porte que sur ces deux types d'habitats. Par conséquent, l'absence de commentaires sur les autres types d'habitats du secteur ne signifie pas qu'aucun impact n'est à prévoir, mais bien que le modèle d'habitat développé ne permette pas au MFFP d'évaluer les impacts du projet sur ceux-ci.

Ainsi, il est à prévoir que le MFFP abordera les autres types d'habitats fauniques, notamment les aires d'alevinage, les habitats de mulettes et les aires de concentration d'oiseaux aquatiques dans l'avis de recevabilité et d'acceptabilité de ce projet.

Le rapport des impacts a été produit en fonction des renseignements fournis à ECCC par le MTQ. Les cartes illustrant les travaux prévus ont été mises en annexes de ce document (annexe 2). Les détails concernant le modèle d'habitat développé par ECCC et utilisé pour évaluer les impacts sont présentés dans Guénard et coll., 2020 (annexe 3).

Cette analyse est destinée au MTQ afin que les conclusions avancées servent de base pour l'étude des impacts du projet. Il est de la responsabilité du MTQ d'utiliser cet avis et de l'adapter pour répondre aux exigences d'une étude d'impact environnemental, comme spécifié dans les directives élaborées par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Mise en garde

- Le modèle d'habitat a été réalisé pour la période de l'année qui représente le sommet de la période de reproduction des deux espèces traitées. Les résultats mesurés sont extraits d'une modélisation sur un cycle de marée moyenne pour 24 heures, du 9 mai 2013 pour le baret et du 10 juin 2013 pour l'esturgeon jaune.
- Ce rapport ne porte pas de jugement sur les méthodes de travail telles que celles qui seront utilisées pour la mise en place des structures (p. ex., jetées et piles du nouveau pont). Ce rapport fait mention des impacts qu'auront ces structures sur l'utilisation des habitats par le stade adulte du baret et de l'esturgeon jaune en période de reproduction. Ce faisant, il est possible que le MFFP remette en question les méthodes de travail décrites dans les avis élaborés dans le processus d'évaluation de l'étude d'impact.
- Ce rapport est basé sur les données (travaux de construction et mise en opération du nouveau pont) transmises à ECCC par le MTQ. Si des modifications dans les méthodes de travail ou dans la nature du projet étaient apportées, ce rapport deviendrait caduc.

Lexique

Afin de limiter l'interprétation de différents termes, une définition des termes utilisés dans ce rapport est présentée ci-dessous.

- Perte d'habitat : destruction complète de l'habitat (p. ex., remblai).
- Détérioration : perte de fonction d'habitat. L'habitat existe toujours, mais les conditions abiotiques (vitesse de courant, substrat, etc.) ne répondent plus aux besoins fondamentaux de l'espèce.
- Amélioration : gain de fonction d'habitat. L'habitat existe, mais les modifications projetées des conditions abiotiques favorisent l'espèce.
- Gain : aucun habitat n'existait, mais les modifications projetées des conditions abiotiques entraîneront la création d'habitats.
- Temporaire : fait référence à une durée établie dans le temps avec un début et une fin (p. ex., 5 ans).
- Permanent : impact occasionné pour la durée de vie du nouveau pont.
- Littoral : partie des lacs et des cours d'eau qui s'étend de la ligne des hautes eaux vers le centre du plan d'eau.

Limites du modèle d'habitat

Le modèle a été conçu en fonction des positions géographiques associées au baret et à l'esturgeon jaune en période de reproduction, déterminées par télémétrie acoustique, afin de caractériser ce qui était recherché ou évité comme composante d'habitat. Les résultats se présentent sous forme d'une grille de points où une prédiction est calculée et définie comme étant un habitat favorable ou défavorable pour chacune des espèces.

Pour chaque point de la grille, le modèle prédit si l'habitat est favorable ou non, en fonction d'une série de variables décrites à l'état initial dans le secteur à l'étude. Il importe de comprendre que le modèle ne peut extrapoler la qualité de l'habitat si de nouvelles conditions (p. ex., changement de substrat sur une surface donnée) étaient créées durant la construction ou à la suite de la mise en service du nouveau pont par rapport aux conditions initiales. Par exemple, le modèle, ayant été développé en fonction de vitesses d'eau variant de 0,1 à 1,1 m/s, ne peut pas prédire avec fiabilité si un habitat est favorable ou défavorable à des vitesses de 1,7 m/s. Cette limite est inhérente au modèle et s'applique à l'ensemble des variables explicatives ayant servi à le construire. Ce faisant, on ne peut pas extrapoler la qualité de l'habitat au-delà des valeurs de référence utilisées.

Il importe de noter que le maillage du modèle influence également sa capacité à prédire des changements à fine échelle. De ce fait, le modèle ne peut prédire avec précision certaines subtilités telles que l'influence des piles sur un substrat situé à proximité de celles-ci ou même l'impact de l'érection de nouvelles piles en tant que tel, celles-ci étant généralement de superficie inférieure à la distance séparant les points de la grille.

La composition du substrat est une variable explicative majeure du modèle afin de prédire la qualité des habitats. Cependant, puisque les changements de substrat causés par les jetées n'ont pas été transmis à ECCC par le MTQ, le modèle n'a pas pu prendre en considération ces modifications. Sachant que les jetées seront mises en place dans le milieu récepteur pendant une période estimée de quatre ans, il est possible que des modifications du substrat soient observables pour les secteurs situés à proximité des jetées. Cet élément devra donc être traité dans l'étude d'impact.

Enfin, il importe de préciser qu'aucun résultat n'est traité dans le littoral de la rivière Montmorency, puisque aucune donnée de télémétrie pouvant servir au modèle d'habitat n'est disponible pour cette frayère. Ainsi, ce rapport ne traite pas des impacts associés aux travaux et à la mise en opération du nouveau pont sur la frayère multispécifique située à l'embouchure de la rivière Montmorency. Ce faisant, les impacts des travaux sur cette frayère multispécifique devront être traités dans l'évaluation des impacts du projet.

Table des matières

Introduction	III
Mise en garde	IV
Lexique	V
Limites du modèle d'habitat	VI
Table des matières	VII
1. Baret	1
1.1 Impacts potentiels durant la construction du nouveau pont sur l'utilisation de l'habitat du baret	2
1.1.1 Analyse femelle.....	2
1.1.2 Analyse mâle	3
1.1.3 Conclusion femelle et mâle	4
1.2 Impacts potentiels du nouveau pont sur l'habitat du baret.....	5
1.2.1 Analyse femelle.....	5
1.2.2 Analyse mâle	6
1.2.3 Conclusion femelle et mâle	7
2. Esturgeon jaune	8
2.1 Impacts potentiels durant la construction du nouveau pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune ..	9
2.1.1 Analyse femelle.....	9
2.1.2 Analyse mâle	10
2.1.3 Conclusion femelle et mâle	11
2.2 Impacts potentiels du nouveau pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune.....	12
2.2.1 Analyse femelle.....	12
2.2.2 Analyse mâle	13
2.2.3 Conclusion femelle et mâle	14
Conclusion	15

1. Baret

Le baret est une espèce généraliste typiquement considérée comme estuarienne quant à ses préférences en matière d'habitat d'alimentation, de croissance et de fraie. Il fréquente les eaux saumâtres ainsi que les eaux douces de la côte atlantique de l'Amérique du Nord, utilisant préférentiellement les estuaires, mais aussi les lacs et les rivières. Bien que le baret soit considéré comme une espèce d'eau saumâtre, il a colonisé plusieurs grands plans d'eau douce comme les Grands Lacs.

Il est connu pour frayer à des températures variant de 11 à 16 °C. La fraie se déroule dans des habitats diversifiés et souvent associés à la zone de turbidité maximale (ZTM) qui se trouvent dans l'estuaire moyen du fleuve Saint-Laurent, soit de la pointe est de l'Île-d'Orléans jusqu'à L'Isle-aux-Coudres, où l'abondance de proies assure une alimentation optimale aux premiers stades de vie. Les femelles pondent les œufs en plusieurs événements, car leur développement dans les gonades n'est pas synchronisé, chacune des portions mûrissant progressivement pour finalement être expulsée.

La fraie se déroule majoritairement en eau peu profonde (moins de 10 m), peu importe le substrat. Le peu d'information disponible sur les caractéristiques hydrologiques des frayères indique que l'espèce fraie dans des eaux dont la vitesse peut atteindre 1 m/s. Les œufs sont relâchés dans la colonne d'eau par les femelles et sont fertilisés par les mâles, pour ensuite devenir adhésifs et démersaux (qui coulent au fond de l'eau), leur permettant de se coller à la végétation, aux roches ou à toute autre structure submergée. Le baret utilise des habitats de fraie très variables quant à la vitesse du courant, au type de substrat ou à la végétation, une caractéristique lui permettant de coloniser efficacement plusieurs types de milieux. Les courants et la proximité de la ZTM sont des éléments recherchés par le baret, bien que ceux-ci ne soient pas essentiels. Par exemple, des populations de baret se sont très bien établies dans le lac Ontario, malgré l'absence de la productivité planctonique et biologique associée au front salin et à la ZTM. Toutefois, la salinité est un élément majeur limitant la survie des œufs et des larves de baret, ceux-ci se retrouvant habituellement à des salinités inférieures à 3 ppm et ne pouvant pas survivre à des salinités supérieures à 8 ppm.

Au Québec et au Canada, le baret vit dans les Grands Lacs, mais aussi dans le fleuve Saint-Laurent où des habitats d'importance ont été caractérisés au cours des 10 dernières années. Une grande aire de fraie, la première répertoriée, a été délimitée dans le chenal de l'île d'Orléans, à proximité de l'actuel pont de l'Île-d'Orléans. Le baret utilise cette frayère intensivement du début du mois de mai jusqu'à la mi-juin, à des températures variant de 9,6 à 17 °C (voir Valiquette et coll. [2016] pour les détails). La durée de la période de fraie est associée aux variations de température annuelles auxquelles l'espèce est soumise et peut se concentrer durant deux à trois semaines ou s'étaler sur une période allant jusqu'à six semaines. La frayère du chenal de l'île d'Orléans s'étend jusqu'à une profondeur de 8 m, mais la plus grande portion de celle-ci se trouve à une profondeur de 6 m et moins.

1.1 Impacts potentiels durant la construction du nouveau pont sur l'utilisation de l'habitat du baret

1.1.1 Analyse femelle

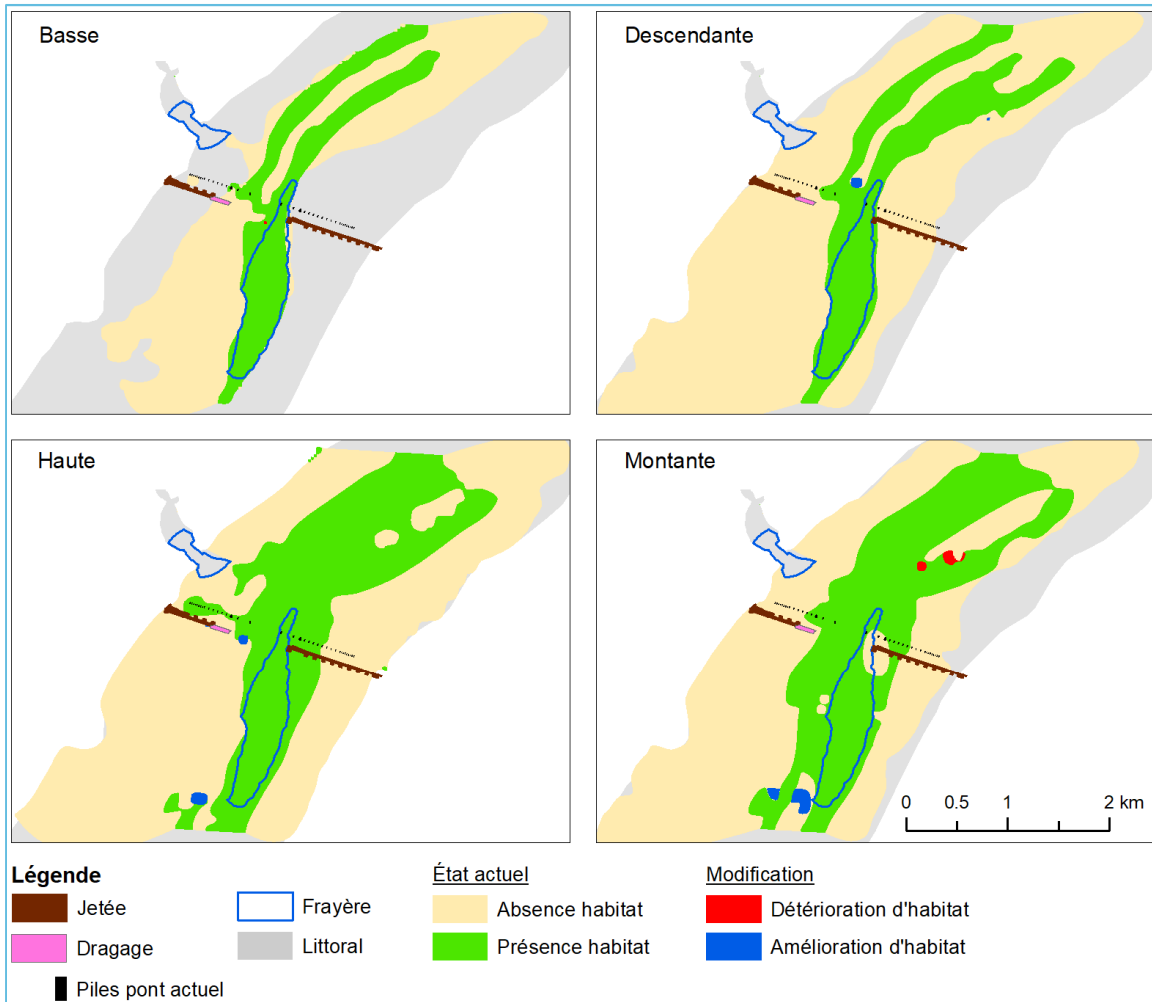


Figure 1 : Impacts appréhendés des travaux de construction sur l'habitat de baret (femelle) en période de reproduction selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 1 : Superficie de modification de l'habitat du baret (femelle) découlant des travaux de construction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ² (frayère)	Amélioration m ² (frayère)
Bas	625 (0)	0 (0)
Descendant	13 125 (0)	11 875 (0)
Haut	0 (0)	6 875 (0)
Montant	20 625 (0)	33 750 (0)

Durant la phase de construction, les résultats prédits par le modèle indiquent une détérioration de 34 375 m², tout stade de marée confondu, ainsi qu'une amélioration totale de 52 500 m². De cette amélioration, une superficie de 33 750 m² est anticipée à proximité de la frayère durant la marée montante. Cependant, les résultats ne permettent pas de conclure qu'il s'agit d'une augmentation de la superficie de la frayère. Des validations terrain seraient requises pour confirmer cet aspect.

1.1.2 Analyse mâle

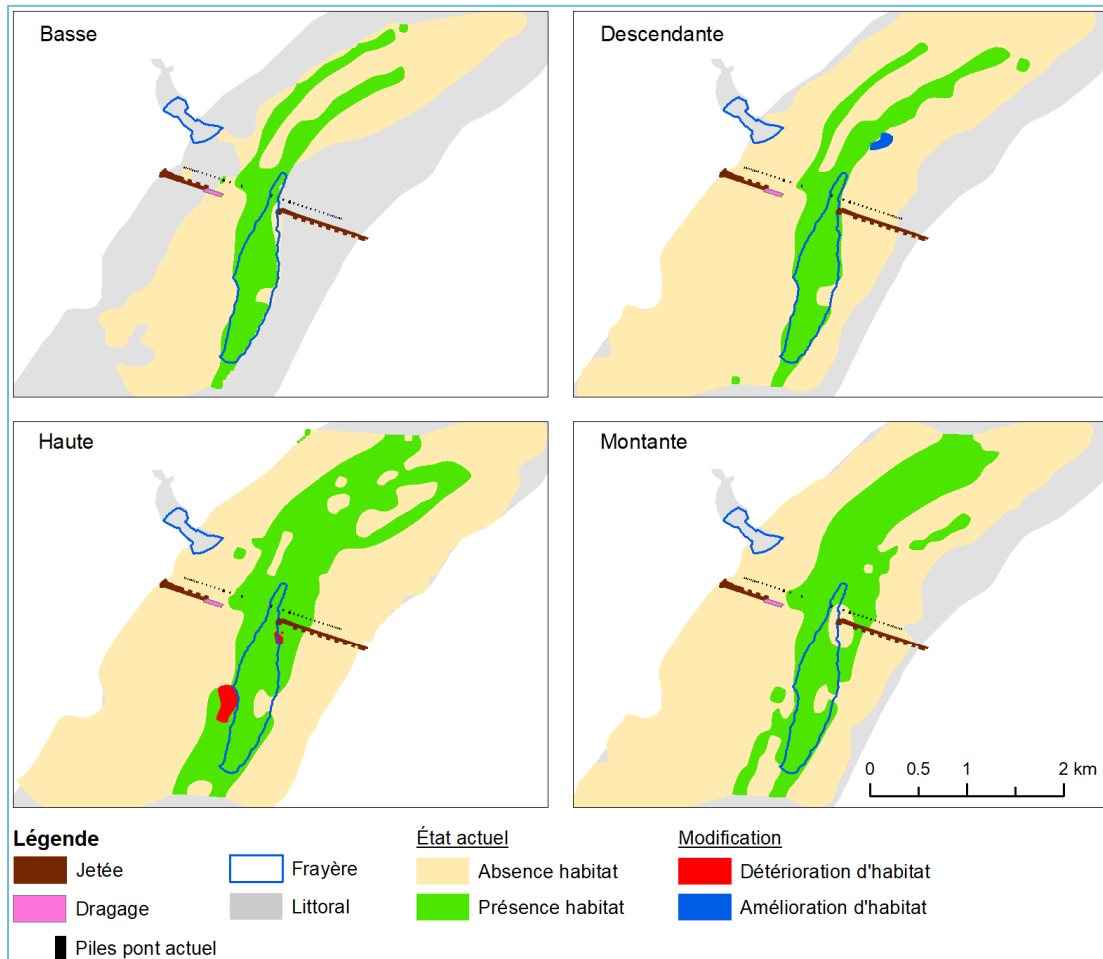


Figure 2 : Impacts des travaux de construction sur l'habitat de baret (mâle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 2 : Superficie de modification de l'habitat de baret (mâle) découlant des travaux de construction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ² (frayère)	Amélioration m ² (frayère)
Bas	0 (0)	0 (0)
Descendant	0 (0)	21 875 (0)
Haut	61 875 (2 005)	0 (0)
Montant	0 (0)	0 (0)

Selon les prédictions du modèle, une détérioration de 2 005 m², située directement dans la frayère, est perceptible durant les marées hautes. S'ajoute à cette superficie une détérioration de 59 870 m² située à proximité de la frayère. Puisque ces détériorations ne sont observables qu'à marée haute, le MFFP juge que l'utilisation de la frayère ne sera pas influencée par les nouvelles conditions occasionnées par les jetées.

1.1.3 Conclusion femelle et mâle

Selon les prédictions du modèle d'habitat, le MFFP juge que l'intégrité de l'utilisation de la frayère de baret sera maintenue pendant les travaux de construction. De fait, les modifications engendrées par les jetées et le dragage ne semblent pas toucher directement la frayère. Le MFFP rappelle que certaines limites du modèle ne permettent pas de modéliser certains paramètres (voir section limite du modèle).

En plus des détériorations prédites par le modèle, la mise en place de jetées causera une perte temporaire de 63 743 m² dans l'habitat du baret pour une période estimée à 4 ans. Bien que les jetées soient retirées à la fin de cette période, il est probable que l'effet de celles-ci se fasse ressentir plus longtemps, soit le temps nécessaire pour que le milieu récepteur se restaure. Cet aspect devra être précisé dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson.

Par ailleurs, le dragage de 7 595 m³ situé au bout de la jetée ouest est considéré comme une détérioration supplémentaire et doit être pris en compte dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson.

1.2 Impacts potentiels du nouveau pont sur l'habitat du baret

1.2.1 Analyse femelle

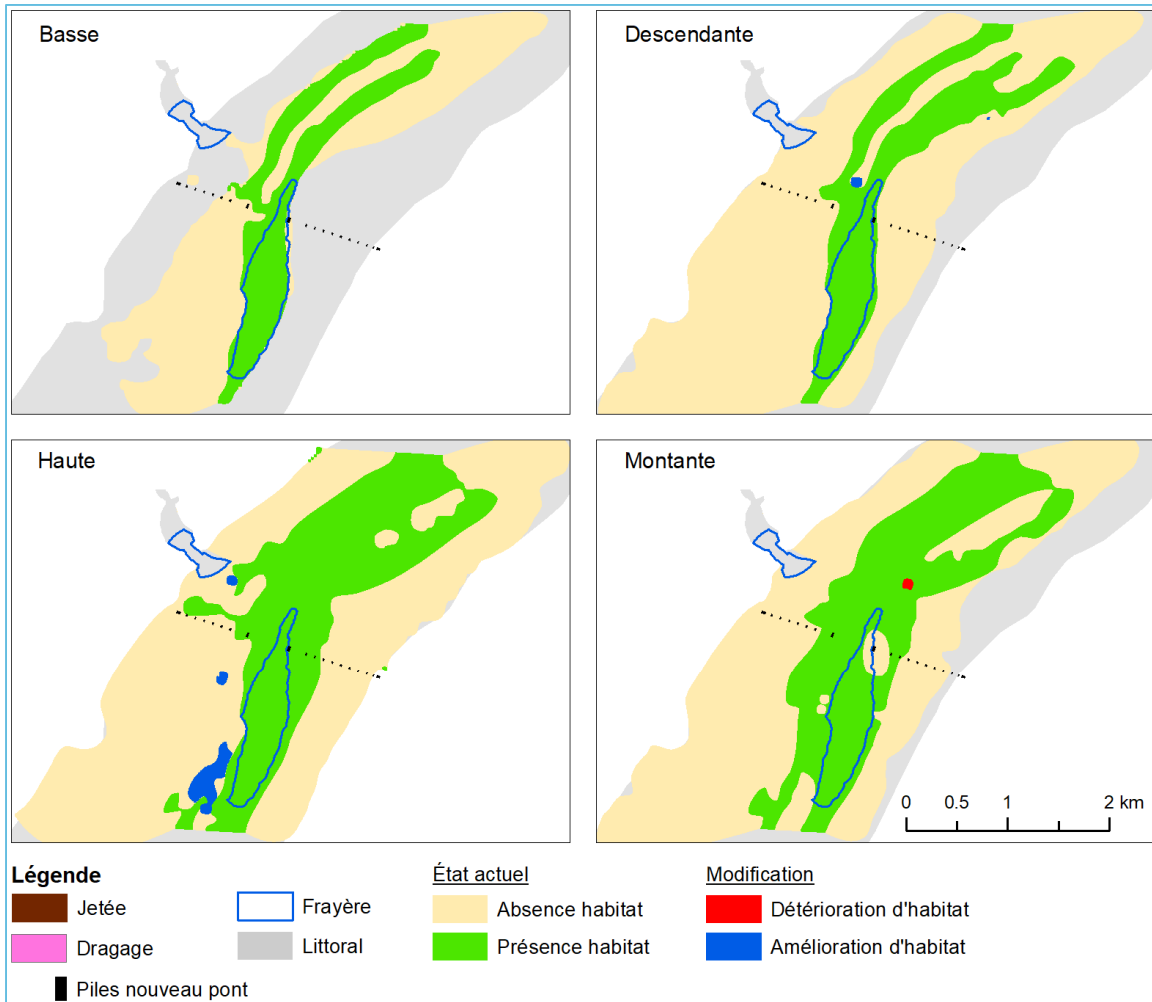


Figure 3 : Impacts du nouveau pont sur l'habitat de baret (femelle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 3 : Superficie de modification de l'habitat de baret (femelle) découlant du nouveau pont selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ² (frayère)	Amélioration m ² (frayère)
Bas	0 (0)	0 (0)
Descendant	0 (0)	8 125 (0)
Haut	0 (0)	62 500 (0)
Montant	18 750 (0)	35 625 (0)

Selon les prédictions du modèle, une amélioration totale de 106 250 m² est anticipée. De cette amélioration, 89 375 m² sont situés proximité (moins de 350 m) de la frayère, durant les marées hautes. Cependant, les données ne permettent pas de conclure qu'il s'agit d'une augmentation de la superficie de la frayère. Des validations terrain devront être faites afin de confirmer cet aspect.

1.2.2 Analyse mâle

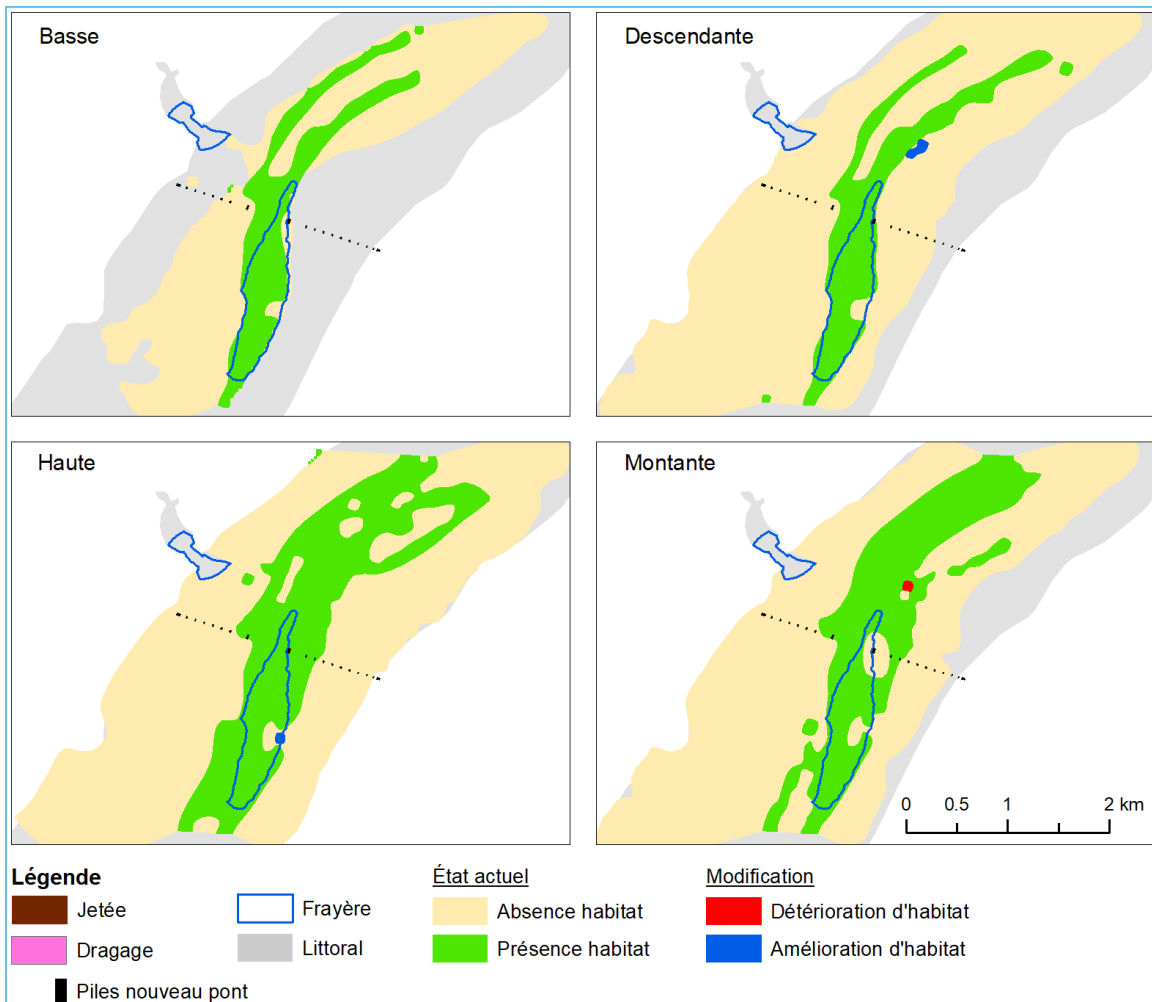


Figure 4 : Impacts du nouveau pont sur l'habitat de baret (mâle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 4 : Superficie de modification de l'habitat de baret (mâle) découlant du nouveau pont selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ² (frayère)	Amélioration m ² (frayère)
Bas	0 (0)	0 (0)
Descendant	0 (0)	20 000 (0)
Haut	0 (0)	7 500 (4 620)
Montant	7 500 (0)	0 (0)

Selon les prédictions du modèle, peu d'effets sont observés quant à la mise en place du nouveau pont. Une amélioration de 27 500 m² se produit durant les marées descendantes et hautes, dont 4 620 m² à l'intérieur des limites de la frayère à marée haute. Une détérioration de 7 500 m² est observée à la marée montante.

1.2.3 Conclusion femelle et mâle

Selon les résultats prédits par le modèle, les modifications engendrées par le nouveau pont, toutes proportions gardées, n'auront que peu, voire pas d'impact sur l'habitat du baret. Cependant, il importe de mentionner que les remblais associés au nouveau pont occasionneront une perte permanente supplémentaire de 9 867 m² d'habitat du poisson.

2. Esturgeon jaune

L'esturgeon jaune est une espèce inféodée à l'eau douce, où il trouve l'ensemble des éléments biotiques et abiotiques lui permettant de compléter son cycle de vie. Il peut aussi se retrouver en eau saumâtre pour s'alimenter, bien qu'il vive principalement en eau douce, où les conditions physicochimiques de l'eau et les ressources alimentaires sont optimales pour l'ensemble des stades de vie de l'espèce.

L'esturgeon jaune peut parcourir de grandes distances durant la migration de fraie ou de post-fraie, soit plus de 450 km en près de 30 jours, selon les stratégies de reproduction exprimées chez les différents individus d'une population. On estime qu'un individu adulte peut nager à près de 4 km/h. L'espèce fraie du début du mois de mai jusqu'à la fin du mois de juin, à des températures variant de 13 et 18 °C. La fraie a habituellement lieu dans des secteurs où la vitesse de l'eau est élevée (souvent près de 1 m/s et plus), directement dans des rapides ou au pied de chutes.

Étant données les vitesses d'écoulement recherchées par l'esturgeon jaune pendant la fraie, le substrat des frayères est majoritairement constitué de roche-mère, de blocs, de roches et de gravier. La fraie se déroule à une profondeur de 0,6 à 6 m, et les femelles pondent leurs œufs pendant quelques jours, ceux-ci étant matures simultanément, mais étant expulsés au cours de plusieurs jours. Les œufs sont relâchés par les femelles et fertilisés par les mâles dans la colonne d'eau. Les œufs deviennent alors adhésifs et démersaux (qui coulent au fond de l'eau), ce qui leur permet de se coller sur le substrat de la frayère ou à proximité de celle-ci.

Dans le fleuve Saint-Laurent, plusieurs frayères ont été répertoriées, dont celles de la rivière Montmorency. Effectivement, les travaux de Valiquette et coll., en 2016, ont permis de caractériser une frayère dans les rapides situés en aval de la chute Montmorency, à la rencontre du bassin de la chute et du fleuve Saint-Laurent. Cette frayère est utilisée plus intensivement de la mi-mai au début du mois de juin, à des températures variant de 7,2 à 15 °C. L'utilisation de la frayère varie selon le stade des marées. Les esturgeons jaunes s'y dirigent durant les marées montantes et hautes. Durant les marées descendantes et basses, les esturgeons jaunes sont en stabulation dans une zone du fleuve située à proximité de la frayère.

2.1 Impacts potentiels durant la construction du nouveau pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune

2.1.1 Analyse femelle

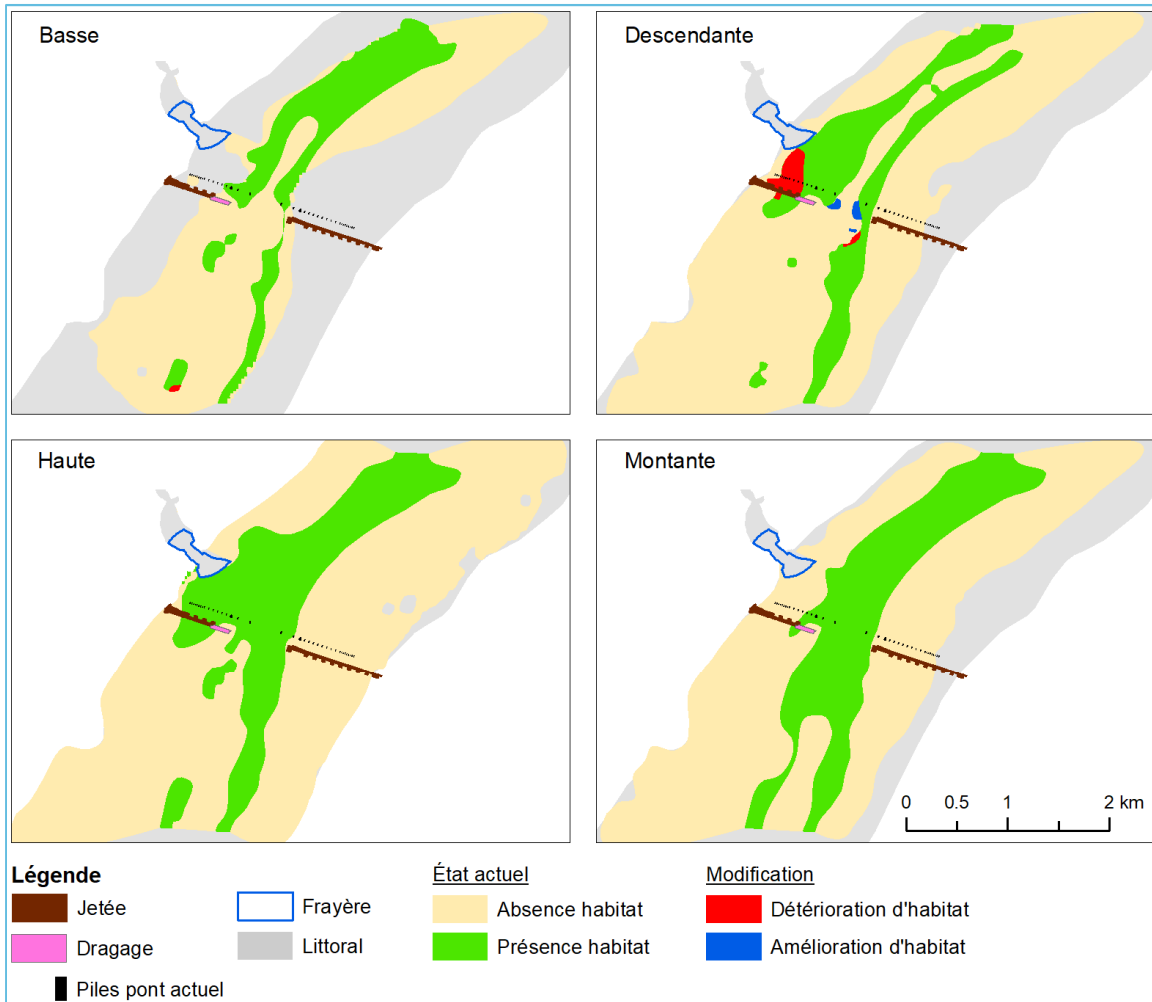


Figure 5 : Impacts des travaux de construction sur l'habitat de l'esturgeon jaune (femelle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 5 : Superficie de modification de l'habitat de l'esturgeon jaune (femelle) découlant des travaux de construction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ²	Amélioration m ²
Bas	3 750	0
Descendant	95 625	9 375
Haut	0	0
Montant	0	0

Selon les prédictions du modèle, une détérioration de 95 625 m² est observable directement en marge de la frayère (zone de stabulation), et ce, durant les marées descendantes. Puisque cette détérioration ne se fera sentir que durant un seul stade de marée, soit au moment le plus critique de la marée descendante, le MFFP juge que les esturgeons jaunes femelles accéderont aisément à la frayère située dans le bassin de la rivière Montmorency.

2.1.2 Analyse mâle

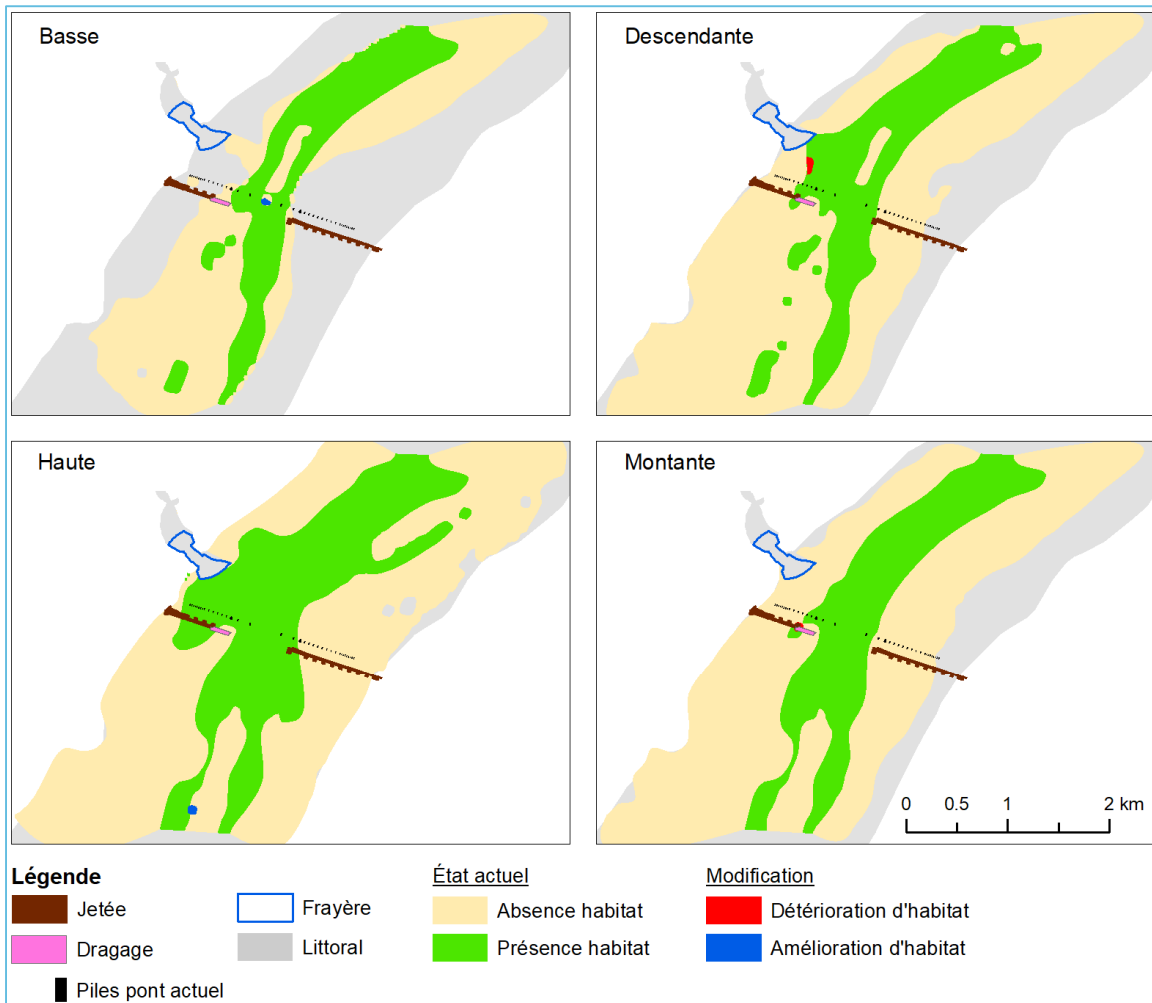


Figure 6 : Impacts des travaux de construction sur l'habitat de l'esturgeon jaune (mâles) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 6 : Superficie de modification de l'habitat de l'esturgeon jaune (mâle) découlant des travaux de construction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ²	Amélioration m ²
Bas	0	3 750
Descendant	7500	0
Haut	0	3 750
Montant	1 250	0

Selon les prédictions du modèle, une détérioration en marge de la frayère (zone de stabulation) de 7 500 m² est observable durant la marée descendante. Cette détérioration ne se fera sentir que durant un seul stade de marée, soit au moment le plus critique de la marée descendante. Tout comme pour les femelles, le MFFP juge que les esturgeons jaunes mâles accéderont aisément à la frayère située dans le bassin de la rivière Montmorency.

2.1.3 Conclusion femelle et mâle

Selon les résultats prédits par le modèle, les modifications engendrées par la construction du nouveau pont, toutes proportions gardées, ne causeront pas de perturbation importante sur l'habitat de l'esturgeon jaune. En plus, des détériorations prédites par le modèle, la mise en place de jetées causera une perte temporaire de 63 743 m² dans l'habitat de l'esturgeon jaune pour une période estimée à 4 ans. Bien que les jetées soient retirées à la fin de cette période, il est probable que l'effet de celles-ci se fasse ressentir plus longtemps, soit le temps nécessaire pour que le milieu récepteur se restaure. Cet aspect devra être précisé dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson. Par ailleurs, le dragage de 7 595 m³ situés au bout de la jetée ouest est considéré comme une détérioration supplémentaire et doit être pris en compte dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson.

2.2 Impacts potentiels du nouveau pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune

2.2.1 Analyse femelle

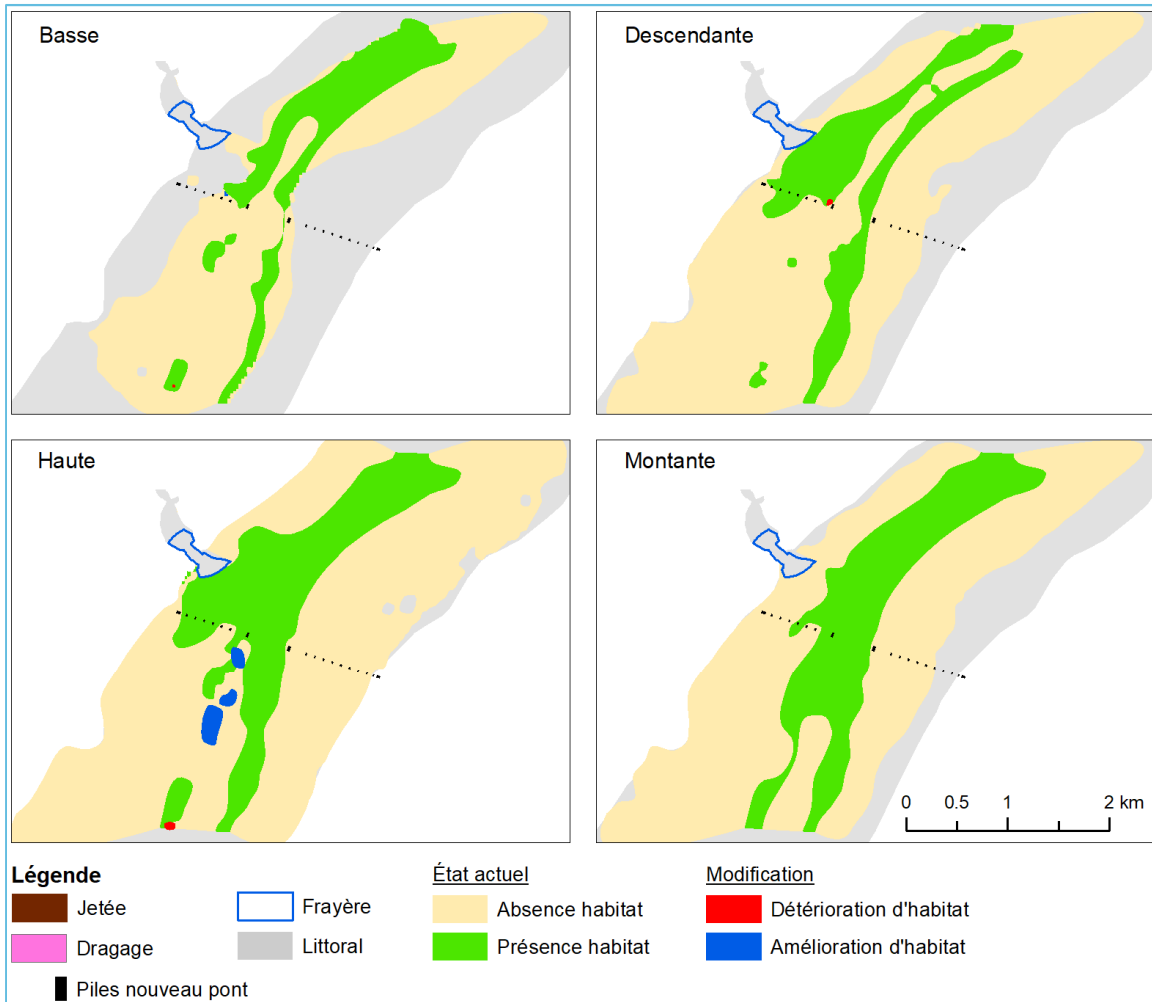


Figure 7 : Impacts des travaux du nouveau pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune (femelle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 7 : Superficie de modification de l'habitat de l'esturgeon jaune (femelle) découlant du nouveau pont selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ²	Amélioration m ²
Bas	625	1 250
Descendant	0	14 375
Haut	3 750	83 125
Montant	0	0

Selon les prédictions du modèle, aucun changement n'est observable près de la frayère, soit dans un secteur de stabulation de géniteurs. Ce faisant, l'accès à la frayère de la rivière Montmorency n'est pas un enjeu lié à la mise en opération du nouveau pont. Une amélioration totale de 98 750 m² est observable.

2.2.2 Analyse mâle

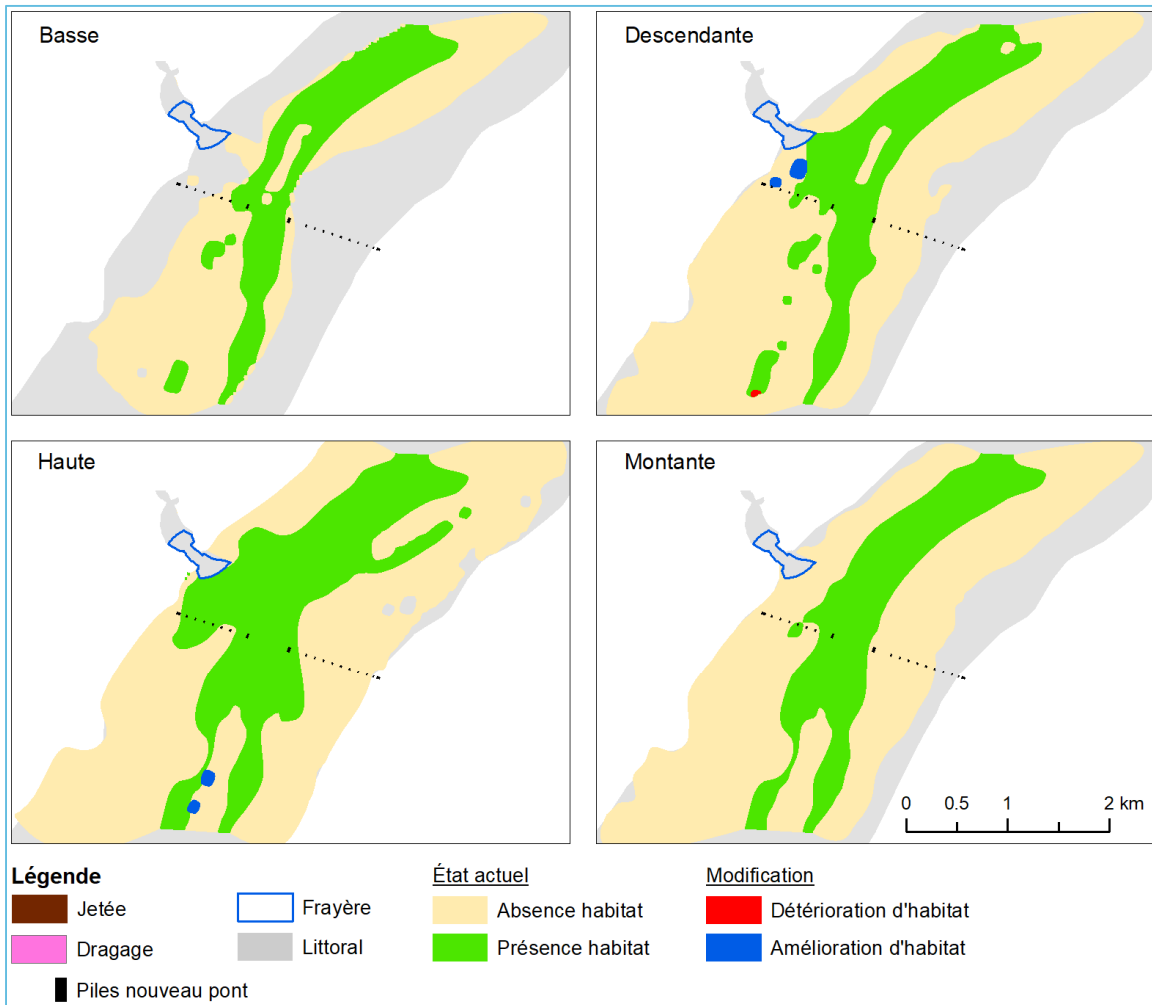


Figure 8 : Impacts des travaux du nouveau pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune (mâles) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 8 : Superficie de modification de l'habitat de l'esturgeon jaune (mâle) découlant du nouveau pont selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ²	Amélioration m ²
Bas	0	0
Descendant	3 125	30 000
Haut	0	23 750
Montant	0	0

Tout comme pour les femelles, aucune détérioration n'est observable à proximité de la frayère de la rivière Montmorency. Ce faisant, l'accès à la frayère de la rivière Montmorency n'est pas un enjeu lié à la mise en opération du nouveau pont. De plus, une amélioration totale de 53 750 m² est prédite.

2.2.3 Conclusion femelle et mâle

Le MFFP est d'avis que les changements prédits par le modèle sur l'utilisation de l'habitat par l'esturgeon jaune sont mineurs et ne perturberont pas outre mesure son habitat. De plus, compte tenu de l'absence de détérioration localisée à proximité de la frayère, le MFFP est d'avis que son accès ne sera pas altéré par la mise en opération du nouveau pont. Cependant, il importe de mentionner que les remblais associés au nouveau pont occasionneront une perte permanente supplémentaire de 9 867 m² d'habitat du poisson.

Conclusion

Les prédictions du modèle d'habitat doivent être interprétées avec finesse. C'est-à-dire qu'elles doivent être considérées et interprétées dans le contexte bien précis dans lequel elles ont été générées. Ce rapport résulte de la nature du modèle, des variables qui le constituent et de ses limites.

Les résultats ne nous permettent pas de statuer quant aux répercussions du projet sur l'intégrité physique des habitats, mais plutôt quant à l'influence du projet sur l'utilisation de ceux-ci. Les résultats doivent être analysés comme étant la possibilité que ces habitats permettent aux poissons de remplir les fonctions biologiques associées à certaines parties de leur cycle vital.

La mise en place de jetées causera une perte temporaire de 63 743 m² dans l'habitat du poisson pour une période estimée à 4 ans. Bien que les jetées soient retirées à la fin de cette période, il est probable que l'effet de celles-ci se fasse ressentir plus longtemps, soit le temps nécessaire pour que le milieu récepteur se restaure. Cet aspect devra être précisé dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson.

Comme mentionné préalablement, aucune donnée télémétrique pouvant servir au modèle d'habitat n'est disponible pour la frayère multispécifique située dans les rapides, en aval de la chute Montmorency, à la rencontre du bassin de la chute et du fleuve Saint-Laurent. Ce faisant, les effets des travaux sur cette frayère multispécifique devront être traités dans l'évaluation des impacts du projet.

Malgré les limites associées au modèle, le MFFP est d'avis que les modifications engendrées par le nouveau pont n'influenceront pas l'utilisation des habitats du stade adulte du baret et de l'esturgeon jaune en période de reproduction. Il en est de même durant sa construction.



**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec 

Annexe 4

Rapport sur les mesures des impacts de la déconstruction du pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune

Juin 2021

MINISTÈRE DES FORÊTS, DE LA FAUNE ET DES PARCS



Photographies de la page couverture :

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

MASSON, A., E. VALIQUETTE et L. L'ITALIEN (2021). *Rapport sur les mesures des impacts de la déconstruction du pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune*, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, VII + 9 p.

© Gouvernement du Québec

Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs

Introduction

Le présent rapport porte sur les impacts de la déconstruction du pont actuel de l'Île-d'Orléans sur l'utilisation de l'habitat du stade adulte du baret (*Morone americana*) et de l'esturgeon jaune (*Acipenser fulvescens*) en période de reproduction.

Cette analyse a été réalisée par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP) dans le cadre de l'entente de collaboration entre le MFFP et le ministère des Transports (MTQ), signée en 2013. Cette entente indique que le MFFP fournira une mesure des impacts des travaux et du nouveau pont sur les habitats des poissons fréquentant le secteur. Plus précisément, l'entente indique que le MFFP doit supporter le mandataire de l'étude d'impact en lui fournissant un rapport des mesures des impacts potentiels des ouvrages sur les habitats des poissons susceptibles d'être touchés par le projet de construction du nouveau pont, ce qui inclut les travaux de déconstruction du pont actuel. Ce rapport constitue un livrable de cette entente de collaboration.

Afin d'évaluer les impacts de la déconstruction du pont, le MFFP a collaboré avec Environnement et Changement climatiques Canada (ECCC) pour développer un modèle d'utilisation de l'habitat par le stade adulte du baret et de l'esturgeon jaune en période de reproduction. Ce faisant, ce rapport ne porte que sur ces deux types d'habitats. Par conséquent, l'absence de commentaires sur les autres types d'habitats du secteur ne signifie pas qu'aucun impact n'est à prévoir, mais bien que le modèle d'habitat développé ne permette pas au MFFP d'évaluer les impacts du projet sur ceux-ci. Ainsi, il est à prévoir que le MFFP abordera les autres types d'habitats fauniques, notamment les aires d'alevinage, les habitats de mulettes et les aires de concentration d'oiseaux aquatiques dans l'avis de recevabilité et d'acceptabilité de ce projet.

Le rapport des impacts a été produit en fonction des renseignements fournis à ECCC par le MTQ. Les cartes illustrant les travaux prévus ont été mises en annexes de ce document (annexe 2). Les détails concernant le modèle d'habitat développé par ECCC et utilisé pour évaluer les impacts sont présentés dans Guénard et coll., 2020 (annexe 3).

Ce rapport est destiné au MTQ afin que les conclusions avancées servent de base pour l'étude des impacts du projet. Il est de la responsabilité du MTQ d'utiliser ce rapport et de l'adapter pour répondre aux exigences d'une étude d'impact environnemental, comme spécifié dans les directives élaborées par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC).

Mise en garde

- Le modèle d'habitat a été réalisé pour la période de l'année qui représente le sommet de la période de reproduction des deux espèces traitées. Les résultats mesurés sont extraits d'une modélisation sur un cycle de marée moyenne pour 24 heures, du 9 mai 2013 pour le baret et du 10 juin 2013 pour l'esturgeon jaune.
- Ce rapport ne porte pas de jugement sur les méthodes de travail telles que celles qui seront utilisées pour la mise en place des structures (p. ex., jetées et dragage). Ce rapport fait mention des impacts qu'auront ces structures sur l'utilisation des habitats par le stade adulte du baret et de l'esturgeon jaune en période de reproduction. Ce faisant, il est possible que le MFFP remette en question les méthodes de travail décrites dans les avis élaborés dans le processus d'évaluation de l'étude d'impact.
- Ce rapport est basé sur les données (travaux de construction et mise en opération du nouveau pont) transmises à ECCC par le MTQ. Si des modifications dans les méthodes de travail ou dans la nature du projet étaient apportées, ce rapport deviendrait caduc.

Lexique

Afin de limiter l'interprétation de différents termes, une définition des termes utilisés dans ce rapport est présentée ci-dessous.

- Perte d'habitat : destruction complète de l'habitat (p. ex., remblai).
- Détérioration : perte de fonction d'habitat. L'habitat existe toujours, mais les conditions abiotiques (vitesse de courant, substrat, etc.) ne répondent plus aux besoins fondamentaux de l'espèce.
- Amélioration : gain de fonction d'habitat. L'habitat existe, mais les modifications projetées des conditions abiotiques favorisent l'espèce.
- Gain : aucun habitat n'existait, mais les modifications projetées des conditions abiotiques entraîneront la création d'habitats.
- Temporaire : fait référence à une durée établie dans le temps avec un début et une fin (p. ex., 5 ans).
- Permanent : impact occasionné pour la durée de vie du nouveau pont.
- Littoral : partie des lacs et des cours d'eau qui s'étend de la ligne des hautes eaux vers le centre du plan d'eau.

Limites du modèle d'habitat

Le modèle a été conçu en fonction des positions géographiques associées au baret et à l'esturgeon jaune en période de reproduction, déterminées par télémétrie acoustique, afin de caractériser ce qui était recherché ou évité comme composante d'habitat. Les résultats se présentent sous forme d'une grille de points où une prédiction est calculée et définie comme étant un habitat favorable ou défavorable pour chacune des espèces.

Pour chaque point de la grille, le modèle prédit si l'habitat est favorable ou non, en fonction d'une série de variables décrites à l'état initial dans le secteur à l'étude. Il importe de comprendre que le modèle ne peut extrapoler la qualité de l'habitat si de nouvelles conditions (p. ex., changement de substrat sur une surface donnée) étaient créées durant la construction ou à la suite de la mise en service du nouveau pont par rapport aux conditions initiales. Par exemple, le modèle, ayant été développé en fonction de vitesses d'eau variant de 0,1 à 1,1 m/s, ne peut pas prédire avec fiabilité si un habitat est favorable ou défavorable à des vitesses de 1,7 m/s. Cette limite est inhérente au modèle et s'applique à l'ensemble des variables explicatives ayant servi à le construire. Ce faisant, on ne peut pas extrapoler la qualité de l'habitat au-delà des valeurs de référence utilisées.

Il importe de noter que le maillage du modèle influence également sa capacité à prédire des changements à fine échelle. De ce fait, le modèle ne peut prédire avec précision certaines subtilités telles que l'influence des piles sur un substrat situé à proximité de celles-ci ou même l'impact de l'érection de nouvelles piles en tant que tel, celles-ci étant généralement de superficie inférieure à la distance séparant les points de la grille.

La composition du substrat est une variable explicative majeure du modèle afin de prédire la qualité des habitats. Cependant, puisque les changements de substrat causés par les jetées n'ont pas été transmis à ECCC par le MTQ, le modèle n'a pas pu prendre en considération ces modifications. Sachant que les jetées seront mises en place dans le milieu récepteur pendant une période estimée de trois ans, il est possible que des modifications du substrat soient observables pour les secteurs situés à proximité des jetées. Cet élément devra donc être traité dans l'étude d'impact.

Enfin, il importe de préciser qu'aucun résultat n'est traité dans le littoral de la rivière Montmorency, puisqu'aucune donnée de télémétrie pouvant servir au modèle d'habitat n'est disponible pour cette frayère. Ainsi, ce rapport ne traite pas des impacts associés aux travaux sur la frayère multispécifique située à l'embouchure de la rivière Montmorency. Ce faisant, les impacts des travaux sur cette frayère multispécifique devront être traités dans l'évaluation des impacts du projet.

Table des matières

Introduction	III
Mise en garde	IV
Lexique	V
Limites du modèle d'habitat	VI
Table des matières	VII
1. Baret	1
1.1 Impacts potentiels durant la déconstruction du pont sur l'utilisation de l'habitat du baret	2
1.1.1 Analyse femelle.....	2
1.1.2 Analyse mâle	3
1.1.3 Conclusion femelle et mâle	4
2. Esturgeon jaune	5
2.1 Impacts potentiels durant la déconstruction du pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune.....	6
2.1.1 Analyse femelle.....	6
2.1.2 Analyse mâle	7
2.1.3 Conclusion femelle et mâle	7
Conclusion	9

1. Baret

Le baret est une espèce généraliste typiquement considérée comme estuarienne quant à ses préférences en matière d'habitat d'alimentation, de croissance et de fraie. Il fréquente les eaux saumâtres ainsi que les eaux douces de la côte atlantique de l'Amérique du Nord, utilisant préférentiellement les estuaires, mais aussi les lacs et les rivières. Bien que le baret soit considéré comme une espèce d'eau saumâtre, il a colonisé plusieurs grands plans d'eau douce comme les Grands Lacs.

Il est connu pour frayer à des températures variant de 11 à 16 °C. La fraie se déroule dans des habitats diversifiés et souvent associés à la zone de turbidité maximale (ZTM) qui se trouvent dans l'estuaire moyen du fleuve Saint-Laurent, soit de la pointe est de l'Île-d'Orléans jusqu'à L'Isle-aux-Coudres, où l'abondance de proies assure une alimentation optimale aux premiers stades de vie. Les femelles pondent les œufs en plusieurs événements, car leur développement dans les gonades n'est pas synchronisé, chacune des portions mûrissant progressivement pour finalement être expulsée.

La fraie se déroule majoritairement en eau peu profonde (moins de 10 m), peu importe le substrat. Le peu d'information disponible sur les caractéristiques hydrologiques des frayères indique que l'espèce fraie dans des eaux dont la vitesse peut atteindre 1 m/s. Les œufs sont relâchés dans la colonne d'eau par les femelles et sont fertilisés par les mâles, pour ensuite devenir adhésifs et démersaux (qui coulent au fond de l'eau), leur permettant de se coller à la végétation, aux roches ou à toute autre structure submergée. Le baret utilise des habitats de fraie très variables quant à la vitesse du courant, au type de substrat ou à la végétation, une caractéristique lui permettant de coloniser efficacement plusieurs types de milieux. Les courants et la proximité de la ZTM sont des éléments recherchés par le baret, bien que ceux-ci ne soient pas essentiels. Par exemple, des populations de baret se sont très bien établies dans le lac Ontario, malgré l'absence de la productivité planctonique et biologique associée au front salin et à la ZTM. Toutefois, la salinité est un élément majeur limitant la survie des œufs et des larves de baret, ceux-ci se retrouvant habituellement à des salinités inférieures à 3 ppm et ne pouvant pas survivre à des salinités supérieures à 8 ppm.

Au Québec et au Canada, le baret vit dans les Grands Lacs, mais aussi dans le fleuve Saint-Laurent où des habitats d'importance ont été caractérisés au cours des 10 dernières années. Une grande aire de fraie, la première répertoriée, a été délimitée dans le chenal de l'île d'Orléans, à proximité de l'actuel pont de l'Île-d'Orléans. Le baret utilise cette frayère intensivement du début du mois de mai jusqu'à la mi-juin, à des températures variant de 9,6 à 17 °C (voir Valiquette et coll. [2016] pour les détails). La durée de la période de fraie est associée aux variations de température annuelles auxquelles l'espèce est soumise et peut se concentrer durant deux à trois semaines ou s'étaler sur une période allant jusqu'à six semaines. La frayère du chenal de l'île d'Orléans s'étend jusqu'à une profondeur de 8 m, mais la plus grande portion de celle-ci se trouve à une profondeur de 6 m et moins.

1.1 Impacts potentiels durant la déconstruction du pont sur l'utilisation de l'habitat du baret

1.1.1 Analyse femelle

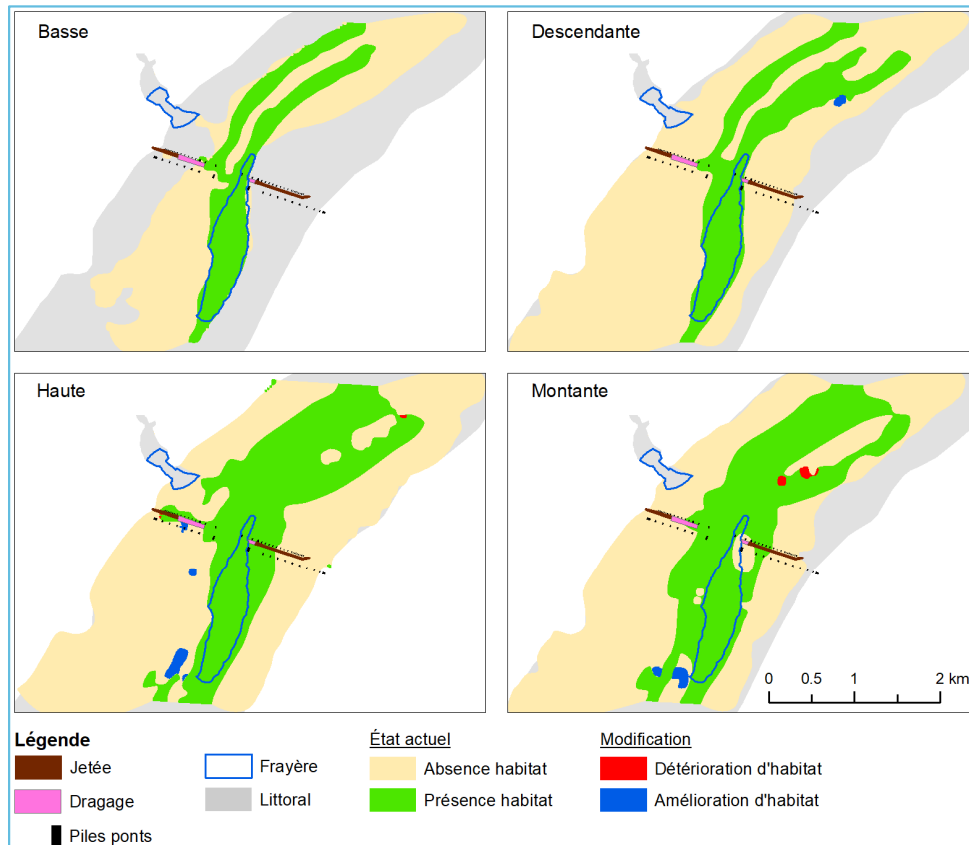


Figure 1 : Impacts appréhendés des travaux de déconstruction sur l'habitat de baret (femelle) en période de reproduction selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 1 : Superficie de modification de l'habitat du baret (femelle) découlant des travaux de déconstruction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ² (frayère)	Amélioration m ² (frayère)
Bas	0 (0)	0 (0)
Descendant	0 (0)	12 500 (0)
Haut	3 125 (0)	57 500 (0)
Montant	22 500 (0)	33 750 (0)

Durant la phase de déconstruction, les résultats prédits par le modèle indiquent une détérioration de 25 625 m², tout stade de marée confondu, ainsi qu'une amélioration totale de 103 750 m². De cette amélioration, une superficie de 26 250 m² est anticipée à proximité de la frayère durant la marée montante. Cependant, les résultats ne permettent pas de conclure qu'il s'agit d'une augmentation de la superficie de la frayère. Des validations terrain seraient requises pour confirmer cet aspect.

1.1.2 Analyse mâle

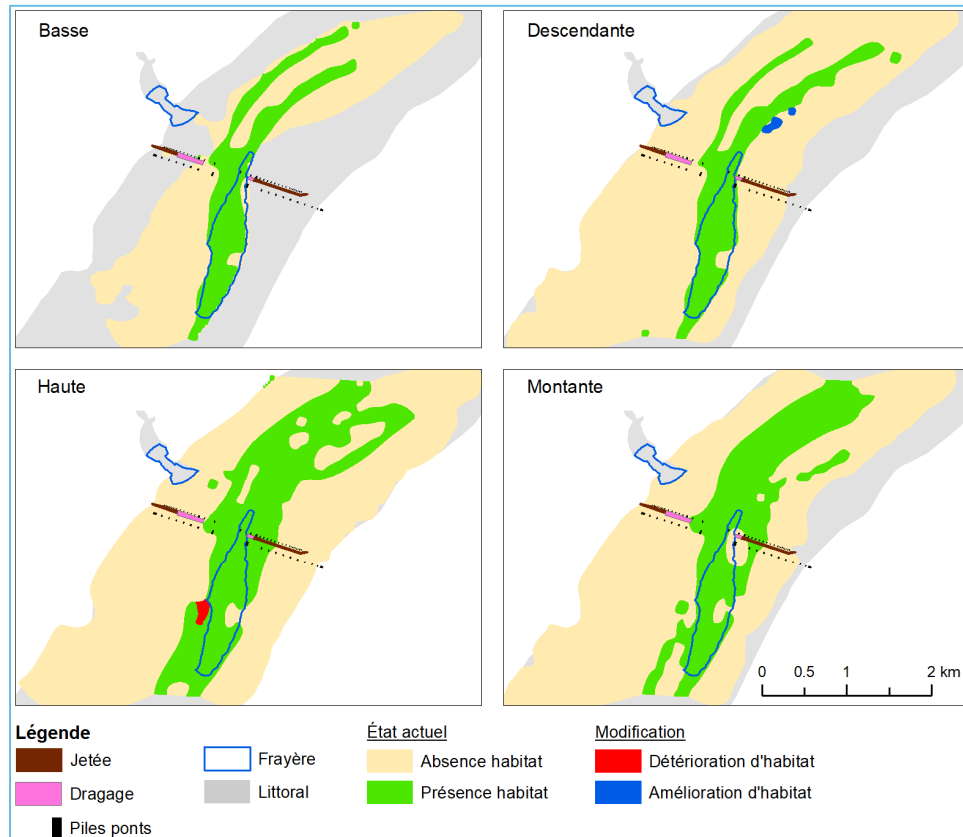


Figure 2 : Impacts des travaux de déconstruction sur l'habitat de baret (mâle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 2 : Superficie de modification de l'habitat de baret (mâle) découlant des travaux de déconstruction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ² (frayère)	Amélioration m ² (frayère)
Bas	0 (0)	0 (0)
Descendant	0 (0)	29 375 (0)
Haut	30 000 (313)	0 (0)
Montant	0 (0)	0 (0)

Selon les prédictions du modèle, une détérioration de 313 m², située directement dans la frayère, est perceptible durant les marées hautes. S'ajoute à cette superficie une détérioration de 29 687 m² située à proximité de la frayère. Puisque ces détériorations ne sont observables qu'à marée haute, le MFFP juge que l'utilisation de la frayère ne sera pas influencée par les nouvelles conditions occasionnées par les jetées.

1.1.3 Conclusion femelle et mâle

Selon les prédictions du modèle d'habitat, le MFFP juge que l'intégrité de l'utilisation de la frayère de baret sera maintenue pendant les travaux de déconstruction. De fait, les modifications engendrées par les jetées et le dragage ne semblent pas toucher directement la frayère. Le MFFP rappelle que certaines limites du modèle ne permettent pas de modéliser certains paramètres (voir section limite du modèle). En plus des détériorations prédites par le modèle, la mise en place de jetées causera une perte temporaire de 32 200 m² dans l'habitat du baret pour une période estimée à 3 ans. Bien que les jetées soient retirées à la fin de cette période, il est probable que l'effet de celles-ci se fasse ressentir plus longtemps, soit le temps nécessaire pour que le milieu récepteur se restaure. Cet aspect devra être précisé dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson. Par ailleurs, les dragages situés au bout des jetées et totalisant 19 941 m³ sont considérés comme une détérioration supplémentaire et devront être pris en compte dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson. À ce propos, le MFFP remarque qu'une des zones de dragage se situe à proximité de la frayère de baret. Les impacts du dragage sur celle-ci devront être traités dans l'évaluation des impacts du projet.

2. Esturgeon jaune

L'esturgeon jaune est une espèce inféodée à l'eau douce, où il trouve l'ensemble des éléments biotiques et abiotiques lui permettant de compléter son cycle de vie. Il peut aussi se retrouver en eau saumâtre pour s'alimenter, bien qu'il vive principalement en eau douce, où les conditions physicochimiques de l'eau et les ressources alimentaires sont optimales pour l'ensemble des stades de vie de l'espèce.

L'esturgeon jaune peut parcourir de grandes distances durant la migration de fraie ou de post-fraie, soit plus de 450 km en près de 30 jours, selon les stratégies de reproduction exprimées chez les différents individus d'une population. On estime qu'un individu adulte peut nager à près de 4 km/h. L'espèce fraie du début du mois de mai jusqu'à la fin du mois de juin, à des températures variant de 13 et 18 °C. La fraie a habituellement lieu dans des secteurs où la vitesse de l'eau est élevée (souvent près de 1 m/s et plus), directement dans des rapides ou au pied de chutes.

Étant données les vitesses d'écoulement recherchées par l'esturgeon jaune pendant la fraie, le substrat des frayères est majoritairement constitué de roche-mère, de blocs, de roches et de gravier. La fraie se déroule à une profondeur de 0,6 à 6 m, et les femelles pondent leurs œufs pendant quelques jours, ceux-ci étant matures simultanément, mais étant expulsés au cours de plusieurs jours. Les œufs sont relâchés par les femelles et fertilisés par les mâles dans la colonne d'eau. Les œufs deviennent alors adhésifs et démersaux (qui coulent au fond de l'eau), ce qui leur permet de se coller sur le substrat de la frayère ou à proximité de celle-ci.

Dans le fleuve Saint-Laurent, plusieurs frayères ont été répertoriées, dont celles de la rivière Montmorency. Effectivement, les travaux de Valiquette et coll., en 2016, ont permis de caractériser une frayère dans les rapides situés en aval de la chute Montmorency, à la rencontre du bassin de la chute et du fleuve Saint-Laurent. Cette frayère est utilisée plus intensivement de la mi-mai au début du mois de juin, à des températures variant de 7,2 à 15 °C. L'utilisation de la frayère varie selon le stade des marées. Les esturgeons jaunes s'y dirigent durant les marées montantes et hautes. Durant les marées descendantes et basses, les esturgeons jaunes sont en stabulation dans une zone du fleuve située à proximité de la frayère.

2.1 Impacts potentiels durant la déconstruction du pont sur l'habitat de l'esturgeon jaune

2.1.1 Analyse femelle

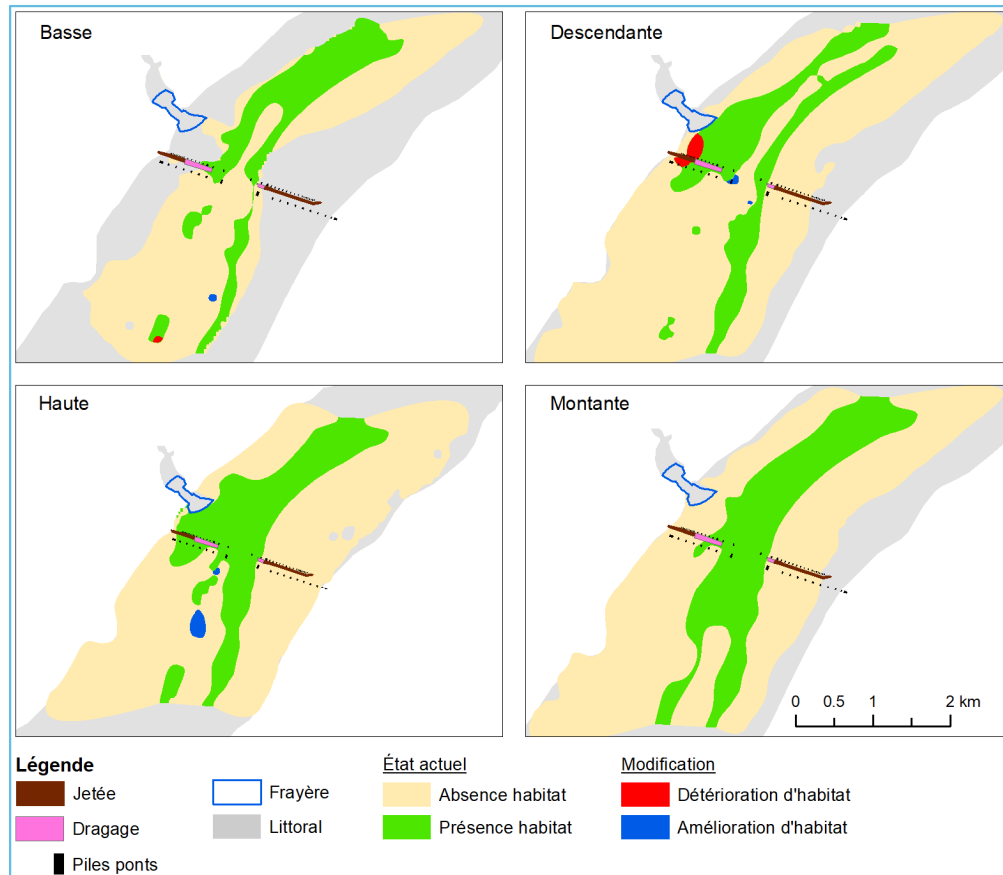


Figure 5 : Impacts des travaux de déconstruction sur l'habitat de l'esturgeon jaune (femelle) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 5 : Superficie de modification de l'habitat de l'esturgeon jaune (femelle) découlant des travaux de déconstruction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ²	Amélioration m ²
Bas	5 000	5 625
Descendant	42 343	7 500
Haut	0	42 500
Montant	0	0

Selon les prédictions du modèle, une détérioration de 42 343 m² est observable en marge de la frayère (zone de stabulation), et ce, durant les marées descendantes. Puisque cette détérioration ne se fera sentir que durant un seul stade de marée, soit au moment le plus critique de la marée descendante, le

MFFP juge que les esturgeons jaunes femelles accéderont aisément à la frayère située dans le bassin de la rivière Montmorency.

2.1.2 Analyse mâle

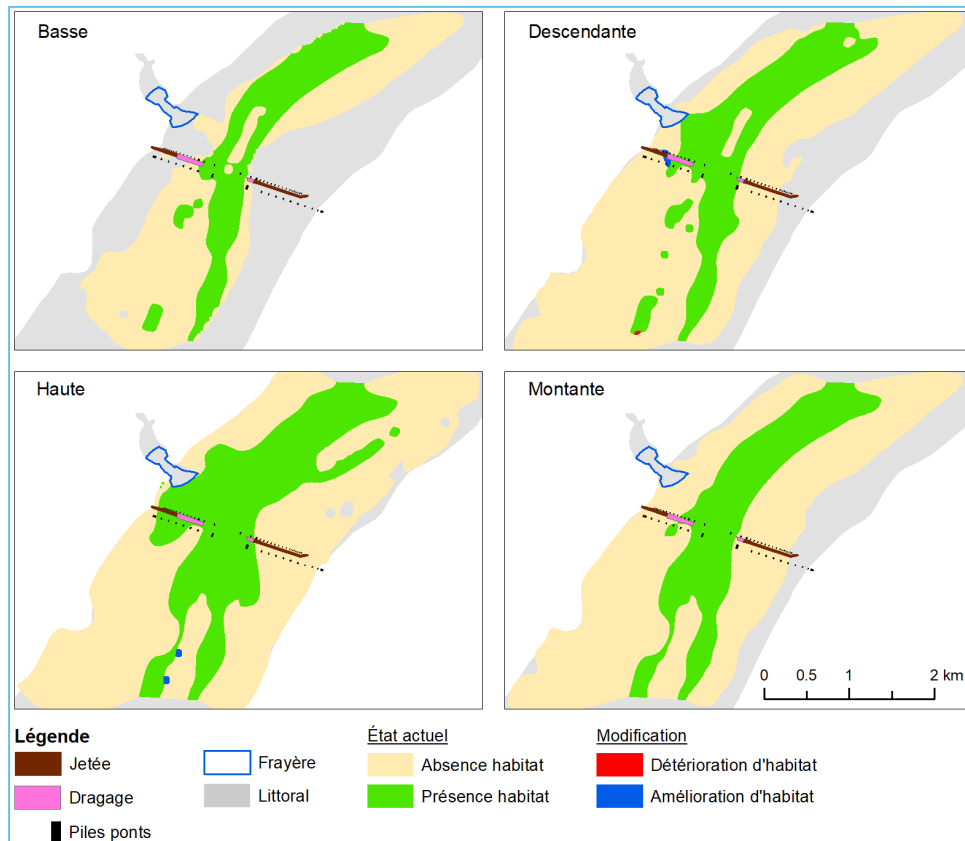


Figure 6 : Impacts des travaux de déconstruction sur l'habitat de l'esturgeon jaune (mâles) selon quatre stades de marée, indiqués dans le coin gauche de chacune des cartes.

Tableau 6 : Superficie de modification de l'habitat de l'esturgeon jaune (mâle) découlant des travaux de déconstruction selon quatre stades de marée.

Stade de marée	Détérioration m ²	Amélioration m ²
Bas	0	0
Descendant	1 250	8 750
Haut	0	11 250
Montant	0	0

Selon les prédictions du modèle, aucun impact notable n'est perceptible. Ainsi, le MFFP est d'avis que l'intégrité de l'habitat de l'esturgeon jaune adulte en période de reproduction sera maintenue.

2.1.3 Conclusion femelle et mâle

Selon les résultats prédits par le modèle, les modifications engendrées par la déconstruction du pont actuel, toutes proportions gardées, ne causeront pas de perturbation importante sur l'habitat de

l'esturgeon jaune. En plus des détériorations prédites par le modèle, la mise en place de jetées causera une perte temporaire de 32 200 m² dans l'habitat de l'esturgeon jaune pour une période estimée à 3 ans. Bien que les jetées soient retirées à la fin de cette période, il est probable que l'effet de celles-ci se fasse ressentir plus longtemps, soit le temps nécessaire pour que le milieu récepteur se restaure. Cet aspect devra être précisé dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson. Par ailleurs, les dragages situés au bout des jetées et totalisant 19 941 m³ sont considérés comme une détérioration supplémentaire et devront être pris en compte dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson.

Conclusion

Les prédictions du modèle d'habitat doivent être interprétées avec finesse. C'est-à-dire qu'elles doivent être considérées et interprétées dans le contexte bien précis dans lequel elles ont été générées. Ce rapport résulte de la nature du modèle, des variables qui le constituent et de ses limites.

Les résultats ne nous permettent pas de statuer quant aux répercussions du projet sur l'intégrité physique des habitats, mais plutôt quant à l'influence du projet sur l'utilisation de ceux-ci. Les résultats doivent être analysés comme étant la possibilité que ces habitats permettent aux poissons de remplir les fonctions biologiques associées à certaines parties de leur cycle vital.

La mise en place de jetées causera une perte temporaire de 32 200 m² dans l'habitat du poisson pour une période estimée à 3 ans. Bien que les jetées soient retirées à la fin de cette période, il est probable que l'effet de celles-ci se fasse ressentir plus longtemps, soit le temps nécessaire pour que le milieu récepteur se restaure. Cet aspect devra être précisé dans l'évaluation des impacts du projet sur l'habitat du poisson.

Comme mentionné préalablement, aucune donnée télémétrique pouvant servir au modèle d'habitat n'est disponible pour la frayère multispécifique située dans les rapides, en aval de la chute Montmorency, à la rencontre du bassin de la chute et du fleuve Saint-Laurent. Ce faisant, les effets des travaux sur cette frayère multispécifique devront être traités dans l'évaluation des impacts du projet.

Malgré les limites associées au modèle, le MFFP est d'avis que les modifications engendrées par les travaux de déconstruction du pont actuel n'influenceront pas l'utilisation des habitats du stade adulte du baret et de l'esturgeon jaune en période de reproduction.



**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec 

Annexe 5



MINISTÈRE DES TRANSPORTS

Étude hydraulique



SAINT-PIERRE-DE-L'ÎLE-D'ORLÉANS

Étude hydraulique pour la reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans

Structure n° : P-19555

Date : 2021-03-22

Équipe de réalisation

Rapport à l'exception des chapitres 10 et 12

Réalisation du rapport et calculs : Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ing., M. Sc.

Vérification des calculs et du rapport : Josée Emond, ing., M. Sc.

Vérification du rapport : Christian Poirier, ing., M. Sc.

Chapitre 10 – Comportement des glaces

Réalisation du rapport et calculs : Josée Emond, ing., M. Sc.

Vérification des calculs et du rapport : Christian Poirier, ing., M. Sc.

Vérification du rapport : Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ing., M. Sc.

Chapitre 12 – Régime des vagues

Réalisation du rapport et calculs : Pierre Gaudreau, ing.

Vérification des calculs et du rapport : Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ing., M. Sc.

Vérification du rapport : Christian Poirier, ing., M. Sc.



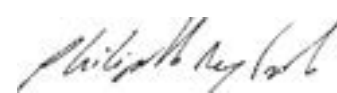
Josée Emond, ing. M.Sc.
N° membre OIQ : 146959
Direction de l'hydraulique
Direction générale des structures



Christian Poirier, ing. M.Sc.
N° membre OIQ : 45257
Direction de l'hydraulique
Direction générale des structures



Pierre Gaudreau, ing.
Direction de l'hydraulique
Direction générale des structures



Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ing. M. Sc.
N° membre OIQ : 5016295
Direction de l'hydraulique
Direction générale des structures

Le 22 mars 2021

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Mandat.....	1
1.2	Ouvrages étudiés	2
1.2.1	Le pont actuel	2
1.2.2	Le pont proposé	4
1.2.3	Éléments temporaires prévus lors de la construction	5
1.2.4	Projet Laurentia	6
1.3	Rapports préliminaires.....	7
2	CONNAISSANCES SUR LE SITE	8
2.1	Revue de la documentation disponible	8
2.1.1	Étude de pré faisabilité de CIMA+	8
2.1.2	Modélisation préliminaire des conditions hydrodynamiques	9
2.1.3	Articles d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) sur la modélisation du Saint-Laurent	10
2.1.4	Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent	12
2.1.5	Avis sur les efforts exercés par les glaces	12
2.1.6	Projet sur la salinité d'Ouranos	12
2.1.7	Description des scénarios climatiques du Saint-Laurent d'Ouranos	13
2.1.8	Rapport concernant le rehaussement du niveau des mers	14
2.1.9	Deuxième rapport d'étape – Étude d'impact sur l'environnement pour le projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent	15
2.2	Appareils déployés	16
2.2.1	Anémomètres	16
2.2.2	Marégraphes	16
2.2.3	Caméras d'observations des glaces	17
2.3	Photographies aériennes.....	18
2.4	Données bathymétriques.....	18
2.5	Imagerie satellitaire.....	19
2.6	Cartes d'observations des glaces du Service canadien des glaces.....	20
2.7	Mesures d'épaisseur de glace réalisées par le Service canadien des glaces.....	20
2.8	Enquêtes sur le terrain.....	20
2.8.1	Enquête de mars 2019	20
2.8.2	Enquête complémentaire de novembre 2020	20

3	RÉGIME HYDRAULIQUE	24
3.1	Prédominance des marées	24
3.2	Analyse des stations marégraphiques	24
3.3	Sommaire des analyses	24
3.4	Événements historiques	26
3.5	Cotes de crues du MELCC	27
3.6	Affluents.....	27
4	CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET REBOND ISOSTATIQUE.....	30
4.1	Rehaussement du niveau des mers	30
4.2	Rebond isostatique postglaciaire	30
4.3	Variation des températures.....	31
4.4	Débits dans le Saint-Laurent	31
5	CRITÈRES DE CONCEPTION POUR LA RÉALISATION DE L'ÉTUDE	31
5.1	Période de retour de conception.....	31
5.2	Norme du ministère concernant la position du soffite de l'ouvrage.....	32
5.2.1	Chenal navigable	32
5.2.2	Hors du chenal de navigation	32
5.3	Scénario de conception pour les vitesses d'écoulement	33
5.3.1	L'événement de conception ciblé	33
5.3.2	Événement de conception modélisé	33
6	MODÈLE HYDRODYNAMIQUE	34
6.1	Logiciel utilisé	34
6.1.1	Logiciel et équations	34
6.1.2	Traitement des éléments du pont	35
6.1.3	Écoulements en charge et autres ouvrages d'art	35
6.2	Conception du modèle.....	35
6.2.1	Zone couverte par le modèle	35
6.2.2	Maillage final retenu	36
6.2.3	Conditions aux limites	36
6.2.4	Pas de temps	37
6.2.5	Mise en eau	37
6.3	Précision visée pour le modèle.....	37
6.3.1	Choix des cibles à atteindre	37
6.3.2	Comparaisons avec le modèle d'ECCE	37
6.4	Calibration du modèle.....	38
6.4.1	Paramètres modifiés dans le cadre de la calibration	38

6.4.2	Débits du 25 août 2009	38
6.4.3	Niveaux à Lauzon	40
6.4.4	Niveaux à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans	41
6.4.5	Commentaires sur la calibration	42
6.5	Validation du modèle	42
6.5.1	Débits à Lauzon	42
6.5.2	Débits à Beauport	43
6.5.3	Niveaux à Québec	44
6.5.4	Niveaux à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans	45
6.5.5	Niveaux au pont de l'Île-d'Orléans	45
6.5.6	Retour sur la validation	46
7	MODÉLISATION DU PONT ACTUEL.....	47
7.1	Vitesse maximale au flot lors d'un cycle estival – Pont actuel	47
7.2	Vitesse maximale au jusant lors d'un cycle estival – Pont actuel.....	48
7.3	Vitesse maximale lors de la marée de conception – Pont actuel	50
7.4	Sommaire des vitesses au pont actuel	52
8	MODÉLISATION DU PONT PROPOSÉ	53
8.1	Vitesse maximale lors d'un cycle estival – Pont proposé.....	53
8.1.1	Présentation des vitesses maximales à la PMSGM	53
8.1.2	Présentation des différences entre l'état actuel et l'état proposé	55
8.2	Vitesse maximale lors de la marée de conception – Pont proposé.....	58
8.3	Sommaire des vitesses au pont proposé en présence des deux ponts	59
9	MODÉLISATION DES OUVRAGES TEMPORAIRES PROPOSÉS	60
9.1	Modélisation des vitesses d'écoulement.....	60
9.1.1	Vitesse au flot à la PMSGM	60
9.1.2	Vitesse au jusant à la PMSGM	62
9.2	Niveau d'eau lors de la construction	63
9.2.1	Profondeur d'eau	63
9.2.2	Rehaussement des eaux	64
9.3	Recherche d'effets cumulatifs avec le terminal projeté de Beauport	64
10	COMPORTEMENT DES GLACES.....	65
10.1	Aperçu du régime des glaces	65
10.2	Enquête sur le terrain du 21 mars 2019.....	66
10.3	Caméras d'observations des glaces	71
10.4	Analyse des cartes des glaces	73
10.5	Imagerie satellitaire.....	77

10.6	Données d'épaisseur de glace disponibles.....	77
10.7	Caractéristiques des glaces à considérer pour la conception (climat actuel).....	79
10.8	Caractéristiques des glaces à considérer pour la conception (climat futur).....	80
10.9	Niveaux d'eau en présence de glace.....	81
10.10	Normes à respecter.....	82
10.11	Angles d'écoulement.....	84
10.12	Géométries complexes et conditions des glaces particulières.....	86
10.13	Forces de glace.....	86
10.13.1	Scénarios à considérer.....	86
10.14	Angles d'impact des glaces.....	87
10.15	Forces verticales dues à l'adhérence des glaces.....	87
10.16	Résistance effective de la glace.....	87
10.17	Forces statiques des glaces.....	87
11	PROCESSUS HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES.....	88
11.1	La dynamique sédimentaire.....	88
11.1.1	Sources de sédiments et courants.....	88
11.1.2	Dynamique des battures.....	88
11.1.3	Effets d'épîs.....	89
11.1.4	Dynamique dans le chenal.....	90
11.2	Érosion des rives.....	91
11.3	Modification appréhendée du régime sédimentaire.....	92
11.3.1	Pont proposé.....	92
11.3.2	Ouvrages temporaires.....	92
11.3.3	Mise en place de ponceaux durant les travaux.....	94
11.4	Modélisation du transport sédimentaire.....	94
11.4.1	Modélisation de l'érosion et de la déposition des sédiments.....	94
11.4.2	Modélisation d'un panache de sédiments ou d'une fuite de polluant.....	95
12	RÉGIME DES VAGUES.....	95
12.1	Études antérieures et information sur le secteur.....	95
12.2	Vagues générées par les navires.....	96
12.3	Vagues générées par le vent.....	98
12.3.1	Détermination de l'ouvert (<i>fetch</i>).....	98
12.3.2	Données de vent au site à l'étude.....	99
12.3.3	Climat des vagues générées par le vent.....	101
12.3.4	Évaluation de l'impact des courants et de la bathymétrie sur les vagues.....	103
12.4	Choix de la vague de conception.....	105

12.5	Remontée des vagues sur les protections flexibles	105
13	PROFONDEUR D'AFFOUILLEMENT	106
13.1	Modélisation de l'affouillement.....	106
13.2	Portait du lit à proximité du pont proposé	106
13.3	Affouillement causé par les courants	107
13.3.1	Piles et pylônes	107
13.3.2	Culées	108
13.3.3	Batardeaux	109
13.4	Affouillement provoqué par les vagues.....	109
13.4.1	Affouillement aux piles, aux pylônes et aux éléments temporaires	110
13.4.2	Affouillement aux culées	110
14	PROTECTION DES APPROCHES, DES CULÉES ET DES PILES	111
14.1	Approches et culées	111
14.1.1	Protection contre les vagues	111
14.1.2	Protection contre les glaces	111
14.1.3	Choix de la protection flexible aux culées et aux approches	111
14.1.4	Généralités pour la mise en place	112
14.1.5	Options alternatives	112
14.1.6	Transitions avec les ouvrages existants	113
14.2	Protection flexible aux piles pour prévenir l'affouillement	113
14.2.1	Piles A2 à A6	113
14.2.2	Pile A7, Pylônes P8 et P9	113
14.2.3	Piles A10 à A18	114
15	CONCLUSION	114

ANNEXE

Annexe A	Analyse des stations marégraphiques	116
Annexe B	Caméras d'observations des glaces	136
Annexe C	Imagerie satellitaire.....	148
Annexe D	Épaisseurs de glace	160
Annexe E	Aménagement des extrémités	162

1 INTRODUCTION

1.1 Mandat

Le présent rapport donne suite à une demande d'étude hydraulique, en date du 22 janvier 2019, de madame Hélène Michaud, ingénieure gérante de projet à la Direction générale des grands projets du 3e lien et du pont de l'Île-d'Orléans (DGGPLPIO).

La demande concerne la conception du nouveau pont de l'Île-d'Orléans, entre les municipalités de Québec et de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, pour enjamber le fleuve Saint-Laurent. Plusieurs éléments doivent être considérés dans la conception hydraulique du nouveau pont et ces éléments ont été inclus dans la demande. On y retrouve entre autres la conception hydraulique générale de l'ouvrage, l'aménagement des protections contre les conditions maritimes, l'évaluation des impacts environnementaux de nature hydraulique, la détermination des niveaux d'eau et leur évaluation statistique, l'évaluation de la protection contre l'affouillement ainsi que l'évaluation des charges de glace. La localisation du tracé projeté est présentée à la figure qui suit.



Figure 1-1 Localisation du tracé projeté

La demande était aussi assortie d'une demande de soutien technique aux mandataires qui assureront la conception du nouveau pont ainsi qu'un support lors de la planification et la réalisation du projet.

Une demande complémentaire a été réalisée le 22 juin 2020 par la Direction des grands projets de la région métropolitaine de Québec (DGPRMQ) pour élargir le mandat et y inclure des analyses supplémentaires pour répondre à des interrogations de nature environnementales. Un extrait des directives du MELCC a été communiqué à la Direction de l'hydraulique le 9 octobre 2020.

Le présent rapport vise à répondre à la portion de la demande concernant la conception hydraulique de l'ouvrage et à la demande complémentaire pour répondre aux interrogations environnementales.

1.2 Ouvrages étudiés

Plusieurs ouvrages sont étudiés dans le présent rapport en lien avec le mandat reçu. Ces ouvrages sont :

- Le pont actuel, construit en 1935;
- Le pont proposé par Groupement Origine Orléans en date du 6 novembre 2020;
- Les ouvrages temporaires proposés par Groupement Origine Orléans en date du 6 novembre 2020;
- Les ouvrages du projet Laurentia en date du 6 novembre 2020 pour évaluer leurs impacts cumulatifs avec le pont projeté.

Une description sommaire de ces ouvrages est présentée dans les sections qui suivent pour bien situer le projet et les ouvrages qui y sont abordés.

Il est important de noter que les évaluations du pont proposé se font toujours en présence du pont actuel puisque les deux ponts seront en place en même temps pour une certaine durée avant la déconstruction du pont actuel. Un rapport subséquent sera dédié au retrait du pont actuel.

1.2.1 Le pont actuel

Pour intégrer le pont actuel dans l'étude et les modèles, les plans disponibles dans le système PLN ont été extraits. Le système de gestion des structures du Québec (GSQ) a aussi été consulté. Plusieurs feuillets tirés de 2019, 2009, 2008 et 1932 ont été étudiés pour bien comprendre la géométrie des éléments de fondation, entre autres. De plus, le levé bathymétrique BA081313TN_2.dwg, qui permet de situer les éléments de fondation, a aussi été considéré. De ces plans et relevés, il est possible de tirer les informations suivantes :

- Le pont actuel est un pont suspendu;
- Le pont actuel possède 38 travées;
- La longueur des travées varie de 18,3 m (approches) à 322,8 m (portion suspendue);

- Un grand nombre des unités de fondations se situe dans la portion intertidale de l'écoulement;
- Deux pylônes se situent dans la portion plus profonde du chenal.

Les figures qui suivent montrent une vue en élévation du pont actuel ainsi que la position des éléments de fondation de la structure actuelle.



Figure 1-2 Vue en élévation du pont actuel tirée du plan PO-2009-1-05228_PO_CO_0002_1.PDF

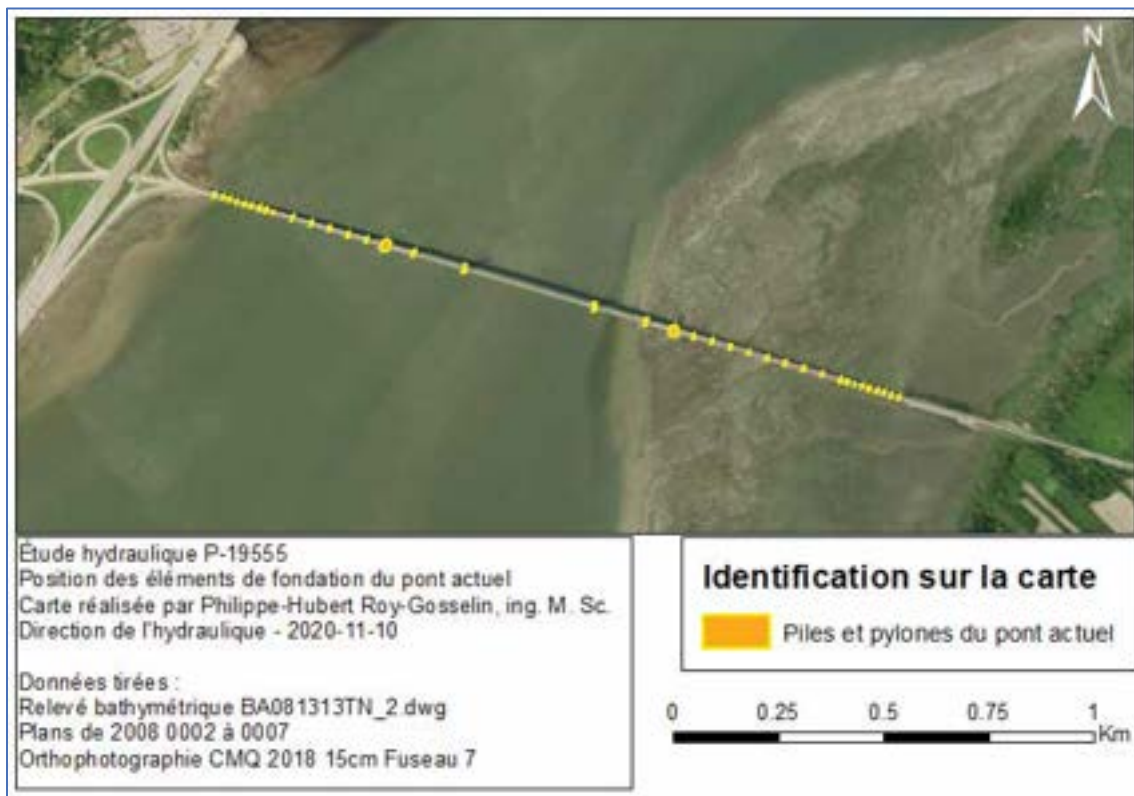


Figure 1-3 Position des éléments de fondation du pont actuel

1.2.2 Le pont proposé

Pour intégrer le pont proposé par Groupement Origine Orléans (GOO), les documents suivants ont été consultés :

- Le fichier de forme géoréférencé *Permanent.shp* obtenu le 5 novembre 2020;
- Le fichier de forme géoréférencé *FondationsPIO_20201022.shp* obtenu le 22 octobre 2020;
- La planche 3601-20-AI01_A_Planche3_GroupementOrigineOrleans.pdf reçue de GOO en juillet 2020;
- La planche 3601-20-AI01_A_Planche4_GroupementOrigineOrleans.pdf reçue de GOO en juillet 2020;
- Le rapport 3601-20-AI01_D_RapportEtudesTechniques(D7)_GroupementOrigineOrleans.pdf reçu de GOO en juillet 2020.

De ces documents, il est possible de tirer les informations suivantes :

- Le pont proposé est un pont à haubans;
- Le pont aura 18 travées;
- La longueur des travées variera de 40,0 m (approche sud) à 430,0 m (portion haubanée);
- La majorité des unités de fondations se situe dans la portion intertidale de l'écoulement;
- Un pylône se situe dans la portion plus profonde du chenal.

Une vue en élévation du pont proposé ainsi que l'emplacement prévu de ses éléments de fondations permanents sont présentés aux figures qui suivent.

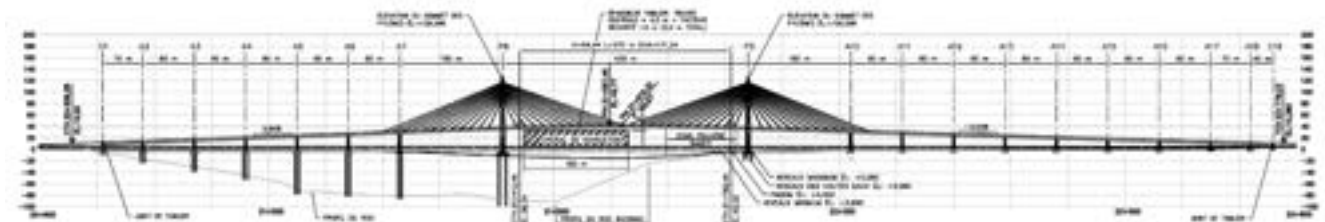


Figure 1-4 Vue en élévation du pont proposé tirée de la planche
3601-20-AI01_A_Planche3_GroupementOrigineOrleans.pdf

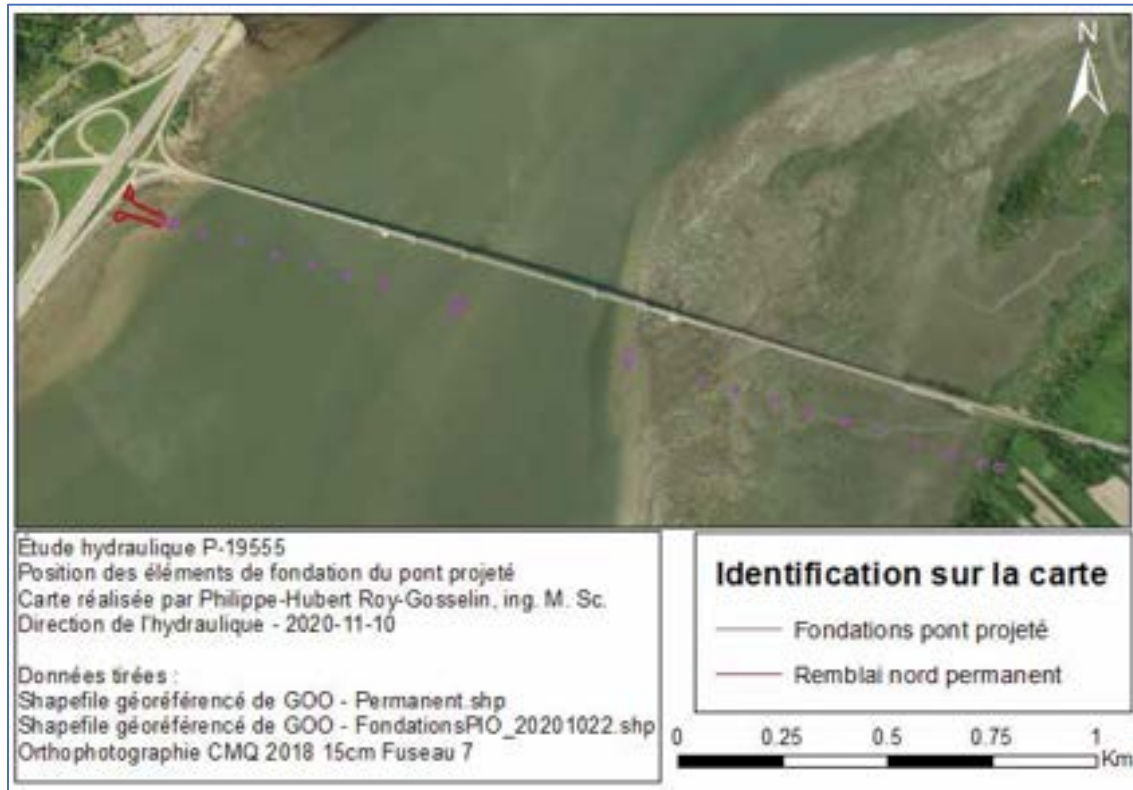


Figure 1-5 Position des éléments de fondation permanents du pont projeté

1.2.3 Éléments temporaires prévus lors de la construction

L'accès aux unités de fondation lors des travaux se fera principalement par deux méthodes, c'est-à-dire à l'aide de jetées en empierrement et à l'aide de barges. Les jetées viendront créer des batardeaux autour de la majorité des piles pour permettre une construction à sec. Les ouvrages temporaires, leurs concepts et les superficies prévues ont été obtenus de GOO. Les détails sont tirés des documents suivants :

- Le fichier de forme *JeteesTempPIO20201022.shp* obtenu le 22 octobre 2020;
- Le document *PIO_Fondations_Jetees_20201105.pdf* obtenu le 5 novembre 2020;
- Le rapport *3601-20-AI01_D_RapportEtudesTechniques(D7)_GroupementOrigineOrleans.pdf* obtenu de GOO en juillet 2020;
- Le document *3601-20-AI01_F_Echeancier(D9)_GroupementOrigineOrleans.pdf* obtenu de GOO en juillet 2020.

Les jetées temporaires proposées occupent une superficie s'approchant de 30 000 m² sous la LHE. Leur sommet est à une élévation prévue de 5,2 m. La figure qui suit, tirée de la pièce *PIO_Fondations_Jetees_20201105.pdf*, permet de voir où seront situées les jetées par rapport aux éléments permanents.



Figure 1-6 Position des éléments temporaires lors de la construction du pont projeté

1.2.4 Projet Laurentia

À la demande du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC), le MTO doit évaluer si le pont proposé aura un impact hydraulique cumulatif avec le projet Laurentia qui ajouterait un quai en eaux profondes dans le port de Québec.

Pour modéliser les ouvrages du projet Laurentia, plusieurs sources d'information ont été consultées. Ces sources sont les documents et fichiers qui suivent :

- Modélisation numérique des conditions hydrauliques produite par le Groupe-Conseil LaSalle (GCL) en août 2007;
- Validation des hypothèses de modélisation 2D produite par Lasalle-NHC en septembre 2016;
- Étude d'impact environnemental – Version amendée de septembre 2016 produite par Englobe.

De ces documents, il a été possible d'obtenir les informations nécessaires pour implanter les éléments du projet Laurentia dans la modélisation hydrodynamique. La figure qui suit, tirée de l'étude d'impact environnemental, montre l'emplacement des ouvrages projetés par le port de Québec.



Figure 1-7 Aménagements prévus dans le projet Laurentia

1.3 Rapports préliminaires

Ce rapport est une version finale plus exhaustive et plus complète des documents précédemment produits dans le cadre de ce projet. La présente étude hydraulique se veut donc aussi un document de synthèse des documents produits antérieurement.

Parmi ces documents, citons :

- L'*Étude hydraulique préliminaire* émise le 7 janvier 2020 par la Direction générale des structures;
- Le document *Résultats de modélisation hydrodynamique au Pont de l'Île-d'Orléans* émis le 17 avril 2020 par la Direction générale des structures;
- L'*Avis technique sur les glaces* émis le 8 juin 2020 par la Direction générale des structures.

De nouvelles données ont été obtenues depuis l'émission de ces documents et des analyses complémentaires ont été réalisées. Les valeurs et conclusions présentées au présent rapport ont donc préséance sur toute information présentée dans ces documents.

2 CONNAISSANCES SUR LE SITE

Le secteur à l'étude a déjà fait l'objet d'analyses, d'études et de modélisation par le passé. Plusieurs documents et rapports ont été consultés avant de réaliser la présente étude.

Le site et ses environs a aussi été instrumenté au fil des années, permettant d'acquérir des données importantes pour la réalisation de la présente étude. Finalement, des mesures et des photographies ont été prises par différentes instances.

Ce chapitre de l'étude hydraulique résume ces différentes sources d'information qui ont contribué à produire la présente étude.

2.1 Revue de la documentation disponible

Certains des documents consultés sont présentés dans cette section ainsi que les commentaires pertinents qui peuvent en être tirés.

2.1.1 Étude de préfaisabilité de CIMA+

Cette étude, nommée *Étude de préfaisabilité et de concepts d'un nouveau lien routier de surface comme alternative possible à la réfection du pont actuel de l'Île d'Orléans* (CIMA+, 2010), présente plusieurs informations.

Cette étude se déclinait en cinq parties. La partie la plus pertinente pour la présente étude est la *Partie II – Considérations techniques et environnementales*. Cette partie présentait une caractérisation du site au voisinage de l'axe du pont actuel et les considérations hydrauliques et environnementales étaient entre autres abordées.

On y dénote que les courants dans le chenal de l'Île d'Orléans sont complètement orientés de l'aval vers l'amont lors du flot de la marée, que le courant s'inverse après la pleine mer et que l'eau s'écoule vers l'aval jusqu'à la basse mer. Une zone de courants mixtes se produit et se déplace dans le chenal selon le moment du cycle de la marée.

Les débits maximaux liés à la marée dépasseraient 10 000 m³/s lors d'une marée moyenne.

Les concentrations en sédiment sont aussi abordées dans l'étude de CIMA+. On y relate que la concentration dans l'eau est de plus de 130 mg/L pour le chenal de l'Île d'Orléans, ce qui excède largement la valeur de 12 mg/L entre Montréal et Québec, par exemple.

L'étude pose l'hypothèse d'avoir une accumulation de glace possible pouvant atteindre 1,5 m au-dessus du niveau d'eau qui devra être considérée dans la conception du nouvel ouvrage.

L'analyse du régime sédimentaire mentionne que près de 70 % des sédiments seraient transportés par le fleuve durant la crue printanière au droit de Québec. Selon l'étude, le secteur du pont serait une zone d'accumulation temporaire. Cette zone est caractérisée par la présence de limon argileux et de sédiments mixtes. Le secteur est bordé par des zones de transport en amont et en aval.

2.1.2 Modélisation préliminaire des conditions hydrodynamiques

Ce document, *Modélisation préliminaire des conditions hydrodynamiques (Le Groupe-Conseil LaSalle, février 2010)* était centré sur la modélisation des courants de marée et des niveaux d'eau dans le secteur à l'étude pour évaluer préliminairement l'impact hydraulique de différentes solutions. Les tracés évalués étaient situés à l'est du tracé actuel, contrairement à ce qui est évalué dans la présente étude hydraulique.

Parmi les solutions étudiées, on note une jetée obstruant complètement le chenal de l'Île d'Orléans (variante 1) ainsi que des jetées avec une ouverture de 460 m au pied de celles-ci et un pont enjambant le chenal principal (variante 2). Ces solutions sont largement différentes de celles actuellement étudiées dans le présent projet.

Les données bathymétriques utilisées provenaient majoritairement de relevés du Service hydrographique du Canada (SHC) et dataient de 1971 à 1982 pour les chenaux principaux du Saint-Laurent. Des données plus récentes du SHC étaient disponibles dans le secteur du Port de Québec et de Beauport, mais pas dans la baie de Beauport. Quelques relevés complémentaires effectués par le MTQ en 1999 et à une date inconnue ont aussi été fournis dans le secteur du pont.

À Saint-François-de-l'Île-d'Orléans et à Lauzon, les niveaux modélisés correspondent assez bien aux niveaux mesurés. Le modèle semble sous-estimer très légèrement l'amplitude de la marée à Lauzon.

Au pont de l'Île-d'Orléans, le modèle a bien reproduit les signaux de marées, mais il a légèrement surestimé les niveaux par rapport à ceux prédits par le SHC.

La modélisation a permis d'établir que la variante 1 pouvait avoir un impact allant jusqu'à une augmentation de niveau $\pm 0,8$ m à l'aval de la jetée. Les vitesses d'écoulement étaient substantiellement modifiées dans le chenal avec l'onde de marée qui était arrêtée à la jetée lors du flot et déviée dans l'autre chenal lors du jusant.

Au niveau de la variante 2, avec une ouverture au niveau du chenal principal, les impacts étaient très localisés et faibles.

La validation du modèle a été difficile, bien que satisfaisante en fin de compte, selon les auteurs. Elle s'est effectuée à l'aide des cartes des courants et sur les niveaux des marées du SHC. L'étude suggère une campagne de mesures des courants et des niveaux d'eau dans le secteur à l'étude pour une meilleure calibration et validation ainsi que des relevés bathymétriques plus récents.

Plusieurs éléments font que ces modélisations ne pourront pas être utilisées dans le présent projet. Le tracé retenu est différent. Des données de jaugeage et des données bathymétriques plus récentes sont disponibles. Le concept retenu est aussi très différent des variantes proposées. Néanmoins, la variante 2 devrait normalement présenter certaines similitudes avec les ouvrages temporaires proposés par GOO.

2.1.3 Articles d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) sur la modélisation du Saint-Laurent

ECCC a élaboré, calibré et validé un modèle hydrodynamique couvrant le secteur à l'étude et bien plus. Plusieurs articles scientifiques sur ce modèle, sur sa calibration, sa validation et les campagnes de mesure, entre autres, ont été rédigés. Ces articles ont été consultés. Quelques faits saillants de ces différents articles sont relatés ici.

2.1.3.1 Hydrodynamic Modeling of the St. Lawrence Fluvial Estuary. I : Model Setup, Calibration, and Validation (Matte et. al., Environnement et changements climatiques Canada, 2017)

Cet article relate la construction d'un modèle de tout l'estuaire fluvial du Saint-Laurent à l'aide du logiciel de modélisation H2D2 développé par Yves Secretan à l'Institut national de la recherche scientifique (INRS-ETE).

Le modèle a été construit en deux parties. La partie amont, qui s'étend du lac Saint-Pierre jusqu'à Québec, et la partie aval, qui recoupe la partie amont en partie et qui s'étend de Neuville à Saint-Joseph-de-la-Rive. Une fois les deux sous-modèles calibrés, ils ont été assemblés en un modèle global pour la validation.

Les conditions aux limites amont et aval des modèles ont été posées sous la forme de conditions de niveau puisque la marée subsiste encore au niveau du lac Saint-Pierre et qu'elle est prédominante à Saint-Joseph-de-la-Rive. Le modèle prend en compte les apports de débits des tributaires majeurs rencontrés le long du fleuve dans le domaine à l'étude.

Le modèle est constitué d'un maillage par éléments finis avec des mailles ayant une dimension d'environ 50 m. Le maillage a été raffiné autour des éléments d'ingénierie comme les ponts. Le modèle compte près de 1 350 000 nœuds en tout.

Les données bathymétriques utilisées sont les relevés multifaisceaux du SHC lorsque disponibles dans la voie navigable. Hors du chenal navigable et dans les zones de faible profondeur, des relevés plus anciens ont été utilisés et des campagnes de LiDAR à marée basse ont aussi été réalisées.

Une importante campagne de jaugeage des débits a été effectuée à l'été 2009 pour calibrer et valider le modèle (voir article à la section 2.1.3.3).

Le *Root mean squared error* (RMSE) obtenu pour la simulation d'août 2009 était de 0,121 m à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans, de 0,133 m à Lauzon et de 0,160 m à Beauport. Ces valeurs sont inférieures à 5 % du marnage, ce qui démontre une bonne précision.

Le modèle était capable de reproduire les débits mesurés assez fidèlement à plusieurs endroits, dont à Château-Richer. L'erreur sur les débits mesurés (RMSE) était de 6,3 %. À Lauzon, elle était de 11,1 % et à Beauport de 12,0 %.

Il est conclu que le modèle est capable de bien reproduire les phénomènes de marées et d'écoulement.

2.1.3.2 Hydrodynamic Modeling of the St. Lawrence Fluvial Estuary. II : Reproduction of Spatial and Temporal Patterns (Matte et. al., Environnement et changements climatiques Canada, 2017)

La seconde partie de l'article de 2017 portait sur la capacité du modèle à reproduire des séries temporelles et spatiales. On y analyse, entre autres, la séparation des débits entre les chenaux nord et sud de l'île d'Orléans, telle que mesurée les 24 et 25 août 2009. Le débit maximal dans le chenal de l'Île d'Orléans était d'environ 10 000 m³/s et celui dans le chenal sud autour de 60 000 m³/s.

Plusieurs autres analyses, comme la propagation des cycles de marées, la variation spatiale de l'amplitude de la marée, la zone d'inversion de courant, etc., ont aussi été considérées pour s'assurer que les processus modélisés étaient précis. Ces précisions venaient s'ajouter aux valeurs observées lors des jaugeages qui devaient être reproduites. Les analyses ont démontré que le modèle était valide pour reproduire les différents processus.

2.1.3.3 Quantifying Lateral and Intratidal Variability in Water Level and Velocity in a Tide-dominated River Using a Combined RTK GPS and ADCP Measurements (Matte et al., Environnement Canada, 2014)

Dans un système changeant rapidement comme le Saint-Laurent lors du passage des marées, la prise de mesures peut devenir un défi. Cet article présente la méthode de saisie et d'ajustement des données de jaugeage acquises en 2009 et qui sont utilisées pour calibrer le modèle d'Environnement et changements climatiques Canada et qui sont aussi utilisées pour calibrer le modèle hydrodynamique du MTQ.

En plus de la méthode présentée pour ajuster les données de jaugeage, l'article souligne que les conditions d'écoulement peuvent changer à l'intérieur d'un seul passage en bateau lors d'un jaugeage. Elles peuvent aussi varier de manière considérable entre deux passages.

2.1.3.4 Conclusions à la lecture de ces articles

À la lecture de ces articles, plusieurs informations utiles ont été acquises pour permettre une modélisation adéquate au site à l'étude. Comme pour ECCC, le MTQ utilise un modèle hydrodynamique bidimensionnel. Le domaine de modélisation utilisé par ECCC, qui s'étend de Neuville à Saint-Joseph-de-la-Rive est aussi utilisé par le MTQ.

Le MTQ vise à obtenir une précision comparable à celle obtenue par ECCC, autant pour les niveaux mesurés que pour les débits. Tout comme ECCC, le MTQ valide que les ondes de marées se propagent correctement dans le temps dans le modèle à différentes stations et pas uniquement au site à l'étude. Le partage des débits doit aussi correspondre aux mesures d'ECCC.

Une attention particulière est portée lors de l'utilisation des données de jaugeage pour prendre en compte la variabilité du système.

La précision atteinte par ECCC est très bonne dans un système complexe comme celui qui est à l'étude. L'atteinte d'une précision comparable à celle d'ECCC est pour le MTQ un gage de qualité pour juger de la performance d'un modèle à cet endroit.

2.1.4 Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent

Ce document, nommé *Rapport synthèse sur l'état du Saint-Laurent – volume 1* (Environnement Canada, 1996), est une synthèse des connaissances de l'époque sur différents aspects du Saint-Laurent. L'aspect de circulation de l'eau et de la dynamique sédimentaire y est abordé.

Dans ce rapport, on mentionne que le courant est toujours descendant en amont de Portneuf. À partir de l'aval de Portneuf, on commence à observer des inversions de courant liées aux marées. On y indique que les marées maximales se situent à la pointe est de l'île d'Orléans. La marée à la hauteur de Québec aurait un débit de $\pm 55\,000\text{ m}^3/\text{s}$, soit environ quatre fois le débit moyen du fleuve de $12\,100\text{ m}^3/\text{s}$ à cette hauteur, ce qui peut engendrer un débit instantané maximal pouvant atteindre $75\,000\text{ m}^3/\text{s}$. À mesure que l'onde de marée remonte dans le fleuve, elle serait de plus en plus déformée, prenant la forme de dents de scie, avec un flot de plus en plus rapide et court ainsi qu'un jusant de plus en plus étalé.

Encore selon ce rapport, les glaces entre Québec et Kamouraska dérivent sur toute la largeur du chenal et des glaçons pouvant atteindre 600 m sont observés.

Le temps de résidence des eaux entre Portneuf et l'île d'Orléans serait d'environ deux jours et il ne pourrait y avoir de la sédimentation que durant l'étalement de marée haute lorsque les vitesses sont plus faibles. La concentration de matière en suspension à Québec varierait entre 16 et 20 mg/L. À la pointe est de l'île d'Orléans, elle serait de 25-70 mg/L. Un bouchon de turbidité serait présent à Cap-Tourmente avec des valeurs pouvant osciller entre 200 et 400 mg/L. Ce bouchon serait lié à un phénomène de floculation au mélange des eaux salées et douces.

2.1.5 Avis sur les efforts exercés par les glaces

Ce document, intitulé *Lien vers la Baie de Beauport – Avis sur les efforts exercés sur la structure par les glaces* (Le Groupe-Conseil Lasalle, 2007) évaluait les épaisseurs de glace et les cas de chargements pour un ouvrage dans la Baie de Beauport à proximité du site à l'étude. On y relate une épaisseur équivalente de glace saine de 1,25 m pour la période de retour de 100 ans. Au moment de la rédaction de cet avis, cette épaisseur surpassait les valeurs mesurées par le Service de climatologie des glaces et par le laboratoire de mécanique des glaces de l'Université Laval dans la Baie de Beauport et était considérée comme sécuritaire pour effectuer une conception.

2.1.6 Projet sur la salinité d'Ouranos

Ce projet, dont la fiche de projet s'intitule *La salinité du fleuve sous la loupe : Pour une meilleure compréhension des impacts appréhendés de sa variabilité sur l'approvisionnement en eau potable au fleuve du territoire de la CMQ* (Ouranos, 2017), est mené par le Consortium Ouranos et n'est pas encore terminé. Il a entre autres pour objectifs de modéliser le déplacement du front salin selon des scénarios de hausses du niveau marin et des changements du débit fluvial d'ici 25 et 50 ans dans la grande région de Québec. Des rapports intermédiaires ont été déposés en 2020 concernant les mesures actuelles de salinité et de conductivité et des pics observés, entre autres, l'hiver. La portion sur les changements climatiques n'est pas encore publiée cependant.

2.1.7 Description des scénarios climatiques du Saint-Laurent d'Ouranos

Bien que le système soit principalement contrôlé par les marées, il reste néanmoins que les débits en provenance du Saint-Laurent en amont du site à l'étude peuvent avoir un impact sur le comportement hydraulique au site à l'étude. Le document *Étude économique régionale des impacts et de l'adaptation liés aux changements climatiques sur le fleuve Saint-Laurent : Description des scénarios climatiques* (Ouranos, 2016), offre une évaluation de l'impact des changements climatiques sur les débits du Saint-Laurent pour différents scénarios.

Trois scénarios sont présentés dans le document, soit le scénario de référence, le scénario chaud et sec ainsi que le scénario avec cycle saisonnier amplifié. Les scénarios futurs se limitent à la période 2015-2065, ce qui ne couvre pas la durée de vie du pont projeté.

Le scénario de référence est construit sur la base de débits reconstitués à Sorel couvrant la période 1953-2012.

Le scénario chaud et sec se base sur des simulations climatiques qui alimentent ensuite les modèles de niveaux des Grands Lacs et au modèle de régularisation des niveaux par les barrages.

Le scénario avec cycle saisonnier amplifié, quant à lui, passe par un chemin plus direct. Au lieu d'avoir une chaîne de modélisation, l'approche est plutôt de rechercher une relation entre les apports nets aux bassins et les débits du fleuve. En appliquant les scénarios de changements climatiques, il devient alors possible d'évaluer les apports nets aux bassins dans les conditions futures et d'estimer ainsi les débits du fleuve. Les résultats de cette approche contrastent avec ceux du scénario chaud et sec.

Les deux approches donnent des résultats très différents. La figure qui suit est tirée du document.

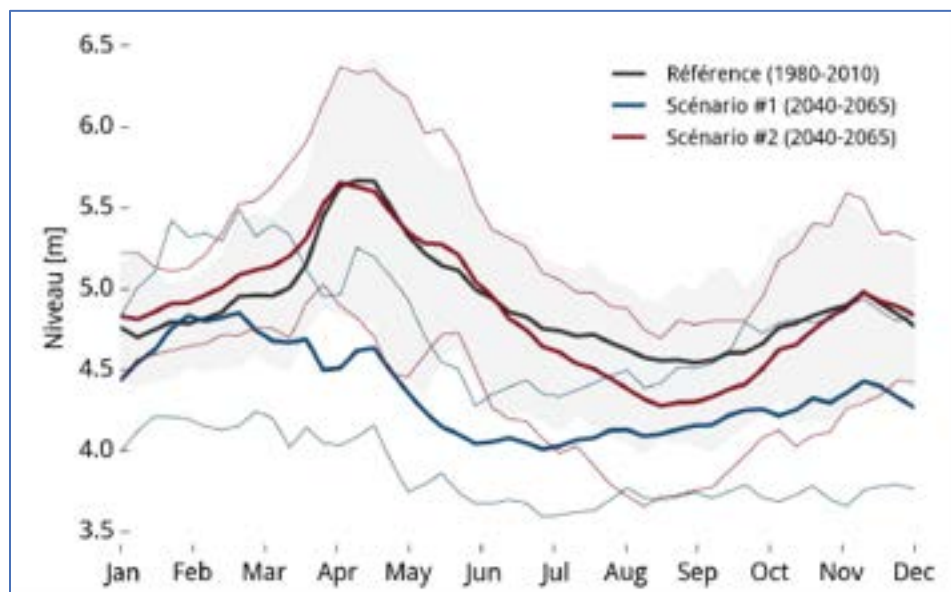


Figure 2-1 Figure 12 à la page 16 de (Ouranos, 2016) – Cycle annuel des scénarios – Les zones ombragées représentent les intervalles de confiance 90 %

Le scénario 1, chaud et sec, montre des débits beaucoup plus faibles que le scénario de référence et une absence presque complète des crues printanières.

Le scénario 2, quant à lui, offre des débits assez comparables aux débits actuels avec des débits un peu supérieurs en hiver et des étiages un peu plus sévères à la fin de l'été. Le tableau qui suit donne les moyennes mensuelles pour le scénario de référence et pour les scénarios 1 et 2 en 2040-2065.

Tableau 2-1 Moyennes mensuelles des débits des scénarios à Sorel (tiré du tableau 7 du document)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Ann.
Réf	9659	9981	10554	12538	11542	10453	9737	9366	9093	9404	10023	10102	10204
Scn° 1	8779	9345	9365	9013	8335	8008	7862	7836	7983	8316	8668	8791	8525
Scn° 2	9968	10439	11138	12535	11678	10546	9365	8703	8391	8888	9819	10204	10139

Ces scénarios prévoient un maintien ou une diminution des apports du Saint-Laurent pour l'horizon 2040-2065. Cette information est utile pour estimer les impacts des changements climatiques au pont à l'étude.

2.1.8 Rapport concernant le rehaussement du niveau des mers

Le document *Sea Level rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities de l'IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (2019)* offre les informations les plus à jour sur les travaux du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) concernant la hausse du niveau des mers.

Le document a été produit par le GIEC dans le cadre du 6e cycle et résume un grand nombre d'études sur les variations attendues du niveau de la mer dans un contexte de changements climatiques. Lors de la rédaction de l'étude hydraulique préliminaire, le document était encore en version de travail. La version utilisée dans le cadre du présent rapport est la version finale.

Le scénario climatique retenu pour évaluer le rehaussement des océans dans le cadre de la présente conception est le RCP 8.5, c'est-à-dire une augmentation continue des gaz à effet de serre sans politiques pour combattre les changements climatiques.

Les prévisions pour le rehaussement des océans sous le scénario RCP 8.5 varient énormément. Pour l'horizon 2100, le rehaussement pourrait varier entre 0,43 m et 2,46 m par rapport à la période de référence 1986-2005 selon les différentes études. Le SROCC synthétise ces études et donne une plage allant de 0,61 m à 1,10 m par rapport à 1986-2005 d'ici 2100. Le taux d'augmentation du niveau de la mer estimé en 2100 serait situé entre 10 et 20 mm/an, avec une moyenne de 15 mm/an.

Le pont de l'Île-d'Orléans est prévu pour une durée de vie de 100 ans. Présument la fin de la construction en 2027, il convient donc d'évaluer le rehaussement du niveau des mers lié aux changements climatiques jusqu'en 2127. Selon la figure 4.2 du SROCC, la plage à prévoir pour le rehaussement en 2127 par rapport à 1986-2005 se situe entre 0,80 m et 1,60 m avec une valeur médiane située à environ 1,20 m. Selon le GIEC, les prévisions ultérieures à 2100 restent cependant incertaines (faible niveau de confiance). Ces valeurs sont plus élevées que les valeurs présentées dans la version de travail et à l'étude hydraulique préliminaire (entre 0,69 m et 1,35 m à l'étude hydraulique préliminaire).

2.1.9 Deuxième rapport d'étape – Étude d'impact sur l'environnement pour le projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Le *Deuxième rapport d'étape – Étude d'impact sur l'environnement pour le projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent (2019)* a été produit par Stantec. La Direction de l'hydraulique en a reçu copie en août 2019. Ce rapport regroupe plusieurs informations présentées précédemment. Cependant, quelques points très pertinents y sont soulevés, surtout en ce qui concerne le transport sédimentaire.

La figure 7 du rapport présente un phénomène à prendre en compte lors de l'évaluation du transport sédimentaire au site à l'étude. Ce phénomène est l'érosion de la slikke vaseuse à marée basse et le transport de sédiments via des chenaux intertidaux. On aperçoit bien sur la figure un panache de sédiments en suspension qui se forme dans le fleuve. Cela laisse présager une importante charge sédimentaire, à la limite des basses mers, liée au phénomène des marées. Selon le rapport, le phénomène se produit sur les deux rives.

La figure 9 montre par ailleurs qu'une certaine sédimentation est possible à l'arrière d'éléments de fondation. On y aperçoit un petit banc de sable. Cette accumulation est visible sur les relevés bathymétriques et possède une épaisseur d'environ 1,0 m lorsqu'elle est comparée aux terrains environnants.



Figure 2-2 Figures 7 et 9 du rapport de Stantec

2.2 Appareils déployés

Des appareils ont été déployés au site à l'étude dans les dernières années. D'autres ont été en fonction dans les environs durant plusieurs années. Pour la réalisation de la présente étude hydraulique, les appareils pertinents sont présentés ci-dessous.

2.2.1 Anémomètres

Un anémomètre opéré par le MTQ a été placé sur un des pylônes du pont actuel pour mesurer les vents. Les données de l'anémomètre de 2007 à 2019, vérifiées et corrigées pour des erreurs d'enregistrement, ont été transmises à notre Direction. Ces données pourront être utilisées dans l'évaluation des vagues au site.

D'autres stations météorologiques avec des données des vents horaires ont aussi été recensées dans le secteur. Le tableau qui suit résume les données disponibles.

Tableau 2-2 Stations météorologiques et anémomètres avec des données disponibles

Station	Opérateur	Élévation (m)	Années	Commentaires
Aéroport	Env. Canada	60 à 74,4	3 périodes	Loin du site, dans les terres
Île d'Orléans	Env. Canada	3,6	1995 à 2018	Loin du site
Beauport	Env. Canada	10	2000 à 2019	À proximité, proche de l'eau, bonne altitude
Pont actuel	MTQ	104,9	2007 à 2019	Au site, station très élevée

2.2.2 Marégraphes

Plusieurs stations marégraphiques enregistrent des données dans l'estuaire du Saint-Laurent ainsi que dans sa portion fluviale. Pour être capable de bien étudier les ondes de marées et leur comportement aux alentours du site à l'étude, il est important d'avoir quelques stations, distribuées spatialement de manière à pouvoir suivre les ondes et à évaluer leur vitesse de déplacement et la variation dans leur amplitude. Les stations d'enregistrement toujours actives aujourd'hui de Neuville (3280), Vieux-Québec (3248), Saint-François-de-l'Île-d'Orléans (3100) et Saint-Joseph-de-la-Rive (3057) ont été retenues. La station Lauzon (3250), qui a été remplacée par la station Vieux-Québec, la station Montmorency (3095), qui possède des données récentes sous le pont actuel, et la station Sainte-Anne-de-Beaupré (3087), qui est située dans le chenal de l'Île d'Orléans, mais qui n'a qu'un été de données récentes, ont aussi été retenues. La station 3095, qui est très intéressante, car elle était placée directement sur le pont actuel, a été en service du 14 mai au 28 octobre 2014. La figure qui suit montre l'emplacement des différents marégraphes considérés dans la présente étude.

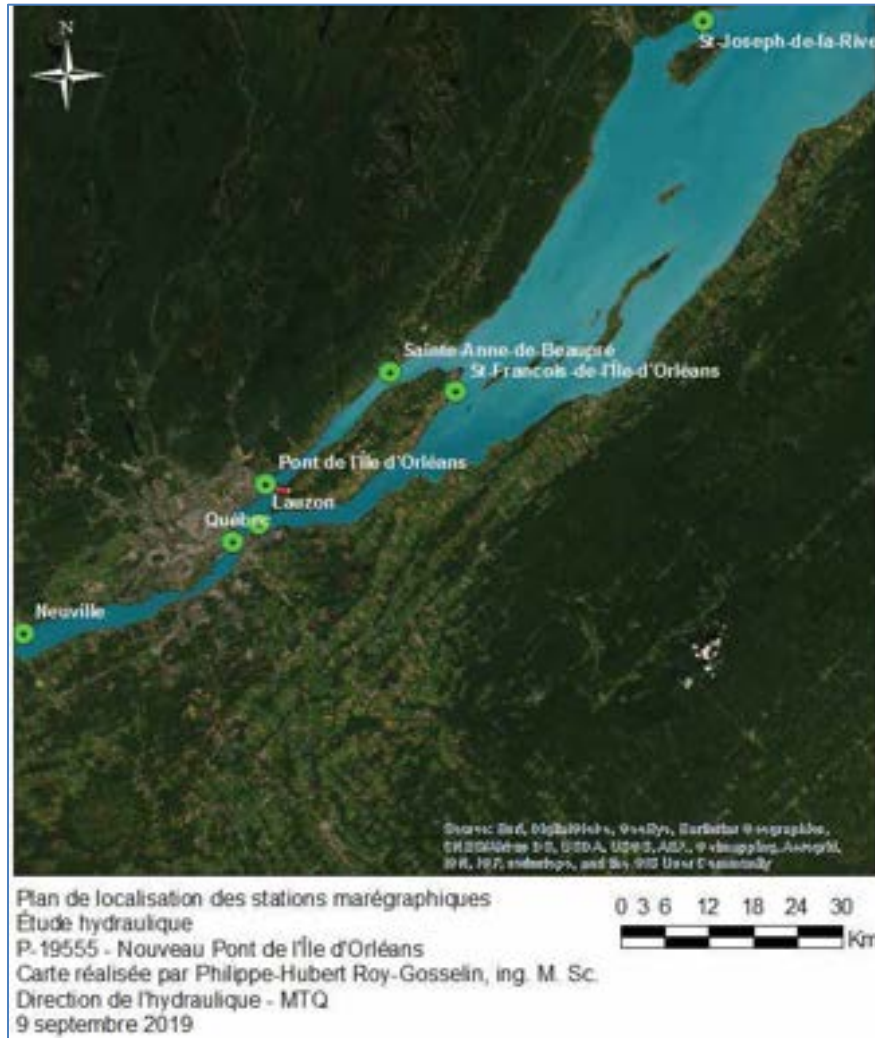


Figure 2-3 Emplacement des marégraphes considérés dans l'étude hydraulique

2.2.3 Caméras d'observations des glaces

Des caméras ont été placées sur le pont actuel en hiver pour observer le comportement du couvert de glace lors des hivers 2018-2019 et 2019-2020. Huit appareils ont été installés en 2018-2019 et douze ont été en place en 2019-2020. Les caméras ont été installées sur la structure, sous le tablier, à chacun des massifs d'ancrage qui disposent d'accès facilités pour l'installation des appareils. Elles ont été installées de manière à bien voir le chenal, autant vers l'amont que vers l'aval, ainsi que les berges. Des caméras ont aussi été orientées sur les semelles de certaines piles du pont actuel pour obtenir des images des interactions des glaces avec la structure. La section 10 de la présente étude présente une synthèse des observations.

2.3 Photographies aériennes

Les photographies aériennes offrent des informations importantes sur l'état actuel des lieux et sur l'évolution du site dans le temps. Ces photographies fournissent des informations précieuses sur le comportement de la côte, entre autres. Les photographies qui ont été utilisées dans le présent projet sont :

- Orthophotographie de la Communauté métropolitaine de Québec (CMQ) de 2018 aux 15 cm;
- La photographie aérienne Q90116-102 de 1990;
- Les photographies aériennes Q77864-126 et 127 de 1977;
- Les photographies à basse altitude de 2006 et de 2009;
- Les photographies obliques du ministère de la Sécurité publique de 2017 prises par l'UQAR.

2.4 Données bathymétriques

Le modèle numérique de terrain utilisé dans la modélisation et la présente étude provient de différentes sources.

Dans le chenal de l'Île d'Orléans et dans le secteur du pont actuel et du pont projeté, le relevé privilégié est un relevé effectué du 24 juillet au 3 novembre 2010 pour le compte de la Direction de la Capitale-Nationale, spécifiquement pour la reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans. Le relevé a été transmis à notre direction sous format Autocad. Les fichiers transmis sont :

- BA081313TN_1.dwg, daté de 2010;
- BA081313TN_2.dwg, daté de 2010;
- BA081313F01-F02-F03.dwg;
- BA081313AL.dwg.

Les données de ce relevé bathymétrique offrent une résolution adéquate pour les besoins du présent projet.

En dehors du chenal, les données utilisées proviennent du modèle d'ECCC et des données bathymétriques utilisées pour le construire. Ces données ont été transmises à notre Direction par ECCC en décembre 2018. Le fichier transmis portait le nom de BathyNeuvilleBSP.txt. Ces données étaient accompagnées de fichiers de forme sur les substrats dans le chenal de l'Île d'Orléans nommés Substrat.shp et Substrat_PIO.shp.

Pour compléter le modèle numérique de terrain (MNT), les données LiDAR des côtes, de l'île d'Orléans et de certaines îles du Saint-Laurent possédées par le MTQ ont été intégrées.

Les données ont été priorisées dans l'ordre suivant pour la construction du MNT :

- Relevé bathymétrique de 2010;
- Données d'ECDC;
- Relevés LiDAR terrestres.

Le modèle numérique de terrain obtenu de ces données couvre bien toute la zone à l'étude et offre une précision suffisante pour effectuer la modélisation numérique des phénomènes hydrauliques dans le secteur. La figure qui suit est un extrait du MNT obtenu.

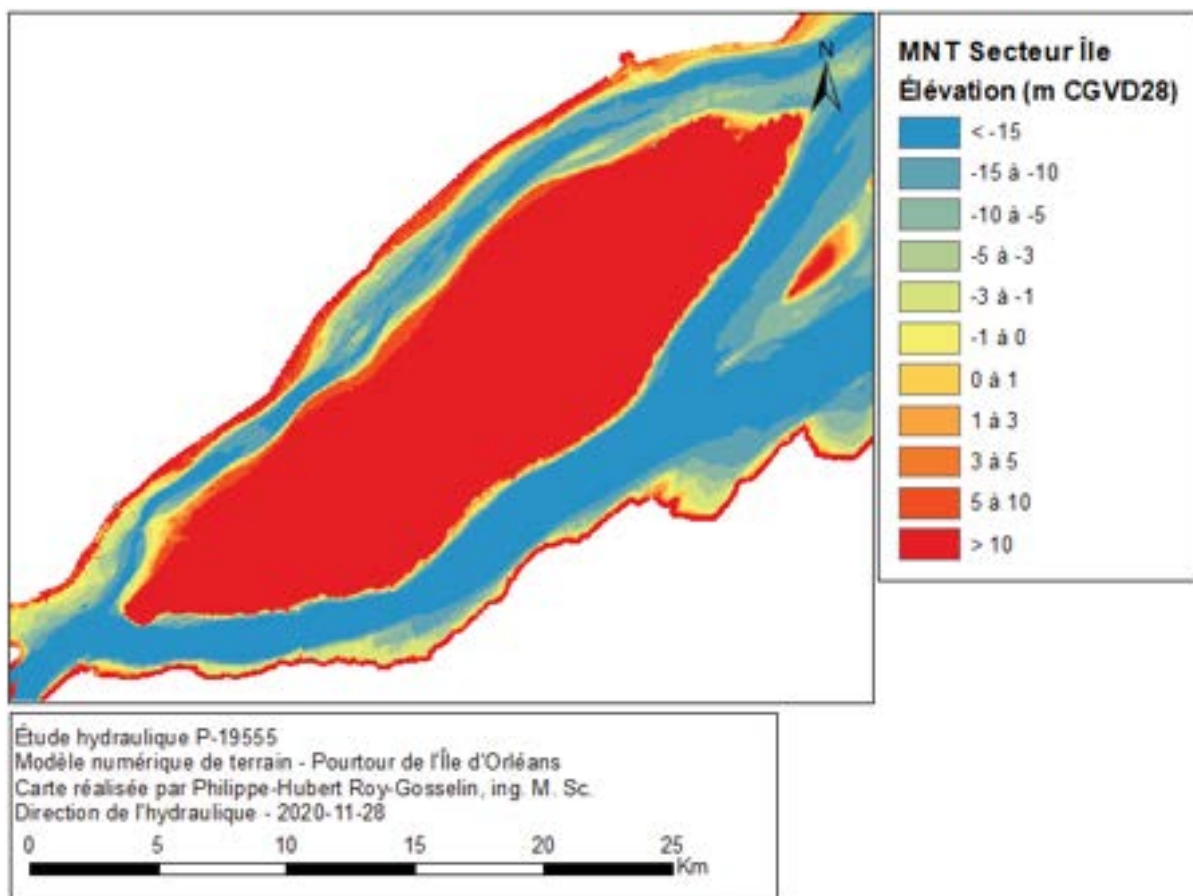


Figure 2-4 Extrait du modèle numérique de terrain généré pour les calculs hydrauliques

2.5 Imagerie satellitaire

Des images provenant de satellites ont également été consultées. Les images L1C du satellite Sentinel-2 ont été obtenues via l'application EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>). Ces images ont été consultées afin de caractériser l'évolution du couvert de glace au site.

2.6 Cartes d'observations des glaces du Service canadien des glaces

Des cartes d'observation des glaces distribuées par la Garde côtière et produites par le Service canadien des glaces (SCG) d'ECCC ont été consultées. L'évolution du couvert de glace a été analysée sur les cartes des hivers 2004-2005 à 2019-2020.

2.7 Mesures d'épaisseur de glace réalisées par le Service canadien des glaces

Au moment de commencer le projet, une base de données sur les mesures des épaisseurs de glace effectuées par le Service canadien des glaces a été transmise à notre Direction. Cette base de données inclut la baie de Beauport, à proximité du site à l'étude. Les données couvertes vont de 1982 à 2016. L'épaisseur de glace et de neige a été mesurée à plusieurs moments durant l'hiver, ce qui en fait une source d'information très intéressante pour cette étude. Quelques photographies du chenal prises par le SCG ont aussi été transmises à notre Direction.

2.8 Enquêtes sur le terrain

2.8.1 Enquête de mars 2019

Une enquête sur le terrain a été réalisée le 21 mars 2019 par Josée Emond, Christian Poirier et Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ingénieurs de notre Direction. L'enquête a été menée dans le but d'effectuer des observations sur le couvert de glace, les interactions de celui-ci avec les piles et pour observer le comportement des glaces en rives. De nombreuses photographies ont été prises. La visite a été effectuée à marée basse. Les glaces ont été observées dans quatre secteurs, soit :

- Aux abords de la baie de Beauport;
- Aux abords du boulevard Sainte-Anne à Boischatel;
- Le long des travées d'approche et sous le pont dans la portion sud;
- À la pointe de Sainte-Pétronille.

La section 10.2 détaille les observations.

2.8.2 Enquête complémentaire de novembre 2020

Une enquête sur le terrain complémentaire a été effectuée le 16 novembre 2020 par Philippe-Hubert Roy-Gosselin et Marylin Swiderski, ingénieurs de notre Direction. L'enquête a été menée dans le but d'étudier le transport sédimentaire à différents endroits sur les berges près du pont à l'étude. Des observations ont aussi été réalisées sur les protections en empierrement à proximité et sur la capacité des glaces à transporter des pierres.

À la suite de cette enquête, il est possible de constater les faits suivants :

- Les accumulations de sédiments sur les berges se trouvent principalement à proximité des exutoires de différents affluents du Saint-Laurent. Il y a peu d'accumulation à mesure que l'on s'éloigne des affluents. Le roc est affleurant à quelques endroits;
- Il y a de vastes herbiers qui se développent dans la zone intertidale. Ils ne semblent pas être affectés par des problèmes de sédimentation;
- Des empiètements en berges présentent quelques dommages qui semblent être liés aux efforts engendrés par les glaces. À cet effet, quelques gros blocs ont été observés et ceux-ci ont fort probablement été déplacés par des glaces;
- Plusieurs gros blocs étaient aussi observables le long du chenal principal. Ces blocs sont principalement transportés par les glaces.



Figure 2-5 Herbiers dans la zone intertidale



Figure 2-6 Pierre ayant un diamètre d'environ 1,2 m visiblement transportée par les glaces



Figure 2-7 Roc affleurant, rive nord, en aval du pont à l'étude



Figure 2-8 Légère accumulation de sédiments, rive nord, en aval du pont à l'étude



Figure 2-9 Pierres bordant le chenal principal de part et d'autre à marée basse (Cordons)

3 RÉGIME HYDRAULIQUE

3.1 Prédominance des marées

L'écoulement dans le chenal du fleuve Saint-Laurent passant au nord de l'île d'Orléans (ci-après nommé chenal de l'île d'Orléans) est principalement contrôlé par le phénomène des marées. Ce comportement a été relaté dans plusieurs études passées et est observable sur le terrain avec les inversions de courant. Le marnage y est de plusieurs mètres deux fois par jour. Quelques affluents se jettent dans le Saint-Laurent à cet endroit et contribuent de manière limitée aux débits transitant par le chenal.

Pour déterminer les conditions de conception hydrauliques pour le nouveau pont, il convient donc d'étudier en premier lieu le régime des marées dans le Saint-Laurent.

3.2 Analyse des stations marégraphiques

L'analyse des stations est faite de manière à étudier la forme des ondes de marées, les paramètres de la marée astronomique, les événements historiques et les niveaux extrêmes atteints pour certaines périodes de retour. Le calcul des niveaux pour différentes périodes de retour a été effectué avec le logiciel *HyfranPlus*¹ version 1.2. Malgré ce qui est présenté dans cette section, il convient de rappeler que les mesures et les analyses statistiques présentent un certain niveau d'incertitudes. Les appareils sont conçus et positionnés pour limiter l'influence de la houle. Une correction doit aussi être apportée pour prendre en compte la pression atmosphérique lors de l'événement.

3.3 Sommaire des analyses

Les tables des marées 2020 ont été consultées pour établir les niveaux atteints par les marées astronomiques. Les tableaux qui suivent résument ces analyses. Le détail des analyses est présenté à l'Annexe A.

Tableau 3-1 Valeurs inscrites aux tables des marées 2020 (en mètres, au Zéro des Cartes)

Station	Saint-Joseph-de-la-Rive	Saint-Fr.-de-l'Île-d'Orléans	Québec (Lauzon)	Neuville	Sainte-Anne-de-Beaupré	Montmorency
Pleine mer sup. de grande marée ¹	6,60	6,80	6,10	5,40	6,60	5,80
Pleine mer sup. de marée moyenne ²	5,80	5,50	4,80	4,30	5,60	4,80
Niveau moyen de l'eau	3,40	2,90	2,60	2,50	2,90	2,50
Basse mer inf. de marée moyenne ³	1,00	0,60	0,40	0,60	0,60	0,30
Basse mer inf. de grande marée ⁴	-0,20	0,10	-0,10	0,00	-0,10	-0,20

Abréviations pour le rapport : ¹PMSGM, ²PMSMM, ³BMIMM, ⁴BMIGM

¹ Chaire en hydrologie statistique CRNSG/Hydro-Québec/Alcan, INRS-ÉTÉ.

Tableau 3-2 Valeurs inscrites aux tables des marées 2020 (en mètres, au CGVD28)

Station	Saint-Joseph-de-la-Rive	Saint-Fr.-de-l'Île-d'Orléans	Québec (Lauzon)	Neuville	Sainte-Anne-de-Beaupré	Montmorency
Pleine mer sup. de grande marée	3,23	4,28	4,14	4,03	4,21	4,02
Pleine mer sup. de marée moyenne	2,43	2,98	2,84	2,93	3,21	3,02
Niveau moyen de l'eau	0,02	0,38	0,64	1,13	0,51	0,72
Basse mer inf. de marée moyenne	-2,38	-1,92	-1,56	-0,77	-1,79	-1,48
Basse mer inf. de grande marée	-3,58	-2,42	-2,06	-1,37	-2,49	-1,98

Les valeurs de la station Montmorency ont été mises à jour à partir des données d'un marégraphe submersible installé directement sous le pont actuel en 2014 et possédant 167 jours d'observations. Les valeurs inscrites aux tables des marées pour évaluer les harmoniques liées au soleil et à la lune à cette station proviennent donc de données récentes et sont fiables.

D'autres phénomènes peuvent influencer les niveaux d'eau au-delà de ce qui est prévu pour les marées astronomiques. Ces facteurs sont entre autres les ondes de tempête, le débit provenant de l'amont et la glace. La station Montmorency, avec ses 167 jours d'observations en 2014, ne possède pas assez de données pour établir des niveaux à différentes périodes de retour pour ces phénomènes. Les stations voisines de Québec et de Lauzon, avec leurs enregistrements tenus depuis 1894, possèdent largement les données nécessaires pour effectuer une évaluation des niveaux selon différentes périodes de retour. Une comparaison entre les enregistrements à la station Montmorency et les stations de Québec et de Lauzon montrent une faible différence de $\pm 7-10$ cm et un décalage de quelques minutes seulement dans les pics des ondes de marée. Les valeurs enregistrées aux stations de Québec et de Lauzon ont donc été utilisées pour établir des périodes de retour. Les valeurs retenues sont celles de 1979 à 2020. Il est important de noter que des événements ayant des périodes de retour de 5 ans et 10 ans respectivement ont eu lieu en 2019 et en 2020, ce qui a fait légèrement augmenter les valeurs calculées par rapport au rapport préliminaire émis précédemment pour lequel les données utilisées arrêtaient en 2018.

Tableau 3-3 Niveaux pour différentes périodes de retour à la station de Québec (et Lauzon)

Période de retour (années)	Élévation (m CDVG28)
2	4,44
5	4,67
10	4,79
20	4,90
25	4,93
50	5,02
100	5,11

Le niveau pour la période de retour de 100 ans retenu au droit du pont à construire est de 5,11 m. Le niveau pour la période de retour de 2 ans est de 4,44 m.

Ailleurs dans le secteur à l'étude, les niveaux pour différentes périodes de retour sont donnés dans le tableau qui suit. Le détail des analyses est présenté à l'annexe A.

Tableau 3-4 Niveaux pour différentes périodes de retour dans le secteur à l'étude (m CGVD28)

Période de retour (années)	Saint-Joseph-de-la-Rive	Saint-François-de-l'Île-d'Orléans	Neuville
2	3,62	4,47	4,53
5	3,77	4,68	4,75
10	3,87	4,81	4,87
20	3,97	4,92	4,98
25	4,00	4,96	5,01
50	4,09	5,06	5,10
100	4,19	5,16	5,18

3.4 Événements historiques

Les événements ayant provoqué les plus hauts niveaux d'eau à la station de Québec (Lauzon) ont été évalués pour déterminer quelles conditions prévalaient dans le secteur à l'étude. Trois événements parmi les plus importants sont présentés au tableau qui suit.

Tableau 3-5 Niveaux enregistrés lors d'événements majeurs à Québec (Lauzon) (m CGVD28)

Date	Québec	Saint-Joseph-de-la-Rive	Saint-François-de-l'Île-d'Orléans	Neuville
15 mars 2017	5,03	3,90	5,17	5,04
14 mars 1993	5,00	4,12	4,15	4,84
6 décembre 2010	4,81	4,20	4,94	4,67

L'événement du 15 mars 2017 est celui ayant provoqué le niveau d'eau le plus élevé enregistré à la station de Québec entre 1979 et 2018. Le niveau d'eau à Québec a une période de retour d'environ 50-100 ans. À Neuville, le niveau a aussi une période de retour de 50 ans alors qu'à Saint-Joseph-de-la-Rive, c'est un niveau de période de retour de 10 ans. La figure qui suit montre le niveau sur le secteur à l'étude pour cet événement.

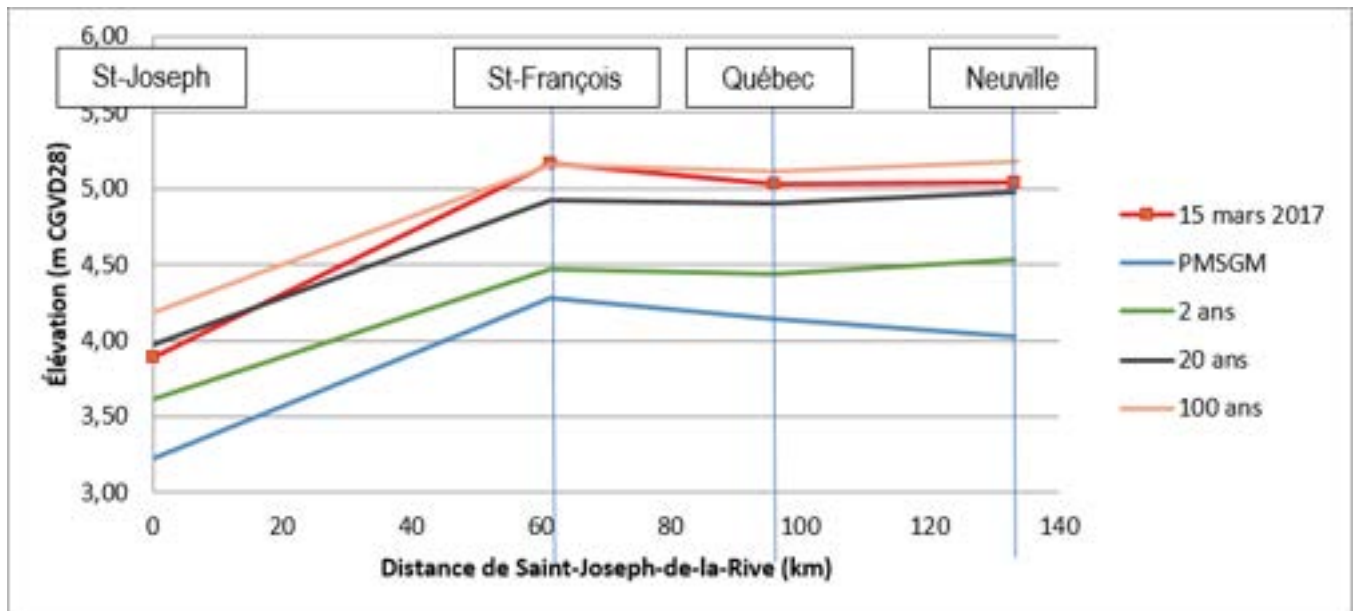


Figure 3-1 Niveaux enregistrés sur le secteur à l'étude pour l'événement du 15 mars 2017

L'événement du 14 mars 1993 arrive au second rang. Le niveau est de récurrence 50 ans, avec un niveau à Neuville à 10 ans et un niveau à Saint-Joseph-de-la-Rive à environ 50 ans.

L'événement du 6 décembre 2010 est aussi un événement majeur qui a frappé tout l'est du Québec. La marée est de récurrence 100 ans à Saint-Joseph-de-la-Rive. Il est de 10-25 ans à Québec et de ± 5 ans à Neuville.

Les données disponibles mettent en lumière le fait que les niveaux à Québec ne sont pas directement proportionnels aux niveaux à l'amont ou à l'aval et qu'une combinaison de facteurs entre en ligne de compte pour provoquer les événements extrêmes à Québec.

3.5 Cotes de crues du MELCC

Au moment d'écrire ce rapport, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) met actuellement à jour les cotes de crue sur le Saint-Laurent. Les cotes du MELCC et celles présentées dans ce rapport pourraient différer légèrement selon les années d'enregistrement utilisées, l'arrondissement des valeurs et les lois statistiques employées.

3.6 Affluents

Des affluents rejettent leurs eaux dans le chenal de l'Île d'Orléans. Les plus importants sont la rivière Montmorency et la rivière Sainte-Anne, chacune possédant des bassins versants de près de 1 100 km². Incluant ces deux rivières, le bassin versant de la rive nord du Saint-Laurent et de l'île d'Orléans qui se rejette dans le chenal totalise environ 2 528 km², dont ± 58 km² proviennent de l'île d'Orléans.

Le bassin versant de la rivière Sainte-Anne étant voisin et ayant une forme similaire, il est raisonnable de penser que celle-ci pourra elle aussi fournir un débit équivalent à celui de la rivière Montmorency lors des crues. Les deux rivières ont par ailleurs plusieurs barrages à forte contenance sur leur bassin versant.

Une analyse statistique a été menée sur les débits de pointe maximums enregistrés chaque année de 1997 à 2020 à la station 051001 du MELCC. Cette station est située à proximité de l'exutoire de la rivière. Pour compléter la série de données, les débits de pointe de 1965 à 1996 ont été estimés à l'aide des facteurs de pointe saisonniers déterminés par le MELCC² pour la rivière Montmorency. Par précaution, les deux séries de données obtenues (enregistrés et estimés) ont été comparées pour valider qu'elles étaient semblables au point de vue statistique.

Les débits de pointe ainsi enregistrés ou estimés de 1965 à 2020 ont été utilisés pour estimer les débits de différentes périodes de retour à la station Montmorency. Les valeurs de 2019 et de 2020, dont le débit record enregistré à la station, n'avaient pas été incluses dans l'étude préliminaire, ce qui va modifier les valeurs présentées dans ce rapport. Le débit le plus important mesuré sur la rivière Montmorency est de 778 m³/s. Ce débit a été mesuré le 25 décembre 2020. Les débits de pointe (Q_p) pour les rivières Montmorency et Sainte-Anne sont présentés au tableau qui suit. Ces valeurs sont données pour les exutoires à l'aide de la méthode de transfert de bassin versant.

Tableau 3-6 Débits de pointe pour différentes périodes de retour sur les rivières Montmorency et Sainte-Anne (à l'exutoire)

Période de retour (années)	Q _p Montmorency (m ³ /s)	Q _p Sainte-Anne (m ³ /s)
2	456	429
5	568	534
10	642	603
25	734	689
50	802	753
100	870	817

La figure qui suit montre les différents bassins versants qui se jettent dans le chenal de l'Île d'Orléans.

² Calcul des facteurs de pointe à différentes stations hydrométriques sur le territoire québécois, MELCC, 2020

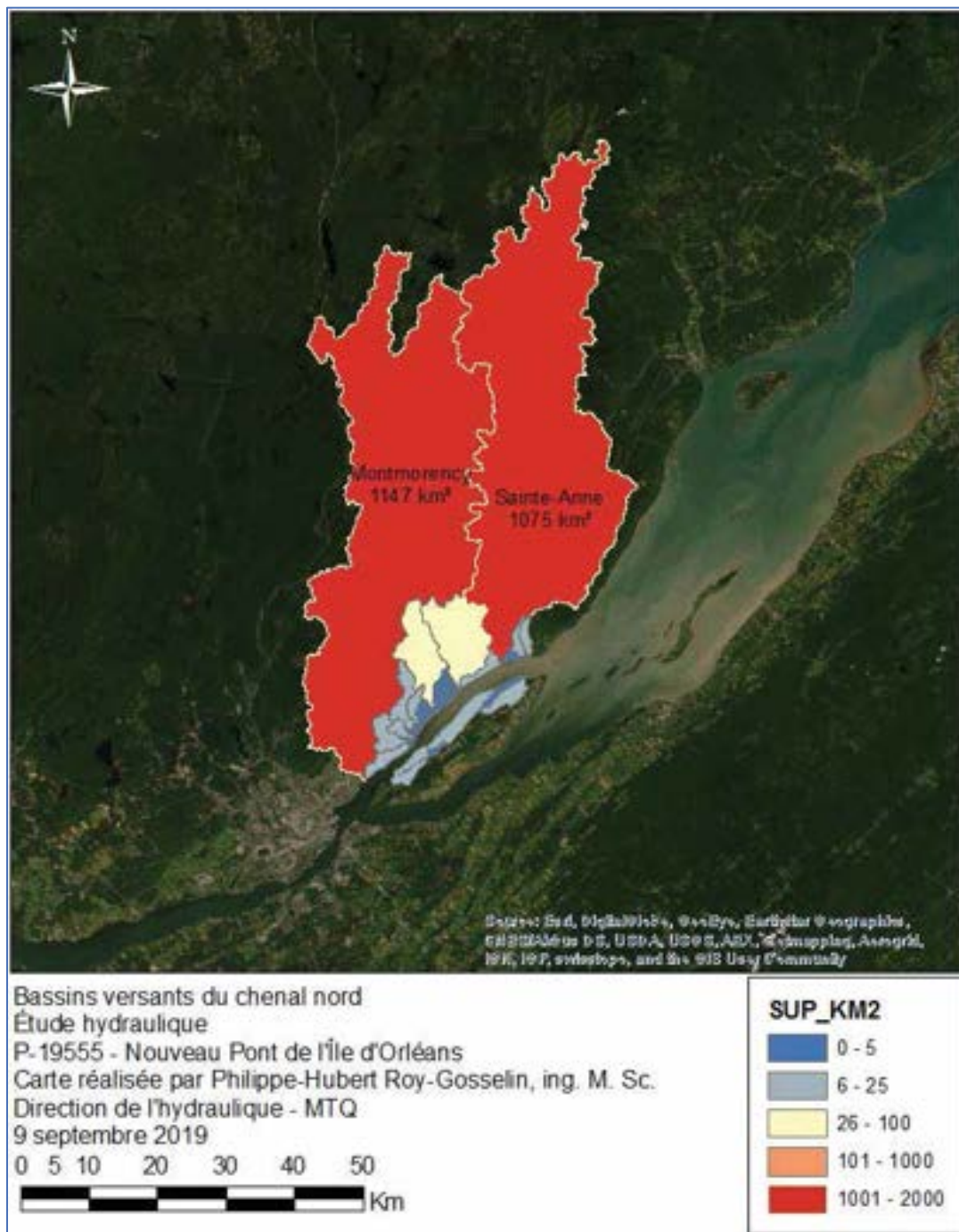


Figure 3-2 Bassins versants du chenal de l'Île d'Orléans

L'évaluation des débits a aussi permis d'identifier le mois d'avril et le mois de mai comme étant les mois avec la plus forte hydraulité sur ces bassins versants.

4 CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET REBOND ISOSTATIQUE

Le site à l'étude ainsi que les conditions hydrauliques et maritimes seront appelés à changer dans la durée de vie du pont. Les sources de changements sont nombreuses.

4.1 Rehaussement du niveau des mers

Il est pertinent de rappeler que selon le GIEC et sa documentation la plus à jour, la plage à prévoir pour le rehaussement en 2127 par rapport à 1986-2005 se situe entre 0,80 m et 1,60 m avec une valeur médiane située à environ 1,20 m. Selon le GIEC, les prévisions ultérieures à 2100 restent cependant incertaines (faible niveau de confiance). Ce rehaussement est lié au scénario climatique RCP 8.5. Les incertitudes importantes sont liées à la fonte des glaces du Groenland et de l'Antarctique qui pourrait contribuer de manière majeure au rehaussement du niveau des océans.

Notre Direction recommande d'utiliser la valeur médiane, c'est-à-dire 1,20 m, pour estimer le rehaussement du niveau des mers d'ici 2127. Cette valeur est considérée comme étant sécuritaire, puisqu'elle utilise un scénario pessimiste (RCP 8.5) et elle ne serait atteinte que dans les toutes dernières années de la vie utile du pont.

4.2 Rebond isostatique postglaciaire

Le rebond isostatique postglaciaire est le phénomène par lequel la croûte terrestre se replace à la suite des pressions exercées lors de la dernière ère glaciaire. Les secteurs de la croûte terrestre qui étaient sous les épaisses couches de glace s'étaient enfoncés dans le manteau terrestre sous le poids de cette glace. Une fois le poids des glaces retiré, ces secteurs ont commencé à se relever de cet enfoncement. Ce relèvement a encore lieu aujourd'hui. Différents modèles et mesures existent à ce sujet. Une valeur de 2,2 mm/an était suggérée dans le rapport de CIMA+ en 2010. Le modèle NAD83(SCRS)v70VG prévoit, quant à lui, une augmentation de 2,36 mm/an au site à l'étude et 2,16 mm/an à la station de l'Atrium à Québec, ce qui est très près de la valeur émise par CIMA+. Le modèle NAD83(SCRS)v70VG et son déplacement vertical sont cependant liés à un référentiel qui est mobile verticalement dans le temps et les valeurs sont ajustées pour prendre en compte ce déplacement vertical. Pour prévoir le dégagement nécessaire en fonction du rehaussement du niveau des mers, il faut utiliser un référentiel fixe comme pour le niveau des mers.

En plus des valeurs suggérées par les modèles, des mesures ont été effectuées au GPS durant 12 ans à Québec³. Ces mesures sont liées à la position du centre de la Terre et non à un référentiel mobile verticalement dans le temps. Ces mesures montrent un rehaussement qui serait davantage de l'ordre de 2,9 mm/an une fois les valeurs corrigées pour différents phénomènes. Dans le cadre de la présente étude, ces mesures indépendantes du référentiel ont été priorisées. C'est donc la valeur de 2,9 mm/an qui a été retenue pour la conception du futur pont. **Un rehaussement de 290 mm est à prévoir sur la durée de vie de l'ouvrage.**

³ James, T.S., Henton, J.A., Leonard, L.J., Darlington, A., Forbes, D.L., and Craymer, M., 2014. Relative Sea-level Projections in Canada and the Adjacent Mainland United States; Geological Survey of Canada, Open File 7737, 72 p. doi: 10.4095/295574

4.3 Variation des températures

Les changements climatiques auront pour effet d'augmenter les températures à Québec. Cette augmentation se traduira par une diminution des degrés-jour de gel cumulés (DJGC) et par un raccourcissement de la saison d'englacement. Selon la documentation consultée, il faut s'attendre à une diminution de 605 DJGC. En effet, à l'état actuel, les DJGC sont de 1120 pour la station météorologique de Lauzon (7024254). Selon les portraits climatiques diffusés par Ouranos et consultés en mai 2020 (<https://www.ouranos.ca/portraits-climatiques/#/>), les DGJC en 2100 pourraient être de 515. À terme, c'est cette valeur qui a été retenue pour évaluer le comportement des glaces à la fin de la vie utile du pont en présence du rehaussement des mers. La valeur actuelle des DJGC a été considérée pour le comportement des glaces à l'état actuel, sans rehaussement du niveau des mers.

4.4 Débits dans le Saint-Laurent

Comme présenté dans la section 2, les prévisions d'Ouranos pour les débits futurs du Saint-Laurent ont été consultées. Deux scénarios étaient soulevés.

Une diminution des débits dans le Saint-Laurent (Scénario 1) aurait peu d'effets strictement hydrauliques au site à l'étude qui est majoritairement contrôlé par le phénomène des marées. Celles-ci deviendraient un peu plus prédominantes, mais l'impact sur le niveau des eaux serait moindre. Là où les impacts pourraient être plus importants, ce serait sur la migration du front salin. Il est fortement recommandé de maintenir une veille sur l'étude d'Ouranos en cours à ce sujet. Ce scénario n'est donc pas à exclure, entre autres pour le choix des matériaux du nouveau pont.

Pour les critères de conception hydrauliques du pont, incluant les vitesses d'écoulement et les niveaux d'eau, le scénario climatique qui est le plus critique est celui d'un maintien des débits (scénario 2 d'Ouranos). C'est ce scénario qui a été retenu dans la présente étude pour l'évaluation des impacts strictement hydrauliques.

5 CRITÈRES DE CONCEPTION POUR LA RÉALISATION DE L'ÉTUDE

Le pont à l'étude est une structure majeure située dans un milieu hydrique complexe. Le choix des critères de conception hydrauliques demande de bien analyser le site et de poser un jugement sur les normes à utiliser.

5.1 Période de retour de conception

Selon le tableau 2.1-2 du Tome III – Ouvrages d'art du Ministère, pour un pont sur une route nationale, la période de retour pour la crue normale de conception doit être de 50 ans. Cependant, comme prévu à la norme (Tome III – Ouvrages d'art, chapitre 2, article 2.1.3.1.B.b), lorsque la route constitue un lien unique ou lorsque l'ouvrage est important, comme c'est le cas ici, une période de retour plus longue peut être prévue. La DGPRMQ a confirmé en réunion que la récurrence de conception à utiliser pour le pont P-19555 doit être la récurrence de 100 ans. Ce sont donc des événements de récurrence 100 ans qui seront considérés pour évaluer les vitesses, les vagues, les glaces et l'affouillement à la structure proposée.

5.2 Norme du ministère concernant la position du soffite de l'ouvrage

La hauteur libre sous un pont est la distance verticale mesurée entre le niveau des eaux hautes et le soffite. Le niveau des eaux hautes est lié au caractère de navigabilité du cours d'eau, à la présence ou à l'absence de marées, avec ou sans embâcles de glace ou de débris.

Le pont doit avoir une durée de vie utile de 100 ans. Considérant la fin des travaux prévue en 2027, le pont devrait donc être présent au moins jusqu'en 2127. Il est donc requis de prévoir le rehaussement net (les changements climatiques moins le rebond isostatique) du niveau de la mer à Québec dans la hauteur libre à conserver. Ce rehaussement net prévu est de 0,91 m.

5.2.1 Chenal navigable

La norme du ministère (*Tome III – Ouvrages d'art*, chapitre 2 – article 2.1.4.2.C.a) prévoit qu'en présence de marées, la hauteur libre correspond à la hauteur du gabarit de navigation au-dessus du niveau de la pleine mer supérieure de grande marée. À la station Montmorency, la pleine mer supérieure de grande marée est à l'élévation 4,02 m au CGVD28 (voir section 3 du présent rapport).

5.2.2 Hors du chenal de navigation

La norme (*Tome III – Ouvrages d'art*, chapitre 2 – article 2.1.4.2.C.a) prévoit une hauteur libre de 300 mm au-dessus du niveau extrême enregistré, majoré de l'amplitude de la houle caractéristique. Il est aussi possible de considérer une hauteur libre de 1 000 mm au-dessus des eaux hautes de conception.

La houle caractéristique est évaluée à 0,8 m pour la récurrence 100 ans.

L'extrême de pleine mer enregistré le 15 mars 2017 est de 5,03 m.

Le tableau qui suit résume les différents paramètres et la valeur recommandée pour l'élévation du soffite à retenir pour conserver une hauteur libre qui respecte la norme.

Tableau 5-1 Niveau minimum recommandé pour positionner le soffite en dehors du chenal de navigation

Paramètre	Valeur (m)
Extrême de pleine mer	5,03
Houle caractéristique	0,80
Changements climatiques	1,20
Rebond isostatique	-0,29
Dégagement	0,30
Élévation (CGVD28)	7,04

5.3 Scénario de conception pour les vitesses d'écoulement

5.3.1 L'événement de conception ciblé

L'événement de conception analysé pour déterminer la vitesse de conception au pont de l'Île-d'Orléans est un événement dont le pic de niveau d'eau à la pleine mer correspond au niveau de récurrence 100 ans et où le creux correspond à une basse mer inférieure de grande marée.

Le niveau de conception établi est à l'élévation 5,11 m dans le référentiel CGVD28. Le niveau de la basse mer inférieure de grande marée est situé à l'élévation -1,98 m, toujours dans le même référentiel.

Dans la section 3, il a été établi que le niveau de 5,11 m avait été calculé pour la station de Québec et qu'une petite différence de $\pm 7-10$ cm avait été décelée entre les enregistrements à Québec et ceux à la station Montmorency située sur le pont actuel.

Pour simuler un événement de conception, les conditions aux limites ont été ajustées dans le modèle à Saint-Joseph-de-la-Rive et à Neuville pour obtenir l'onde de marée souhaitée. Les pics de l'onde souhaitée au pont actuel pour évaluer les vitesses de conception doivent être situés dans une plage de ± 10 cm par rapport aux valeurs de 5,11 m et -1,98 m énoncées précédemment.

5.3.2 Événement de conception modélisé

Obtenir une onde de conception au site à l'étude est un processus complexe puisque l'onde dépend des conditions de marées et d'ondes de tempêtes en aval ainsi que du retour de marée de l'amont. L'événement de conception a été obtenu en modifiant les ondes qui prévalaient lors de la marée extrême de mars 2017. En modifiant les conditions aux limites, il a été possible d'obtenir des ondes successives dont les pics et les creux avaient les valeurs suivantes au site à l'étude.

Tableau 5-2 Propriétés des ondes obtenues au pont actuel

Extrema	Élévation (m CGVD28)	Type
1	5,14	Pic
2	-1,98	Creux
3	5,06	Pic
4	-1,94	Creux
5	5,08	Pic

Les valeurs du tableau suivant sont très bien situées dans la marge de ± 10 cm visée au site à l'étude.

Une validation a aussi été effectuée pour s'assurer que l'onde de l'événement de conception avait le même comportement dans le temps que l'onde de mars 2017 et que la montée et la descente soient d'une durée comparable à celles de l'événement de 2017. La figure qui suit présente la comparaison entre l'onde de conception et l'onde mesurée par la station à la station de Québec.

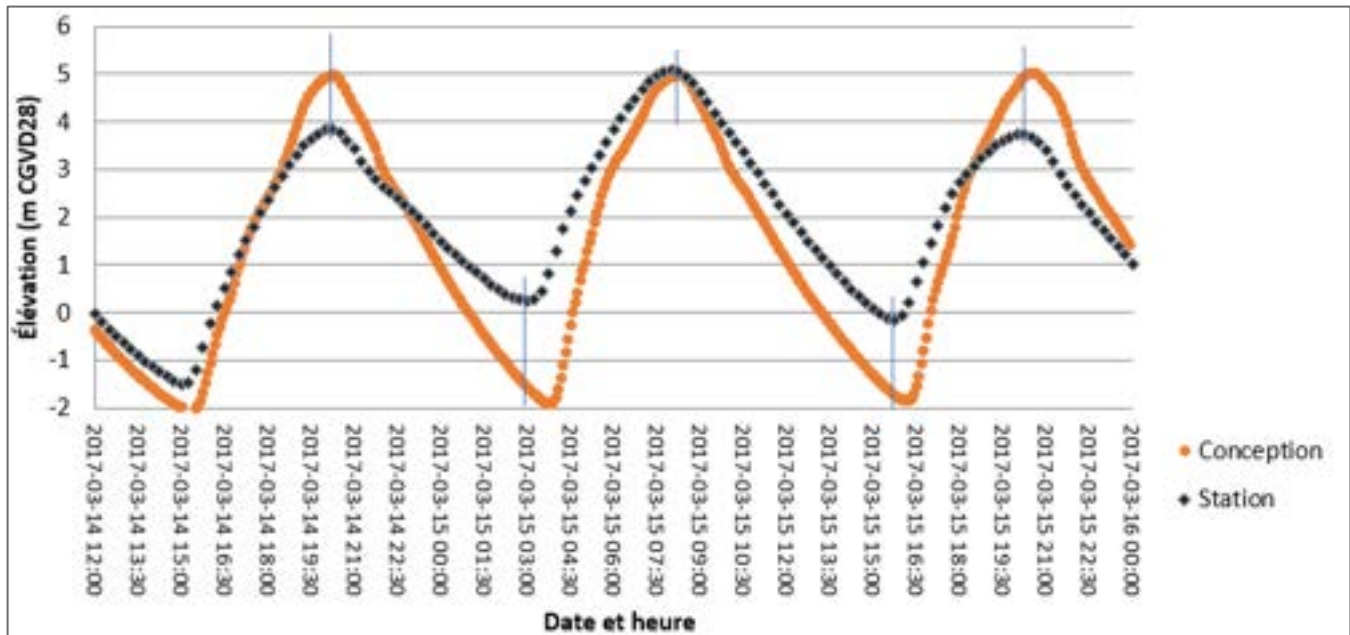


Figure 5-1 Comparaison de la position des pics et des creux entre l'onde de conception modélisée et l'onde observée en mars 2017

Les pics sont assez bien alignés. Les creux présentent un léger décalage avec une étale de basse mer légèrement plus longue. Somme toute, les durées de montée et de descente sont tout de même très comparables et les ondes sont considérées comme adéquates pour représenter les conditions de conception.

6 MODÈLE HYDRODYNAMIQUE

L'écoulement de l'eau a été modélisé pour les différents ouvrages étudiés. Les détails sur le modèle utilisé et sa précision sont donnés dans cette section du rapport.

6.1 Logiciel utilisé

6.1.1 Logiciel et équations

Le logiciel utilisé est HEC-RAS version 5.0.7. Le logiciel est développé par le *Hydraulic Engineering Center* du *US Army Corps of Engineers*. Le logiciel fait partie des logiciels acceptés pour les calculs hydrauliques dans la procédure ISO de réalisation des études hydrauliques à la Direction générale des structures.

Les équations utilisées dans le modèle sont les équations de Saint-Venant pleinement développées (*Full Momentum*). Ces équations sont requises en présence de conditions dictées par la marée ainsi que pour obtenir une distribution plus détaillée des vitesses d'écoulement et des niveaux d'eau près de structures. Le modèle est opéré en 2D, intégré sur la verticale.

Bien que plus représentatif des écoulements autour des piles, l'option d'un modèle en 3D a été écartée étant donné l'important domaine de modélisation et les durées à simuler qui auraient demandé une puissance de calcul et des efforts de modélisation démesurés pour les besoins de ce projet.

6.1.2 Traitement des éléments du pont

Le modèle HEC-RAS ne permettant pas d'avoir des trous dans le maillage aux éléments du pont, ceux-ci ont été traités comme étant des éléments du terrain avec un maillage raffiné permettant de bien capter la géométrie de ces éléments de fondation. Cette façon de faire est en accord avec les recommandations de la *Federal Highway Administration* (FHWA) pour la modélisation bidimensionnelle des écoulements. La modélisation en 2D donne une bonne idée des variations des champs de vitesse provoquées par les éléments de fondation sur l'écoulement, mais elle ne reproduit pas tous les courants secondaires. Dans le cas présent, l'information est toutefois largement suffisante pour les besoins du projet.

6.1.3 Écoulements en charge et autres ouvrages d'art

Aucun écoulement en charge sous des tabliers n'est prévu dans la modélisation, et donc, le modèle retenu n'a pas de capacités à cet effet. Le modèle permet cependant l'intégration de ponceaux au besoin.

6.2 Conception du modèle

Le modèle devait initialement être conçu de manière imbriquée (un modèle plus raffiné au site utilisant les résultats d'un modèle plus grossier plus loin du site). Cependant, après des tests, il est apparu que le gain d'utiliser un modèle imbriqué n'était pas significatif au site à l'étude. Le choix a donc été fait d'utiliser un modèle global pour tout le secteur à l'étude.

6.2.1 Zone couverte par le modèle

Le modèle est situé entre la station marégraphique de Neuville en amont et la station marégraphique de Saint-Joseph-de-la-Rive en aval. Ce domaine s'étend dans les mêmes zones que le modèle aval du Saint-Laurent d'ÉCCC. Il permet aussi d'éloigner au maximum les conditions aux limites du site à l'étude pour permettre une bonne distribution des débits dans les chenaux à proximité du site à l'étude et pour éviter les erreurs liées à la trop grande proximité des conditions aux limites. La figure qui suit présente la zone couverte par le modèle.

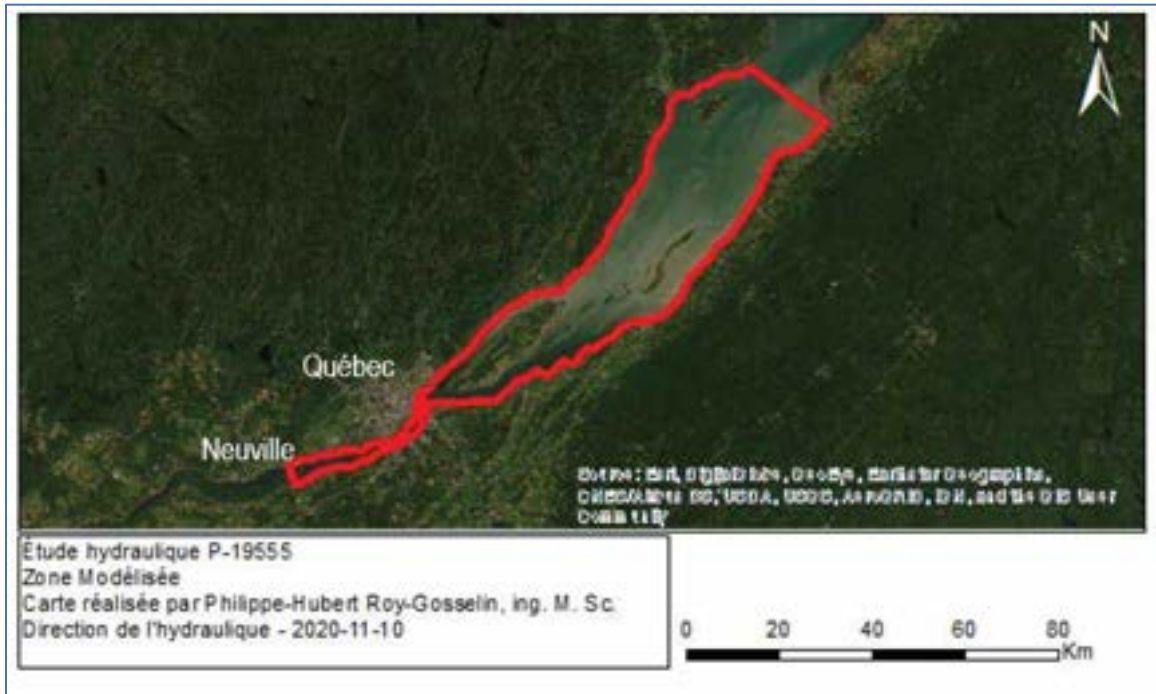


Figure 6-1 Zone couverte par le modèle

6.2.2 Maillage final retenu

Le maillage final retenu est le même pour tous les scénarios à l'étude. Le but est d'éviter d'avoir une différence dans l'écoulement calculé qui serait causée par un maillage différent d'un scénario à un autre. Le maillage retenu possède 127 493 cellules. Une analyse de sensibilité a été effectuée sur le maillage. Sa précision a été comparée à celle d'un maillage précédent de 85 092 cellules réalisé pour le scénario du pont actuel uniquement. La précision est très similaire dans les deux cas. Il n'y a plus de gains significatifs à raffiner davantage. La propagation des ondes de marées a aussi été testée avec un maillage de moins de 10 000 éléments (aucun raffinement aux structures) et elle est similaire dans tous les cas.

Le maillage retenu possède des cellules de 1 m près des éléments structuraux (piles, culées, ouvrages temporaires, etc.). Cette dimension est assez fine pour bien capter les éléments structuraux. Les éléments de calcul sont par la suite progressivement grossis jusqu'à atteindre environ 35 m au centre du chenal de l'Île d'Orléans. Les éléments en eaux les plus grands atteignent environ 400 m dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Le maillage a été raffiné dans les confluences, près des berges, dans le secteur du pont et à certains endroits où le thalweg est un peu moins défini.

6.2.3 Conditions aux limites

Étant donné la prédominance du phénomène des marées dans le tronçon à l'étude, les conditions aux limites imposées sont des conditions de niveau à Neuville et à Saint-Joseph-de-la-Rive.

6.2.4 Pas de temps

Les pas de temps ont été variés entre 0,625 seconde et 5 secondes pour les simulations. Les pas de temps sont variés de manière à maintenir un nombre de courants dans les valeurs recommandées pour le modèle.

6.2.5 Mise en eau

Le modèle, qui est non stationnaire, démarre avec une surface d'eau uniforme correspondant à la valeur imposée à la limite aval. Le modèle prend environ 24 heures, soit deux cycles de marées, pour propager les ondes correctement à travers le domaine et faire disparaître significativement les erreurs liées au démarrage à froid.

6.3 Précision visée pour le modèle

6.3.1 Choix des cibles à atteindre

Le milieu à l'étude est très complexe. Il y a des inversions de courant avec des écoulements qui peuvent aller vers l'amont et vers l'aval en même temps sur une section. Les inversions sont d'ailleurs assez rapides. Le milieu change au gré de la saison avec d'importants herbiers qui se développent dans la zone intertidale. Le milieu est aussi sujet à des variations de niveau de surface liées aux vents, aux pressions atmosphériques et aux ondes de tempêtes. Les marées ont une amplitude majeure qui varie beaucoup le long du tronçon à l'étude. Il y a aussi dans le secteur modélisé, un changement de l'eau saline vers l'eau douce et le début d'une zone de stratification de l'eau. Certaines données horaires manquent parfois aux conditions aux limites, ce qui implique aussi de reconstruire ou d'estimer quelques pics de marées, par exemple. Finalement, les données bathymétriques ne sont pas toutes récentes dans la zone à l'étude.

Dans ces circonstances, des précisions de 5 % sur les niveaux d'eau, par rapport au marnage total, et de 10 % sur les débits apparaissent comme des valeurs raisonnables et suffisantes pour donner les informations requises sur les conditions hydrauliques affectant la structure à l'étude.

6.3.2 Comparaisons avec le modèle d'ECCC

ECCC a développé un modèle très précis dans le secteur à l'étude. Ce modèle est le fruit de nombreuses années de travail et plusieurs articles scientifiques ont été publiés dans le cadre de son développement. Des informations très pertinentes, comme les substrats utilisés dans ce modèle ainsi que des données bathymétriques, ont par ailleurs été transmises par ECCC et ont été intégrées au modèle du MTQ.

La lecture des publications sur ce modèle permet de conclure qu'il est bien calibré et validé et que sa précision est un bon comparable pour établir la qualité de la précision du modèle développé par le MTQ. Pour chaque essai, la précision du modèle du MTQ est comparée au modèle d'ECCC. L'objectif est d'avoir un modèle ayant une précision dans le même ordre de grandeur que la précision du modèle d'ECCC. Cela est attendu étant donné qu'une partie importante des intrants du modèle du MTQ proviennent du modèle d'ECCC. Le logiciel et la formulation utilisés ne sont cependant pas les mêmes. Le maillage aussi est différent.

6.4 Calibration du modèle

6.4.1 Paramètres modifiés dans le cadre de la calibration

Lors de la calibration, les coefficients de pertes de charge par frottement et le paramètre numérique de viscosité turbulente sont ajustés pour que le modèle reproduise bien les phénomènes. Les paramètres numériques de simulation et le maillage sont aussi adaptés au gré des essais de calibration.

6.4.2 Débits du 25 août 2009

La calibration du modèle a tout d'abord été effectuée de manière à ce que le modèle soit en mesure de reproduire les débits du 25 août 2009 dans le chenal de l'Île d'Orléans à Château-Richer. Ce choix est justifié par le fait que les débits enregistrés dans ce jaugeage sont dans le même chenal que le pont de l'Île-d'Orléans. Le modèle doit donc reproduire les débits dans un cycle de marée avec une précision suffisante. La cible à atteindre pour les débits est un *Root Mean Squared Error* (RMSE) inférieur à 10 % du débit maximal jaugé.

Les résultats de calibration sur les débits dans le chenal de l'Île d'Orléans sont présentés à la figure et au tableau qui suivent.

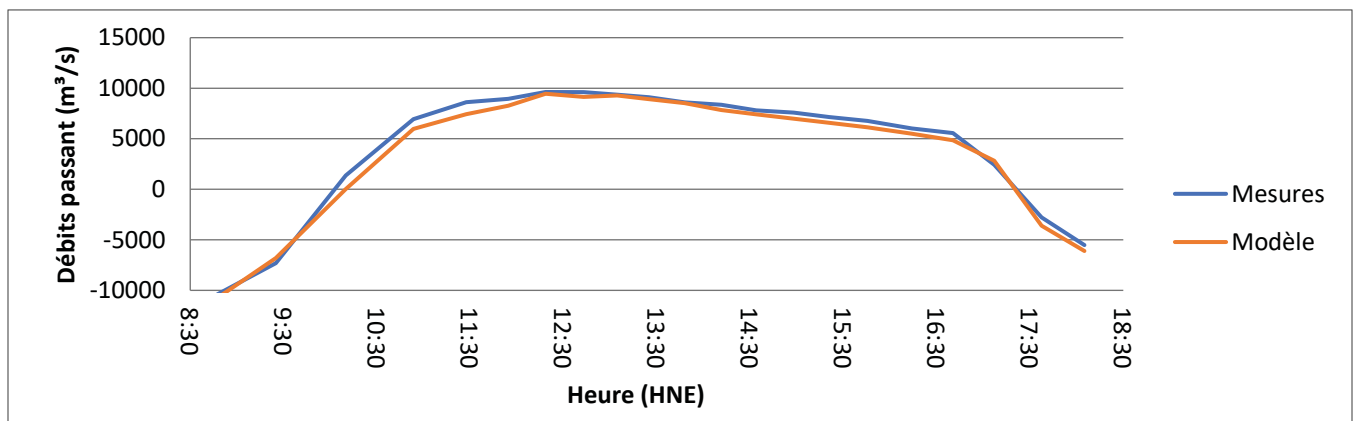


Figure 6-2 Comparaison entre les débits modélisés et les débits jaugés à Château-Richer

Tableau 6-1 Analyse des écarts entre le jaugeage et la modélisation

Écart	Valeur	Unité
RMSE	637	m ³ /s
RMSE/Q _{max} observé	6,13	%

La calibration sur le débit atteint les cibles désirées. La courbe du débit suit bien les observations mesurées sur le terrain et l'erreur évaluée par le paramètre RMSE reste inférieure à 10 % par rapport aux débits maximaux mesurés de 10 389 m³/s à 8:47.

Les résultats de la calibration des débits dans le chenal de l'Île d'Orléans peuvent aussi être comparés aux résultats de calibration d'Environnement Canada.

Les travaux d'Environnement Canada indiquent qu'un RMSE de 639 m³/s⁴ a été obtenu pour leur modèle par rapport au jaugeage du 25 août 2009. Cette valeur est presque identique à la valeur de 637 m³/s obtenue par le modèle présenté dans ce document.

La figure qui suit est tirée des travaux d'ECCC et montre la performance du modèle hydraulique qu'ils ont développé dans le même secteur et pour le même jaugeage.

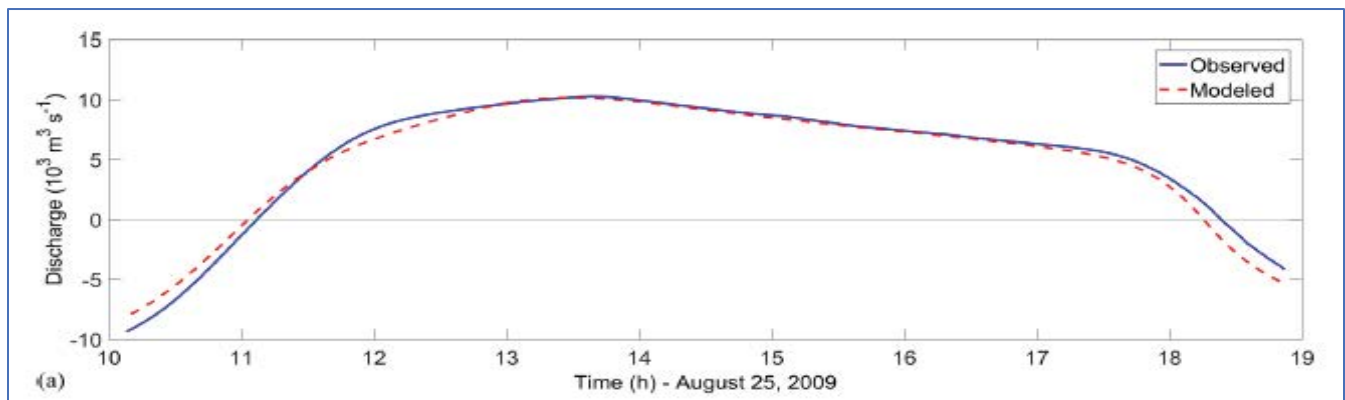


Figure 6-3 Précision du modèle d'ECCC – Figure tirée de la référence⁵ – Le temps est sur le fuseau HAE

La précision atteinte lors de la calibration du modèle développé par le MTQ apparaît comparable à celle du modèle développé par ECCC, ce qui est satisfaisant dans le cadre du présent projet.

⁴ Matte, P., Secretan, Y. et Morin, J. (2017). Hydrodynamic modeling of the St. Lawrence fluvial estuary. I: Model setup, calibration, and validation. *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*,

⁵ Matte, P., Secretan, Y. et Morin, J. (2017). Hydrodynamic Modeling of the St. Lawrence Fluvial Estuary. II: Reproduction of Spatial and Temporal Patterns, *J. Waterway, Port, Coastal, Ocean Eng.*

6.4.3 Niveaux à Lauzon

Les niveaux doivent être suffisamment précis dans le modèle à l'emplacement de la station de Lauzon. La cible à atteindre pour les niveaux est un RMSE inférieur à 5 % de l'amplitude du marnage. La période simulée pour effectuer cette vérification s'étend du 16 août 2009 au 27 août 2009.

Les pics à marée haute sont très bien reproduits. La synchronicité entre le modèle et les observations est aussi très bonne. Le modèle semble légèrement sous-estimer le niveau d'eau lors de la marée basse. Somme toute, la calibration sur la station de Lauzon est satisfaisante, avec une précision bien située dans la marge de 5 % du marnage qui est visée. Les résultats de la calibration à Lauzon sont présentés dans le tableau et la figure qui suivent.

Tableau 6-2 Analyse de l'écart entre les valeurs modélisées et les valeurs mesurées à Lauzon

Écart absolu	Valeur	Unité
RMSE	0,176	m
RMSE/Marnage	2,8	%

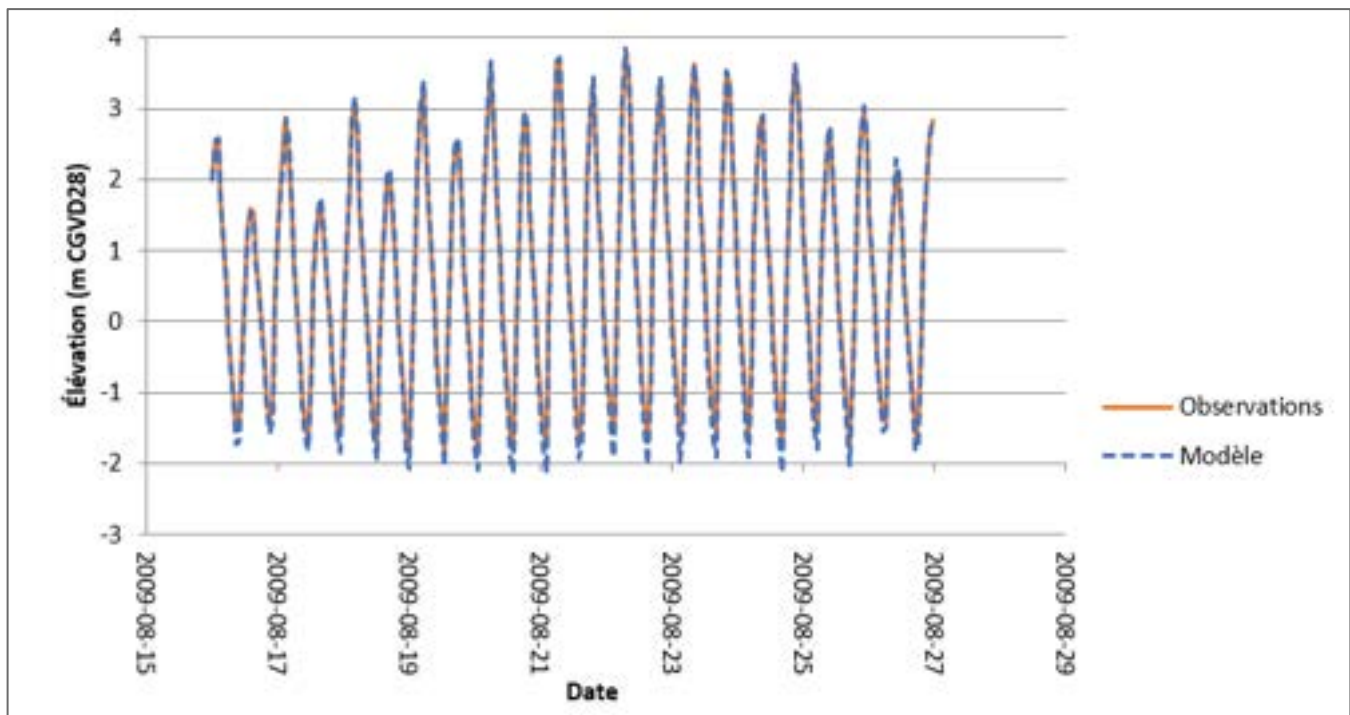


Figure 6-4 Comparaison entre les niveaux d'eau modélisés et les niveaux d'eau observés à Lauzon

6.4.4 Niveaux à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans

Les niveaux doivent être suffisamment précis dans le modèle à l'emplacement de la station de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans. La cible à atteindre pour les niveaux est un RMSE inférieur à 5 % de l'amplitude du marnage. La période simulée pour effectuer cette vérification s'étend du 15 août 2009 au 26 août 2009.

Comme pour la station de Lauzon, les pics sont généralement très similaires entre le modèle et les mesures. Les heures concordent aussi très bien. Le modèle sous-estime légèrement les niveaux d'eau lors de la marée basse. La calibration sur le niveau d'eau à cette station est très satisfaisante et bien située dans la marge de 5 % du marnage qui est visée.

Les résultats de la calibration sur la station de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans sont présentés au tableau et à la figure qui suivent.

Tableau 6-3 Analyse de l'écart entre les valeurs modélisées et les valeurs mesurées à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans

Écart absolu	Valeur	Unité
RMSE	0,145	m
RMSE/Marnage	2,2	%

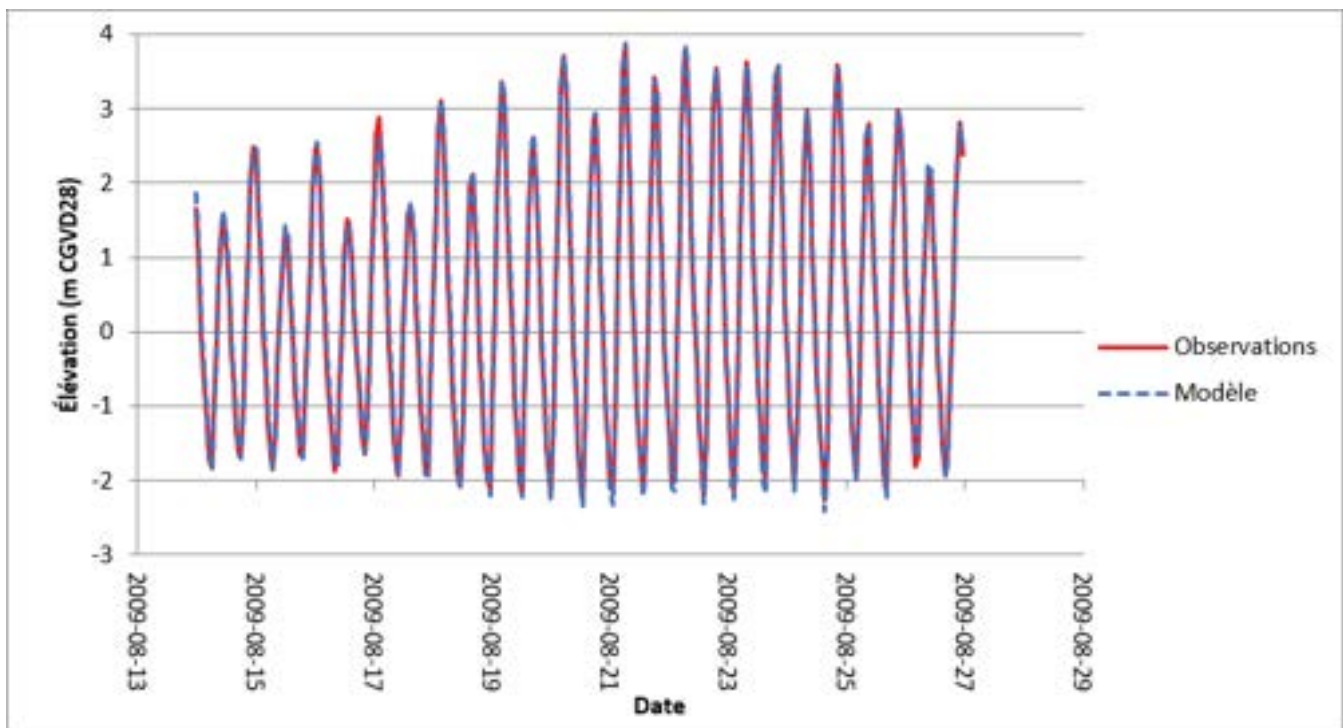


Figure 6-5 Comparaison entre les niveaux d'eau modélisés et les niveaux d'eau observés à Saint-François

6.4.5 Commentaires sur la calibration

Les valeurs obtenues lors de la calibration sont confortablement situées dans les marges de précision visées pour le modèle.

Dans le cas des niveaux d'eau, la comparaison avec la précision d'ECCE a été effectuée. Le RMSE du modèle d'ECCE est situé entre 0,120 m à 0,163 m selon la date de simulation pour les stations de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans et de Lauzon. La précision du modèle du MTQ se situe dans le même ordre de grandeur avec les valeurs de 0,145 m et 0,176 m. La précision sur les débits était aussi très satisfaisante avec un RMSE très similaire à celui d'ECCE, à 6,1 %.

6.5 Validation du modèle

Dans le cadre d'une validation du modèle, les paramètres de frottement, de turbulence, de calculs ainsi que le maillage ne sont pas modifiés. C'est le modèle issu de la calibration qui est utilisé tel quel.

6.5.1 Débits à Lauzon

Les débits enregistrés dans le chenal sud à Lauzon le 24 juin 2009 ont été retenus pour la validation. La cible à atteindre pour les débits est un RMSE inférieur à 10 % du débit maximal jaugé au jusant. Les résultats de validation sur les débits dans le chenal sud sont présentés à la figure et au tableau qui suivent.

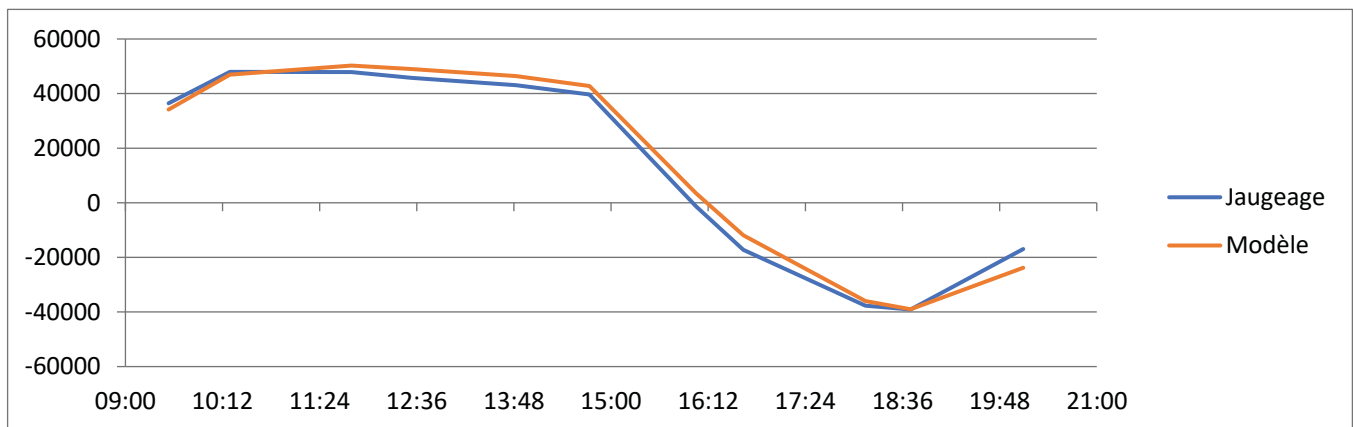


Figure 6-6 Comparaison entre les débits modélisés et les débits jaugés à Lauzon

Tableau 6-4 Analyse des écarts absolus entre le jaugeage et la modélisation à Lauzon

Écart	Valeur	Unité
RMSE	3 626	m³/s
RMSE/Q _{max} observé	7,6	%

La validation sur les débits atteint les cibles désirées. La courbe du débit suit relativement bien les observations mesurées sur le terrain et l'erreur évaluée par le paramètre RMSE reste inférieure à 10 % par rapport aux débits maximaux mesurés.

Les résultats de la validation des débits dans le chenal sud peuvent aussi être comparés aux résultats de calibration d'ECCC.

Les travaux d'ECCC indiquent qu'un RMSE de 6 332 m³/s a été obtenu pour leur modèle par rapport au jaugeage du 24 juin 2009 à Lauzon. Cette valeur est supérieure à la valeur de 3 626 m³/s obtenue par le modèle du MTQ présenté dans ce document. Le modèle du MTQ serait donc plus précis sur ce point.

ECCC attribuait une partie de l'erreur à une erreur d'interpolation plus grande à l'intérieur des transects jaugés et à la qualité des données bathymétriques. L'avis pour les valeurs interpolées dans les transects est partagé par le MTQ, surtout pour le chenal de l'Île d'Orléans à Beauport avec les importants changements de direction de l'écoulement le long du transect et dans le temps. Les données bathymétriques disponibles pour réaliser le présent rapport et le modèle du MTQ dans le chenal de l'Île d'Orléans sont par ailleurs plus récentes et ont pu avoir un impact sur la qualité des résultats à la pointe de l'île d'Orléans.

6.5.2 Débits à Beauport

Les débits enregistrés dans le chenal de l'Île d'Orléans à Beauport le 24 juin 2009 ont aussi été retenus pour la validation. Cependant, les données de jaugeage ne sont pas toutes utilisées. Un courant de retour majeur a été observé à la pointe de l'île. Ce courant de retour est documenté dans d'autres études et d'autres modèles et il est observé dans le modèle que le MTQ a élaboré dans le cadre de ce projet. De l'eau traverse ainsi la ligne de jaugeage au nord, pour la retraverser ensuite dans l'autre sens plus au sud et se diriger dans le chenal sud à la place. Une partie de l'écoulement est d'ailleurs parallèle et non perpendiculaire à la section de jaugeage. Il a donc été décidé, pour la validation, de ne s'en tenir qu'aux jaugeages effectués lorsque l'écoulement parallèle à la ligne de jaugeage n'est pas significatif et lorsque le courant de retour est minimisé. Il reste néanmoins que les conditions à cette section de jaugeage ne sont pas idéales. Un RMSE inférieur à 10 % du débit maximal jaugé est visé.

Le tableau qui suit résume les résultats de la validation à cet endroit.

Tableau 6-5 Analyse de l'écart absolu entre les valeurs modélisées et les jaugeages à Beauport

Écart absolu	Valeur	Unité
RMSE	753	m ³ /s
RMSE/Q _{max} observé	8,7	%

L'écart observé entre les débits mesurés et les débits modélisés est plus fort à cette section de jaugeage. La figure qui suit montre la comparaison entre les jaugeages et le modèle.

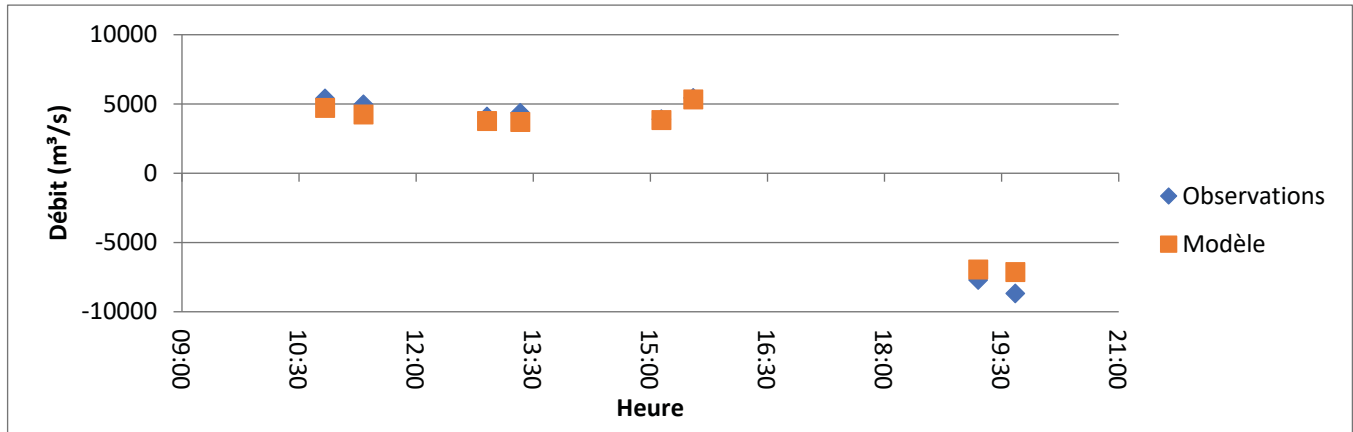


Figure 6-7 Comparaison entre les débits jaugés et les débits modélisés

Le modèle reproduit bien le comportement du débit dans le temps, mais sous-estime légèrement les débits par rapport à ceux jaugés à cet endroit. Néanmoins, l'écart reste dans les valeurs acceptables. La validation est satisfaisante.

Le RMSE obtenu par ECCC était de 946 m³/s, mais certaines sections de jaugeage rejetées par le MTQ ont été utilisées par ECCC, ce qui a probablement augmenté leur RMSE à cette section.

6.5.3 Niveaux à Québec

Les niveaux à la station de Québec sont validés. Cette validation couvre la période du 9 au 22 juillet 2014. La cible à atteindre pour les niveaux est un RMSE inférieur à 5 % de l'amplitude du marnage.

Le tableau suivant présente les résultats sur la validation à la station de Québec.

Tableau 6-6 Analyse de l'écart entre les valeurs modélisées et les valeurs mesurées à la station de Québec

Écart absolu	Valeur	Unité
RMSE	0,198	m
RMSE/Marnage	3,1	%

L'écart est bien situé à l'intérieur de la cible de 5 % du marnage. La validation est satisfaisante. Le modèle d'ECCC obtenait un RMSE de 12 à 18 cm selon les simulations effectuées pour la station de Québec, ce qui est comparable au résultat obtenu par le modèle du MTQ.

6.5.4 Niveaux à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans

Les niveaux à la station de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans sont aussi validés sur la période du 9 au 22 juillet 2014. La cible à atteindre est la même qu'à Québec.

Les résultats de la validation à la station de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans sont présentés ci-après.

Tableau 6-7 Analyse de l'écart entre les valeurs modélisées et les valeurs mesurées à la station de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans

Écart absolu	Valeur	Unité
RMSE	0,182	m
RMSE/Marnage	2,7	%

L'écart entre le modèle et les observations est encore une fois faible et dans la marge visée. La valeur de RMSE calculée est largement inférieure à la valeur de 5 % visée pour la précision.

Pour fin de comparaisons, le RMSE obtenu par ECCC à cette station est d'environ 12 cm pour toutes les simulations. La précision du modèle d'ECCC à cet endroit est donc légèrement supérieure à celle du modèle du MTQ.

6.5.5 Niveaux au pont de l'Île-d'Orléans

Finalement, les niveaux à la station installée au pont de l'Île-d'Orléans sont validés. Cette validation couvre la période du 9 au 22 juillet 2014. La cible à atteindre est toujours un RMSE inférieur à 5 % du marnage. Les résultats sur la validation à la station Montmorency sont présentés au tableau qui suit.

Tableau 6-8 Analyse de l'écart entre les valeurs modélisées et les valeurs mesurées à la station Montmorency (PIO)

Écart absolu	Valeur	Unité
RMSE	0,213	m
RMSE/Marnage	3,5	%

L'écart reste inférieur à 5 % du marnage, soit la cible de précision désirée. À titre comparatif, le modèle d'ECCE obtenait un RMSE de 16 à 22 cm selon les simulations effectuées pour le secteur de Beauport, situé à proximité du marégraphe de la station Montmorency. La figure qui suit montre les niveaux obtenus par le modèle en comparaison avec ceux mesurés.

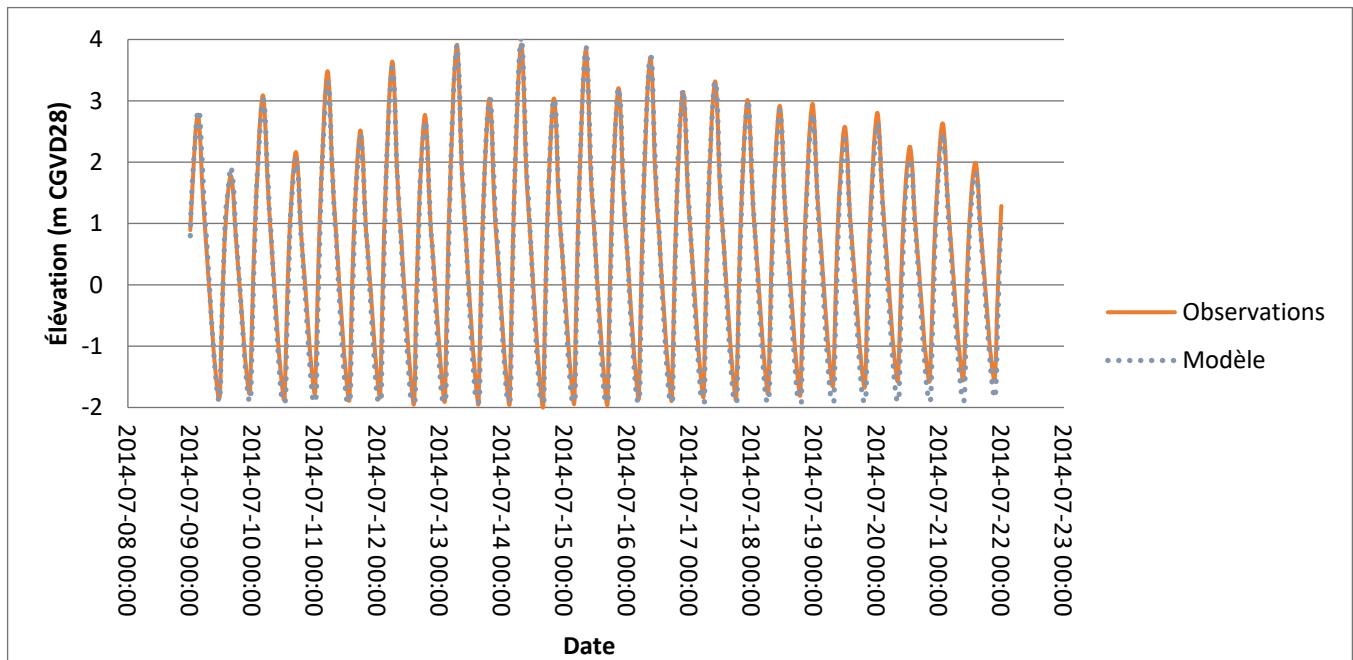


Figure 6-8 Comparaison entre les niveaux modélisés et les niveaux mesurés

La comparaison permet d'observer que les niveaux sont très proches dans les pics de marée haute entre le modèle et les observations. La synchronicité est bonne entre les observations et le modèle. L'erreur provient essentiellement d'une légère sous-estimation des niveaux par le modèle lors des marées de morte-eau.

6.5.6 Retour sur la validation

La validation du modèle a donné des résultats dans les marges de précision souhaitées. Les paramètres modifiés lors de la calibration sont capables de bien reproduire des événements lors de la validation.

L'obtention de nombreux intrants provenant d'ECCE a permis d'avoir un modèle ayant une précision comparable pour les paramètres d'intérêts pour le MTQ dans le présent projet.

Avec la précision obtenue et la comparaison avec les performances du modèle robuste d'ECCE, le modèle du MTQ peut être considéré comme étant suffisamment validé et robuste pour les besoins de la présente étude hydraulique.

7 MODÉLISATION DU PONT ACTUEL

Le pont actuel a été modélisé pour un cycle de marée estival et pour les conditions de conception. Les courants modélisés sont présentés dans cette section.

7.1 Vitesse maximale au flot lors d'un cycle estival – Pont actuel

Les marées du 8 au 22 juillet 2014 ont été analysées. Cette période est intéressante, car elle est en été; la météo a été clémente et la pleine mer supérieure de grande marée a atteint une hauteur de 4,03 m, ce qui est très proche de la valeur de 4,02 m prévue aux tables. Ceci est représentatif d'une marée qui se produit régulièrement au site à l'étude.

Le modèle a fonctionné sur la totalité de cette période et la vitesse maximale au flot, c'est-à-dire à marée montante, a été extraite sous la forme d'un champ de vitesse en 2D. L'écoulement est principalement de l'est vers l'ouest.

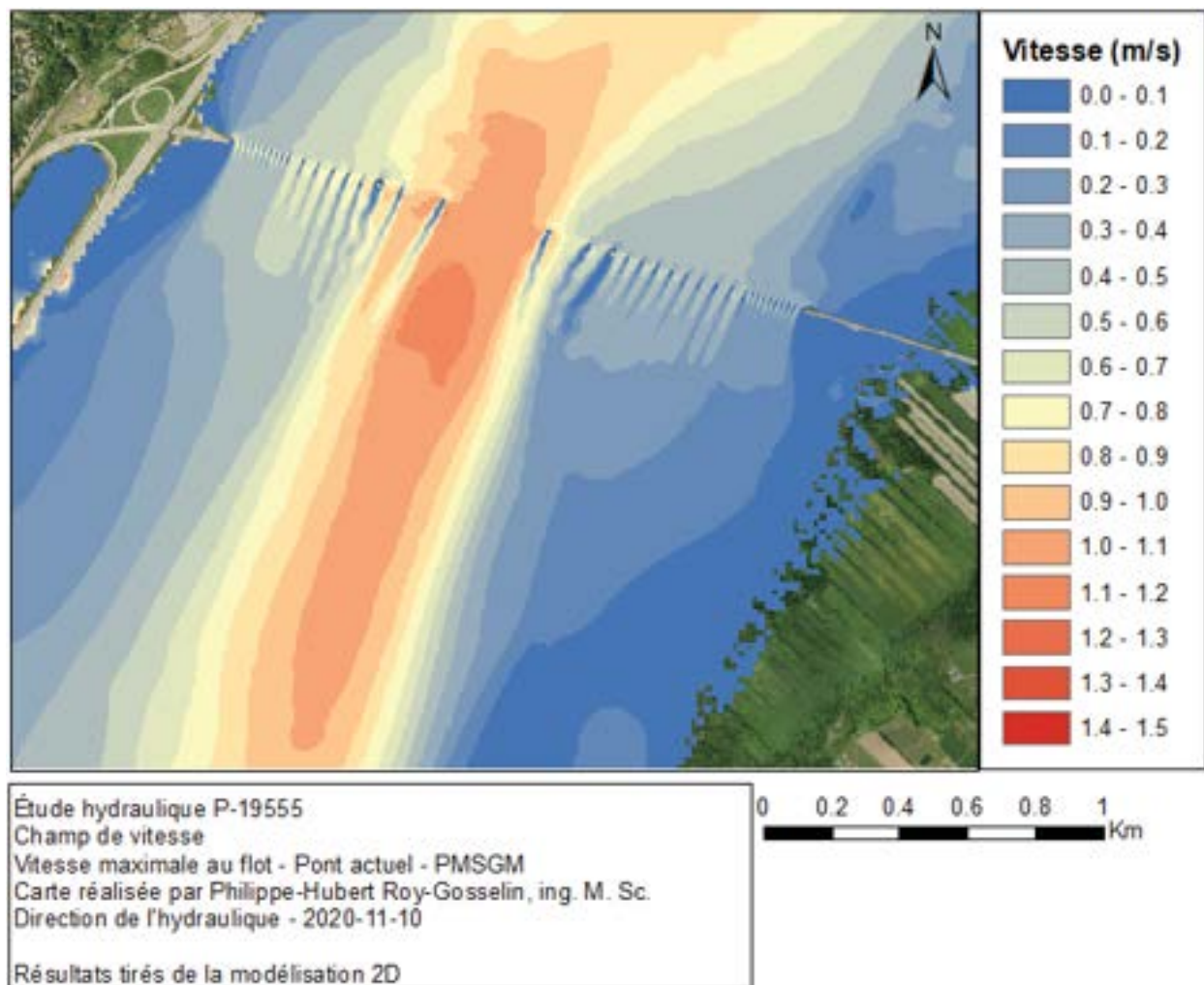


Figure 7-1 Champ de vitesse lors du flot de la PMSGM au pont actuel

La vitesse a aussi été extraite sur la section au droit du pont. Ce profil de vitesse est présenté à la figure suivante.

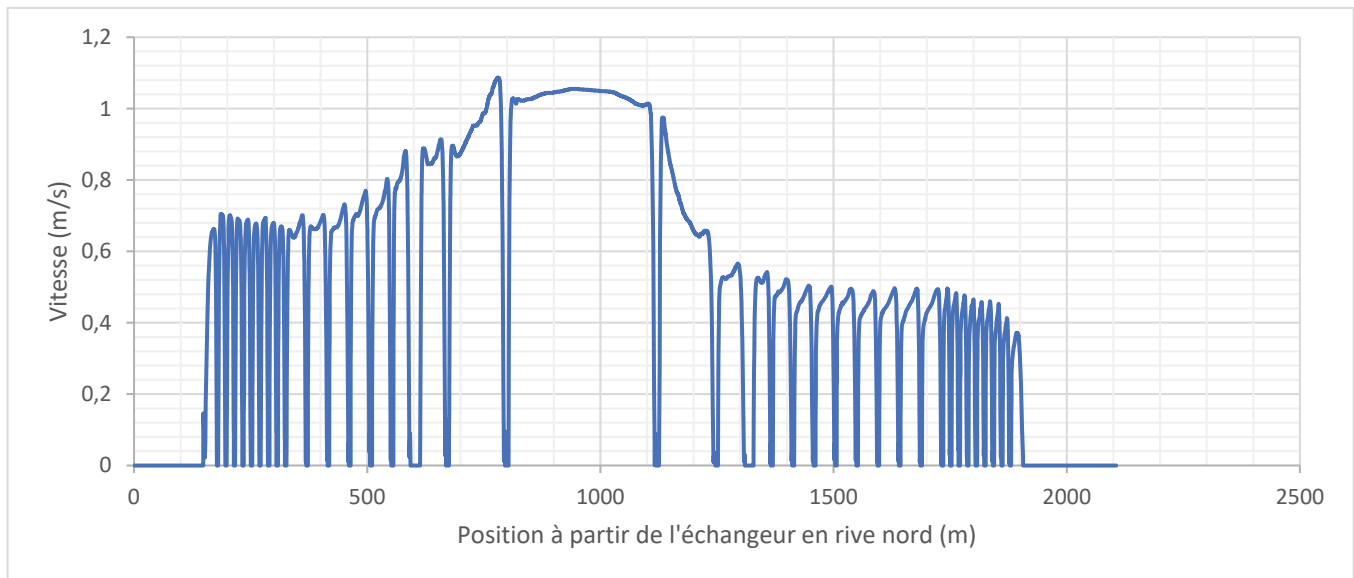


Figure 7-2 Profil de vitesse lors du flot, au droit du pont actuel, à la PMSGM – Les creux sont situés aux piliers du pont actuel

Sur la figure précédente, il est possible de constater que les vitesses d'écoulement autour des travées d'approches sont de $\pm 0,7$ m/s en rive nord et de $\pm 0,5$ m/s en rive sud. Les vitesses de courant augmentent jusqu'à environ 1,1 m/s dans le chenal principal autour du pylône nord. Les traînées dans lesquelles les vitesses sont perturbées font environ 400-500 m pour les éléments de fondation qui sont davantage situés dans le courant principal.

7.2 Vitesse maximale au jusant lors d'un cycle estival – Pont actuel

Lors de la PMSGM, les vitesses maximales ont aussi été extraites pour le jusant, c'est-à-dire la marée descendante pour laquelle le courant est principalement orienté du sud vers le nord. La vitesse a été extraite sous la forme d'un champ 2D.

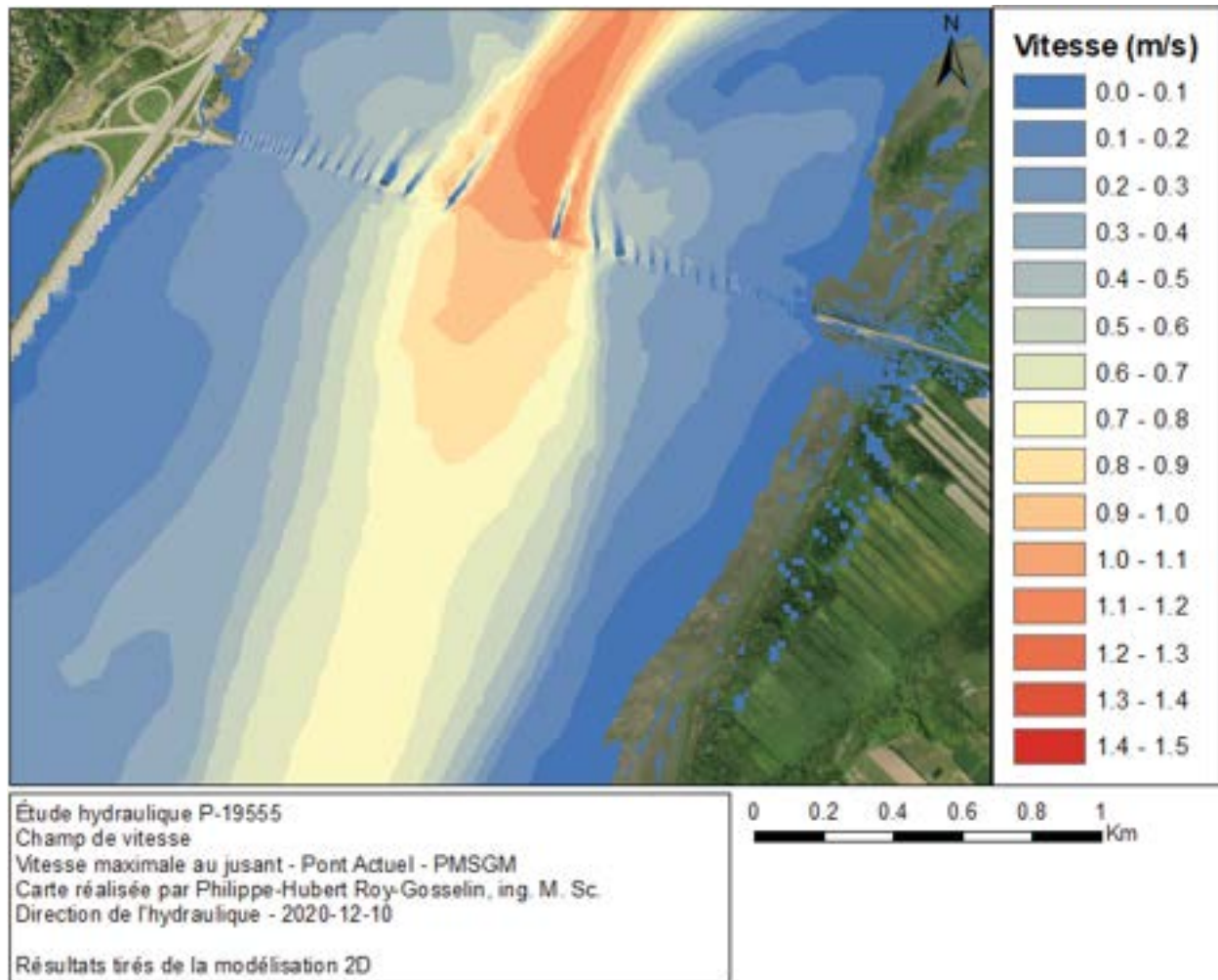


Figure 7-3 Champ de vitesse lors du jusant de la PMSGM au pont actuel

Sur cette figure, il est possible de constater que les distances des perturbations à l'aval des piles vont de moins de 200 m pour les éléments d'approche à près de 400-500 m pour les pylônes centraux.

La vitesse a par ailleurs été extraite au droit du pont pour le jusant. Le profil est présenté à la figure qui suit.

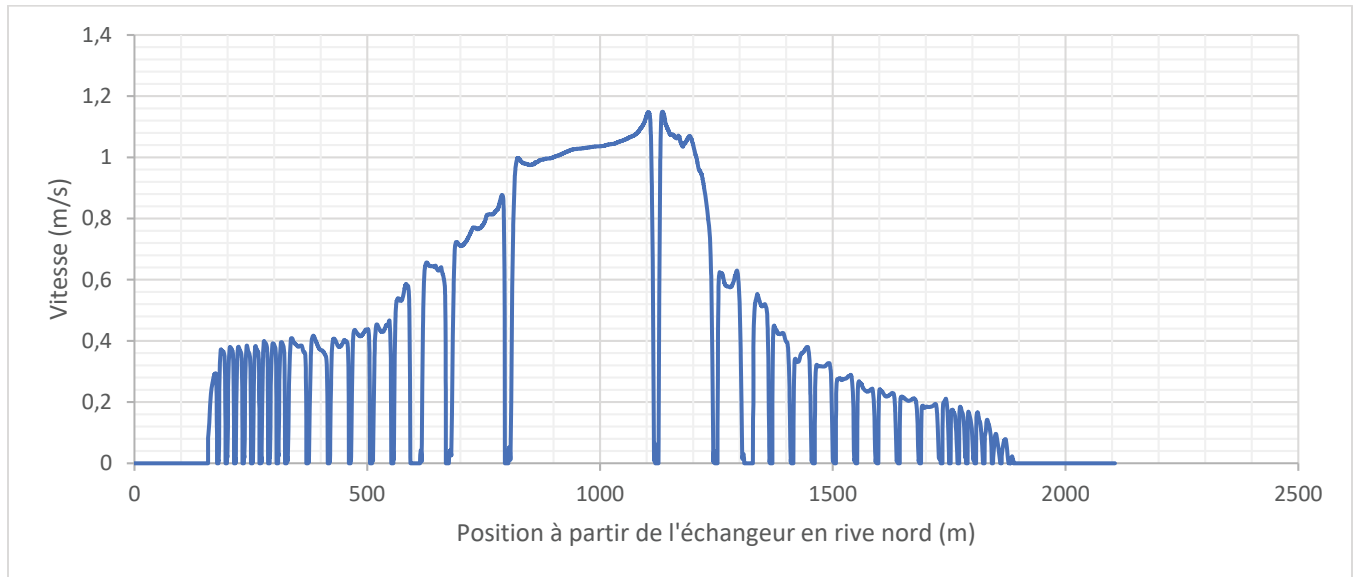


Figure 7-4 Profil de vitesse lors du jusant, au droit du pont actuel, à la PMSGM – Les creux sont situés aux piliers du pont actuel

Sur la figure précédente, il est possible de constater que les vitesses d'écoulement autour des travées d'approches sont plutôt faibles, à $\pm 0,4$ m/s ou moins. Les vitesses de courant augmentent jusqu'à environ 1,2 m/s dans le chenal principal autour du pylône sud.

7.3 Vitesse maximale lors de la marée de conception – Pont actuel

Les champs de vitesse ont été évalués lors de la marée de conception. Les vitesses ont été extraites au droit du pont actuel pour le pic de l'écoulement lors du flot et lors du jusant.

L'augmentation des vitesses par rapport à la PMSGM est plutôt limitée lors de la marée montante (flot). Elle avoisine 0,1 m/s sur toute la section.

Lors de la marée descendante (jusant), l'augmentation par rapport à la PMSGM est plus marquée, de l'ordre d'environ 0,3 m/s en moyenne. Cela s'explique par la hauteur d'eau plus importante sur les berges qui se maintient à la suite de l'étale de marée haute lorsque le courant descendant est bien engagé.

Les profils obtenus sont présentés aux figures qui suivent.

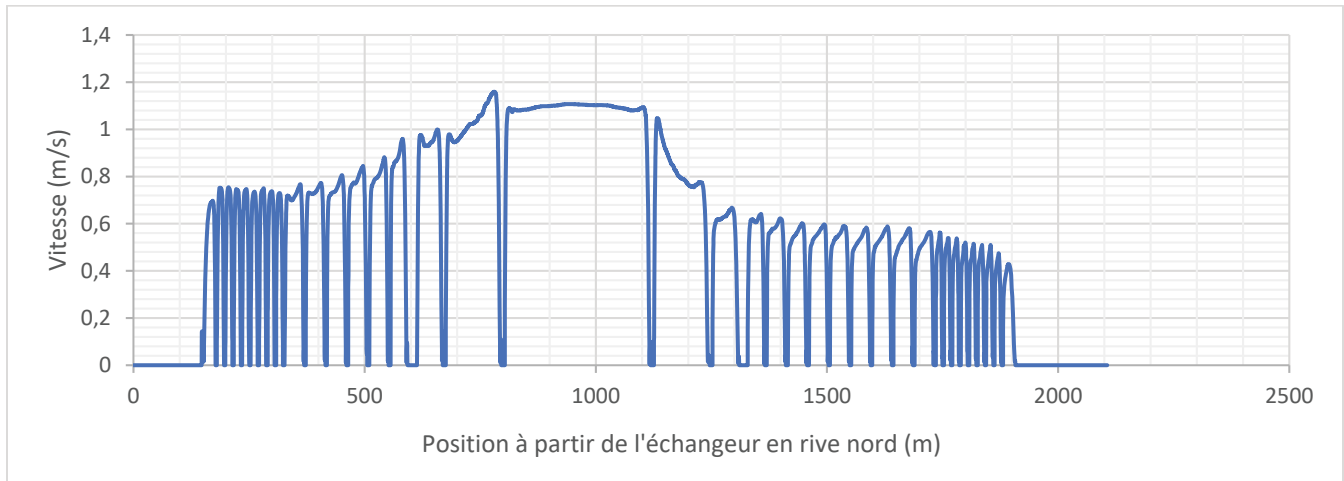


Figure 7-5 Profil de vitesse lors du flot, au droit du pont actuel, marée de conception – Les creux sont situés vis-à-vis des piliers du pont actuel

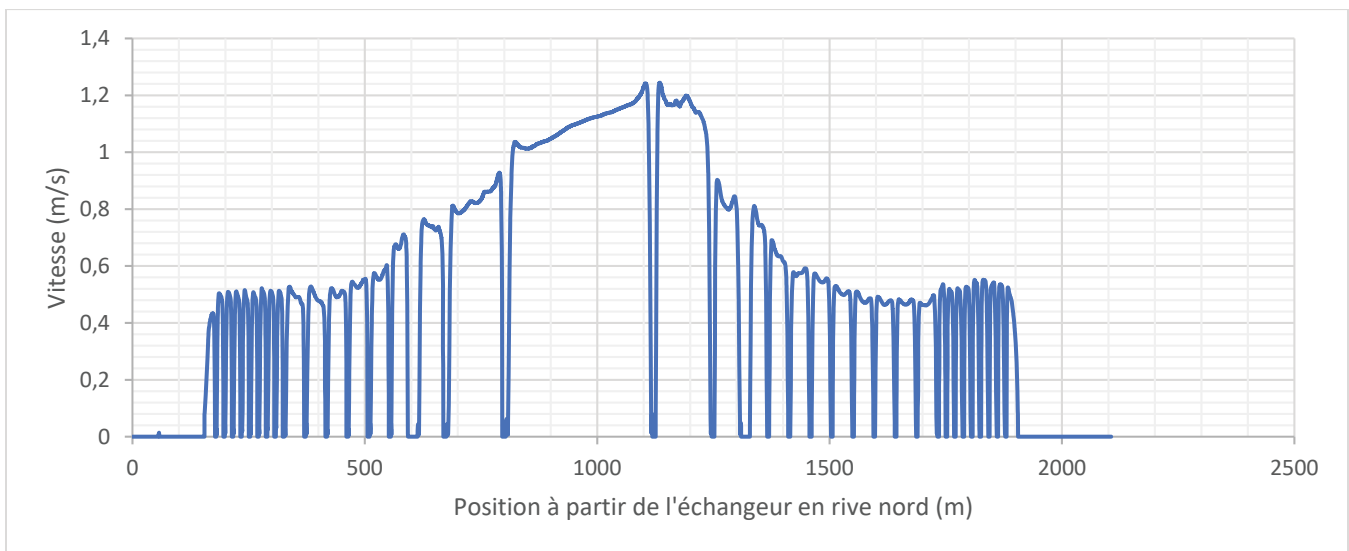


Figure 7-6 Profil de vitesse lors du jusant, au droit du pont actuel, marée de conception – Les creux sont situés vis-à-vis des piliers du pont actuel

7.4 Sommaire des vitesses au pont actuel

Les vitesses obtenues à la PMSGM sont atteintes plus régulièrement que les vitesses de conception et sont une bonne indication des écoulements maximaux en conditions normales qui se produisent régulièrement autour des éléments de fondation.

Les vitesses de conception sont utilisées pour dimensionner l'affouillement et les protections du lit et ne sont pas appelées à se produire régulièrement. Pour le pont actuel, elles sont présentées à titre comparatif pour le pont proposé qui est présenté au chapitre suivant. Les valeurs de conception présentées dans cette section ne serviront pas à concevoir l'ouvrage proposé.

Les vitesses maximales pour les différents scénarios et groupements d'éléments de fondation sont résumées dans le tableau qui suit.

Tableau 7-1 Vitesses maximales modélisées au droit du pont actuel pour différents groupes d'éléments de fondation

Éléments de fondation du pont actuel (Numéro)	Vitesse au flot PMSGM (m/s)	Vitesse au jusant PMSGM (m/s)	Vitesse maximale au flot Conception (m/s)	Vitesse maximale au jusant Conception (m/s)
1 à 10	0,7	0,4	0,8	0,5
11 à 15	0,8	0,5	0,9	0,6
16 et 17	0,9	0,7	1,0	0,8
18 (pylône nord)	1,1	1,0	1,2	1,0
19 (pylône sud)	1,0	1,1	1,1	1,2
20 et 21	0,6	0,6	0,8	0,9
22 à 29	0,5	0,4	0,6	0,6
30 à 39	0,5	0,2	0,6	0,5

8 MODÉLISATION DU PONT PROPOSÉ

Le pont proposé a été modélisé en présence du pont actuel. En effet, le pont proposé sera entièrement construit avant que la démolition du pont actuel ne soit entreprise. Les courants modélisés en présence du pont proposé et du pont actuel sont présentés dans cette section et ils sont comparés aux courants du pont actuel seul.

8.1 Vitesse maximale lors d'un cycle estival – Pont proposé

8.1.1 Présentation des vitesses maximales à la PMSGM

Pour le flot, les vitesses maximales en 2D à la PMSGM sont présentées à la figure qui suit.

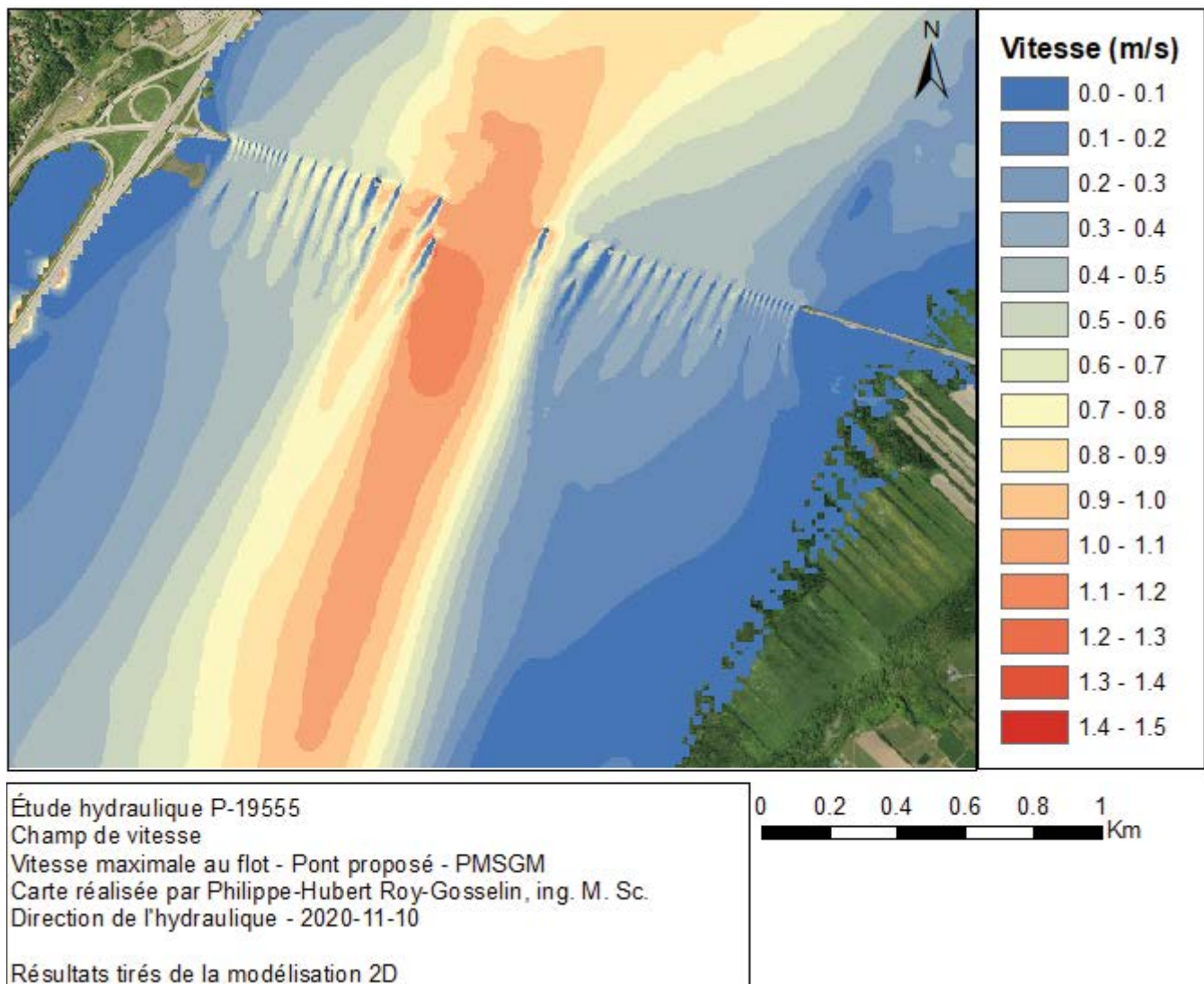


Figure 8-1 Champ de vitesse lors du flot de la PMSGM au pont proposé en présence du pont actuel

Il est possible de constater que les trainées des piles du pont actuel atteignent les trainées du pont proposé et qu'une certaine interaction se produit entre les deux ponts lors du flot. La trainée du pont proposé ne dépasse pas 500 m pour la majorité des éléments. Elle est un peu plus longue pour le pylône nord. Il est possible de constater par ailleurs que le pont proposé, avec un nombre réduit d'éléments de fondation, a moins d'impacts au niveau de ses travées d'approches que le pont actuel.

Pour le jusant à la PMSGM, la figure qui suit montre les vitesses maximales en 2D. On y constate que le champ de vitesse est très similaire à celui du pont actuel. Le pylône nord de l'option proposée engendre une trainée qui influence un peu la trainée du pylône nord du pont existant. L'impact du pont proposé par rapport au pont existant est cependant moindre à cause du nombre réduit d'éléments de fondation.

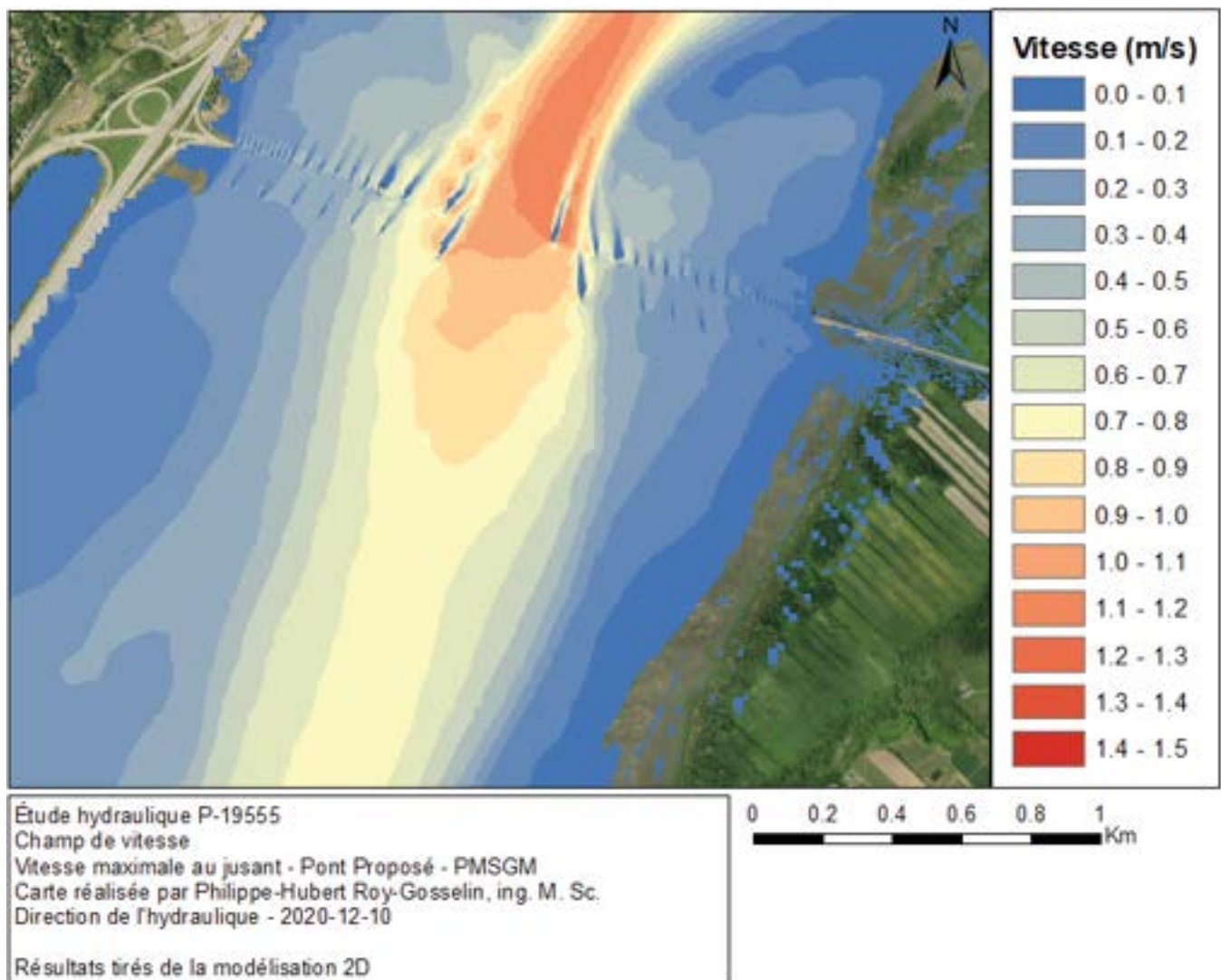


Figure 8-2 Champ de vitesse lors du jusant de la PMSGM au pont proposé en présence du pont actuel

8.1.2 Présentation des différences entre l'état actuel et l'état proposé

Les vitesses au droit du pont proposé sont comparées entre l'état actuel et l'état proposé.

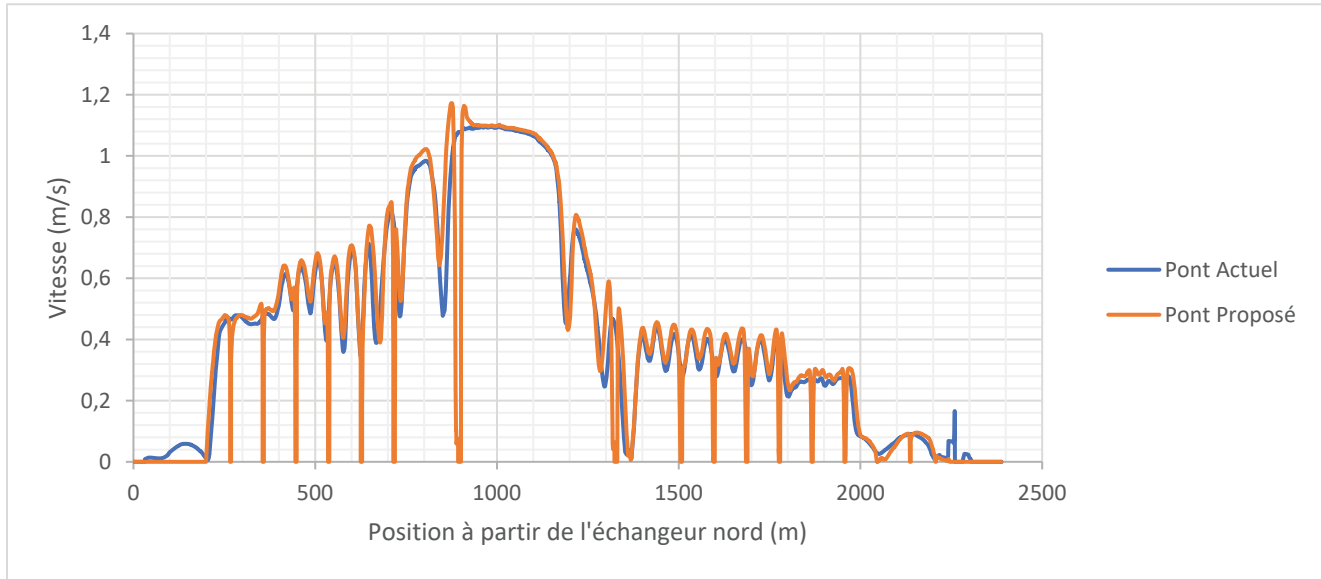


Figure 8-3 Profil de vitesse lors du flot, au droit du pont proposé, à la PMSGM

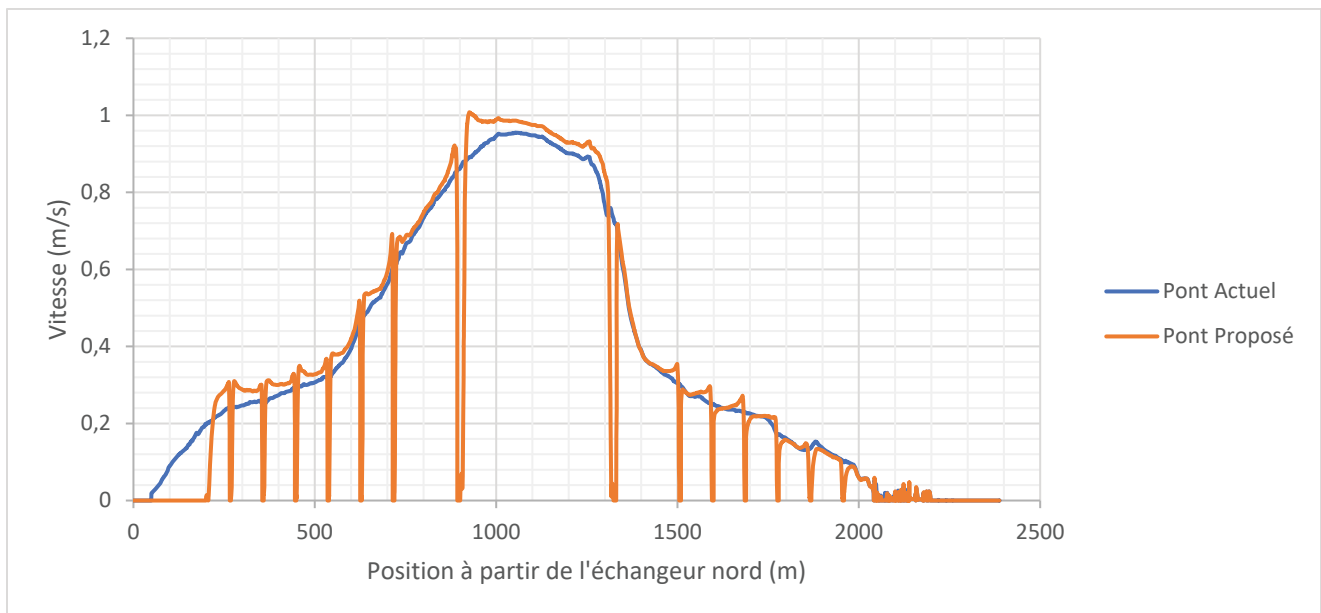


Figure 8-4 Profil de vitesse lors du jusant, au droit du pont proposé, à la PMSGM

L'augmentation des vitesses au pont proposé est minime, moins de 0,1 m/s en tout point par rapport à la situation actuelle lors du jusan. Pour le flot, l'augmentation atteint environ 0,2 m/s autour du pylône nord, mais reste minime ailleurs. L'ordre de grandeur de la vitesse d'écoulement reste le même. Le pont ne devrait donc pas avoir un impact significatif sur le milieu.

Les champs de vitesse en 2D ont aussi été comparés pour extraire la différence de vitesse d'écoulement sur le domaine à l'étude. Les figures qui suivent donnent les endroits où les différences sont supérieures à 0,1 m/s ainsi que la différence. Les couleurs froides indiquent une diminution de la vitesse tandis que les couleurs chaudes indiquent une augmentation.

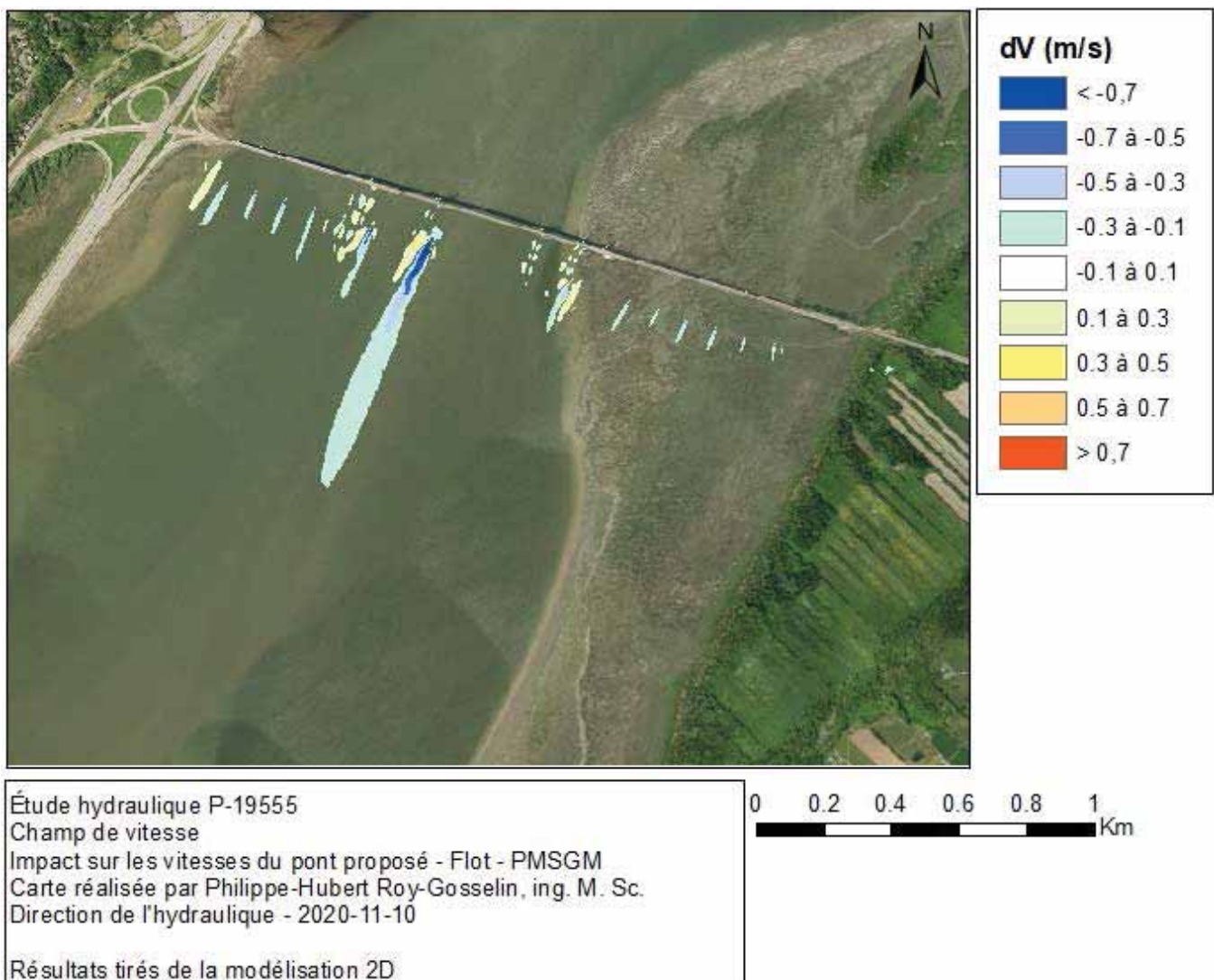


Figure 8-5 Différence dans les champs de vitesse au flot pour la structure proposée, à la PMSGM

Il est possible sur la figure précédente de constater que les impacts sont très circonscrits pour la grande majorité des éléments de fondation y compris le pylône sud qui est situé près de la frayère. Le pylône nord a un impact plus marqué en diminuant significativement les courants sur une distance plus importante. Cela est attendu étant donné sa profondeur et sa dimension.

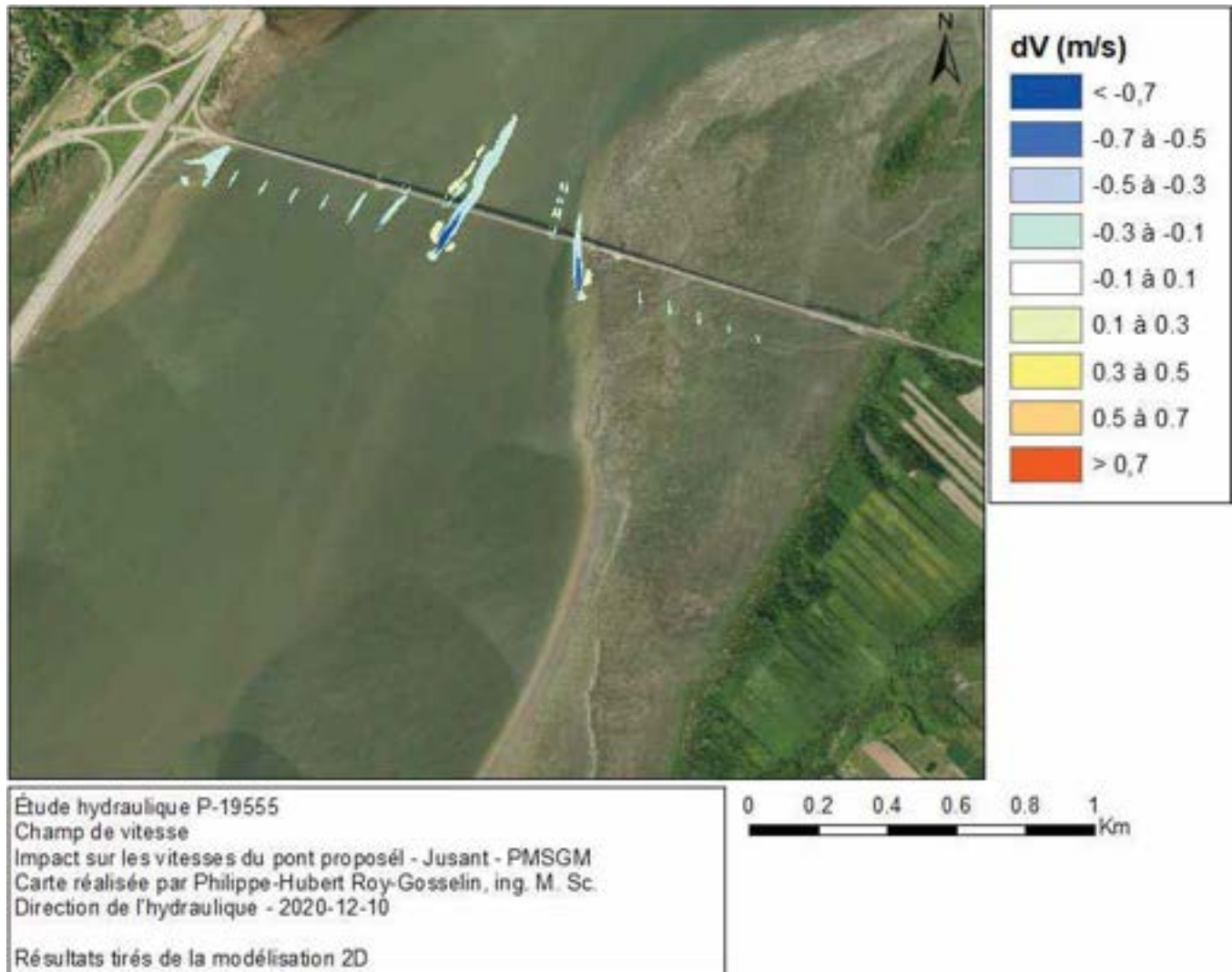


Figure 8-6 Différence dans les champs de vitesse au jusant pour la structure proposée, à la PMSGM

L'impact de la nouvelle structure sur l'écoulement au jusant est moins important et plus localisé qu'au flot. Le pylône nord reste l'élément qui perturbe le plus l'écoulement, mais cette perturbation est plutôt localisée. Il y a aussi une certaine interaction avec le pylône du pont actuel situé immédiatement en aval.

8.2 Vitesse maximale lors de la marée de conception – Pont proposé

Les profils de vitesse lors de la marée de conception ont été extraits au droit du pont proposé pour déterminer l'écoulement à chacune des unités de fondation. Ces profils sont présentés aux figures qui suivent.

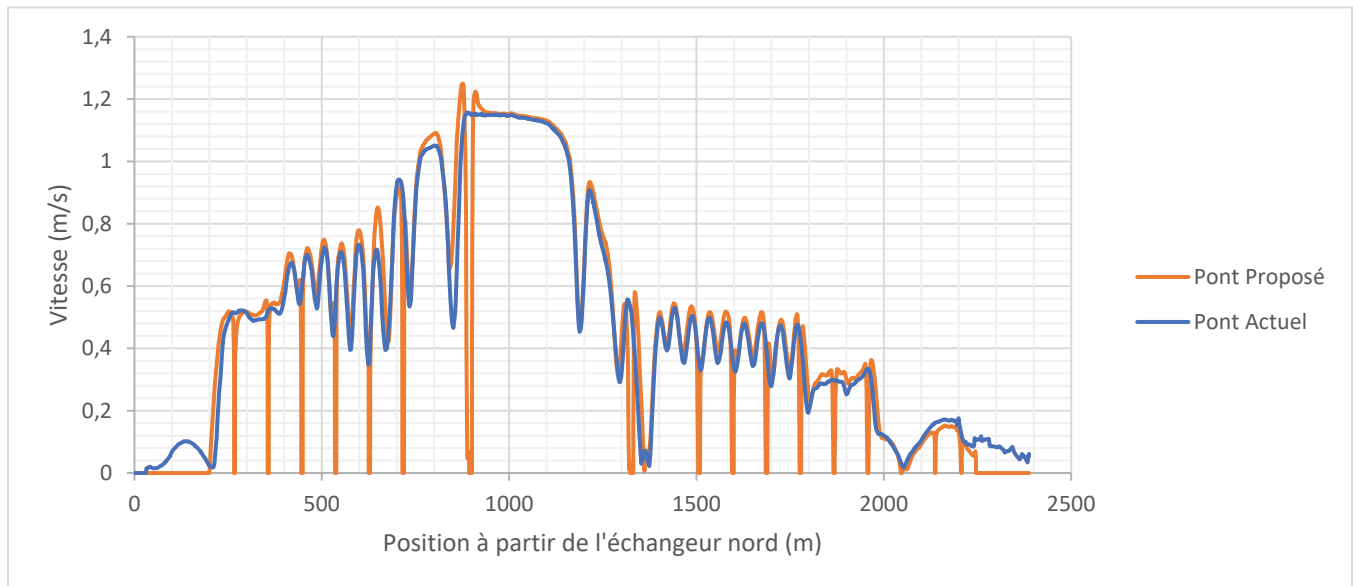


Figure 8-7 Profil de vitesse lors du flot, marée de conception, pont proposé

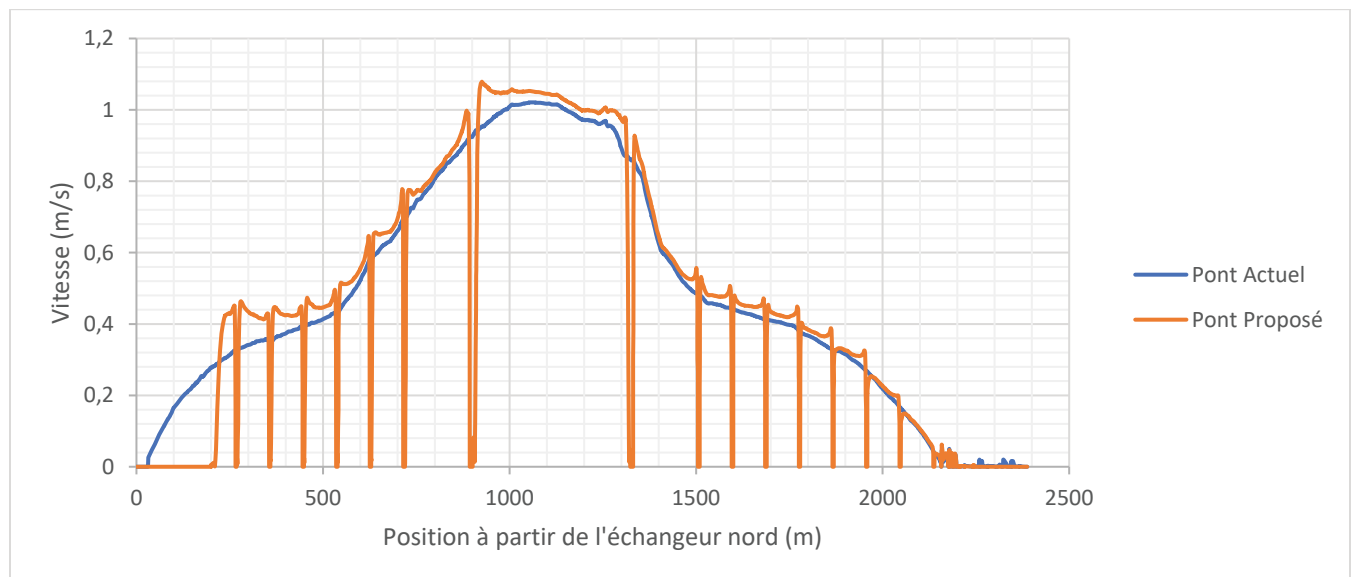


Figure 8-8 Profil de vitesse lors du jusant, marée de conception, pont proposé

Les nombreuses fluctuations dans le champ de vitesse au flot sont causées par le pont actuel.

Les vitesses évaluées lors d'une marée de conception sont un peu plus élevées que les vitesses maximales à la PMSGM. Cette augmentation des vitesses est de l'ordre de 0,1 à 0,2 m/s.

8.3 Sommaire des vitesses au pont proposé en présence des deux ponts

Les vitesses obtenues à la PMSGM sont atteintes plus régulièrement et sont une bonne indication des écoulements maximaux en conditions normales. Le tableau qui suit présente la différence entre l'état actuel et l'ajout du pont proposé au droit du pont proposé. Le pont actuel est toujours présent.

Tableau 8-1 Comparaison des vitesses maximales modélisées au droit du pont proposé par rapport à la situation actuelle pour différents groupes d'éléments de fondation – PMSGM

Éléments de fondation du pont proposé (Numéro)	Vitesse au flot Actuel (m/s)	Vitesse au flot Proposé (m/s)	Vitesse au jusant Actuel (m/s)	Vitesse au jusant Proposé (m/s)
A2 à A5	0,7	0,7	0,4	0,4
A6 et A7	0,9	0,9	0,7	0,7
P8 (Pylône Nord)	1,1	1,2	0,9	1,0
P9 (Pylône Sud)	0,5	0,6	0,8	0,8
A10 à A18	0,5	0,5	0,3	0,4

Les augmentations locales de vitesses par rapport à la situation actuelle sont très faibles, entre 0,0 et 0,1 m/s.

Le tableau qui suit présente les vitesses pour la marée de conception au pont proposé.

Tableau 8-2 Vitesses maximales modélisées au droit du pont proposé pour différents groupes d'éléments de fondation – Marée de conception

Éléments de fondation du pont proposé (Numéro)	Vitesse maximale au flot Conception (m/s)	Vitesse maximale au jusant Conception (m/s)
A2 à A5	0,8	0,6
A6 et A7	0,9	0,9
P8 (Pylône Nord)	1,3	1,0
P9 (Pylône Sud)	0,6	1,0
A10 à A18	0,5	0,6

Les valeurs indiquées en gras sont celles retenues pour la conception du pont proposé.

9 MODÉLISATION DES OUVRAGES TEMPORAIRES PROPOSÉS

Les ouvrages les plus susceptibles d'affecter l'écoulement lors de la reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans sont les ouvrages temporaires. Ces ouvrages couvrent une part plus importante des battures que les ouvrages permanents. Les ouvrages ont donc été modélisés en conditions de PMSGM pour évaluer leur impact pour les cas de marnage plus réguliers et pour comparer les écoulements à ceux en présence de la structure actuelle uniquement. Les ouvrages ont aussi été modélisés de manière à évaluer s'ils pouvaient causer des rehaussements du niveau des eaux en marée de conception. Cette vérification est importante pour s'assurer que les ouvrages ne causeront pas d'inondation. Finalement, des cartes de la profondeur maximale et minimale pour la PMSGM sont aussi produites pour aider les concepteurs du pont dans le choix des méthodes de construction. **Pour ces modélisations des ouvrages temporaires, le pont actuel, le pont proposé et les ouvrages temporaires sont considérés comme étant dans l'eau simultanément.**

9.1 Modélisation des vitesses d'écoulement

Les courants s'inversant dans le chenal, les vitesses ont été prises à deux endroits, soit à 60 m à l'amont des ouvrages temporaires (en direction de Québec) et à mi-chemin entre les ouvrages temporaires et le pont actuel.

9.1.1 Vitesse au flot à la PMSGM

Lors du flot, les ouvrages temporaires dirigent l'écoulement provenant de l'aval entre les jetées et concentrent le courant au centre du chenal en direction de Québec. Les figures qui suivent permettent de comparer les vitesses actuelles aux vitesses en présence des ouvrages temporaires.

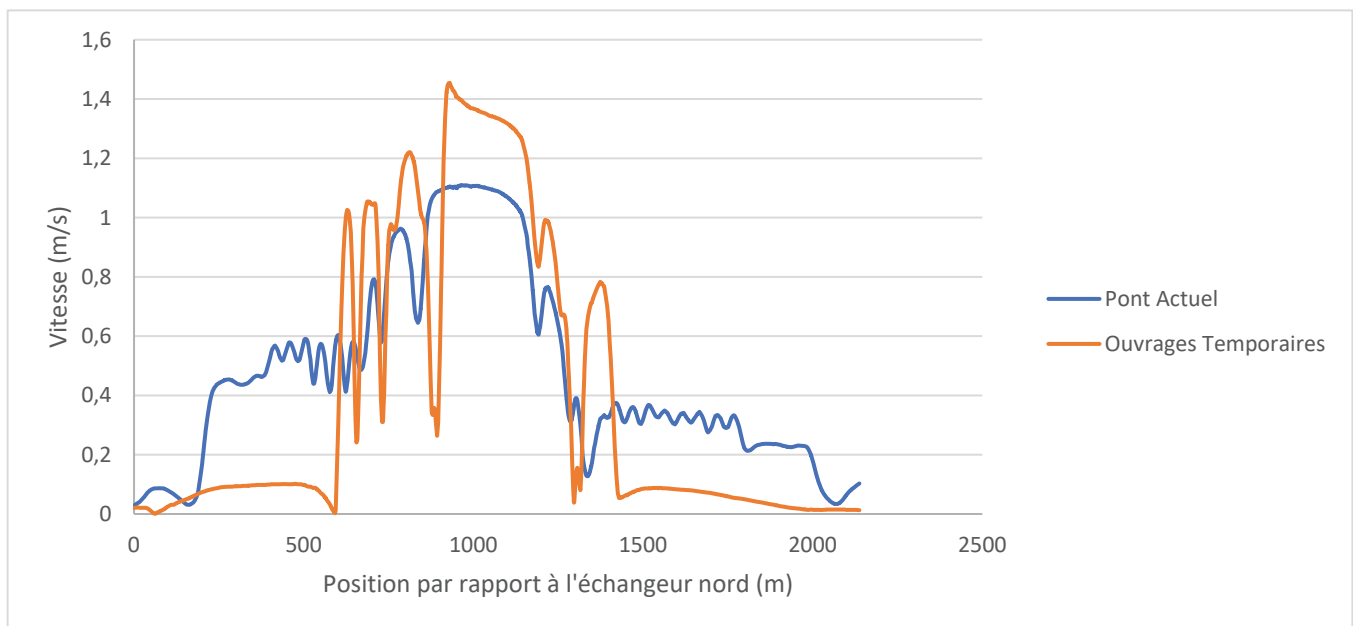


Figure 9-1 Profils de vitesse au flot à la PMSGM, à 60 m en amont des jetées

Comme prévu, le côté ouest des jetées est abrité des courants et ceux-ci sont presque totalement éliminés. L'écoulement se concentre dans le chenal.

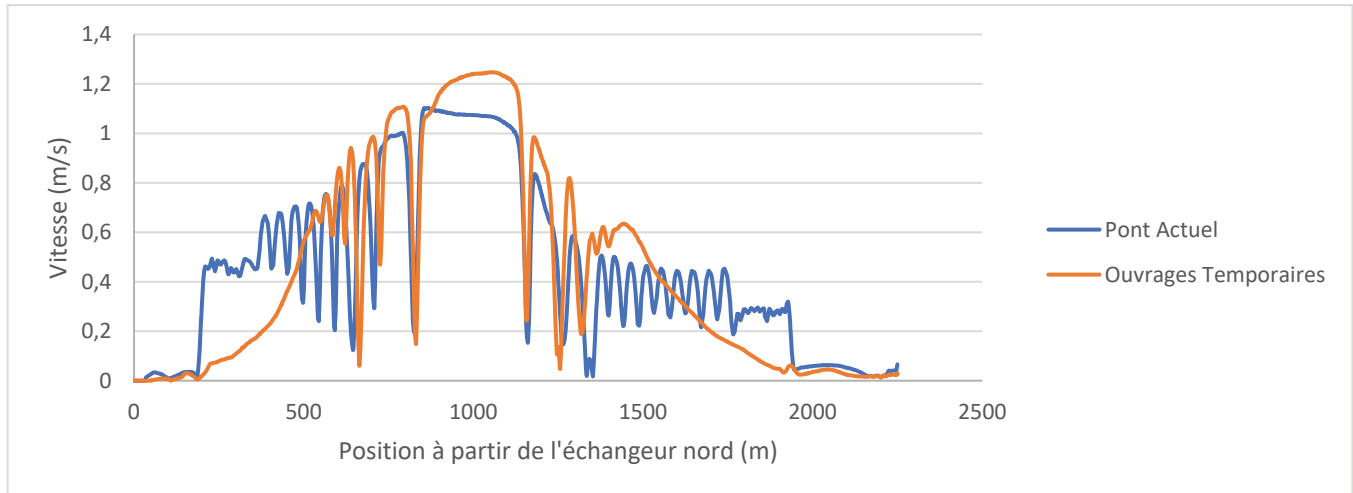


Figure 9-2 Profils de vitesse au flot à la PMSGM, entre les deux tracés (± 60 m en amont de l'actuel)

Les vitesses restent plus fortes à l'est des jetées lors du flot. Ce qui change, c'est surtout l'orientation de l'écoulement. Au lieu d'être parallèle au chenal, l'écoulement en berges est redirigé vers le centre du chenal. La figure qui suit est un croquis des vitesses et des vecteurs d'orientation de l'écoulement.

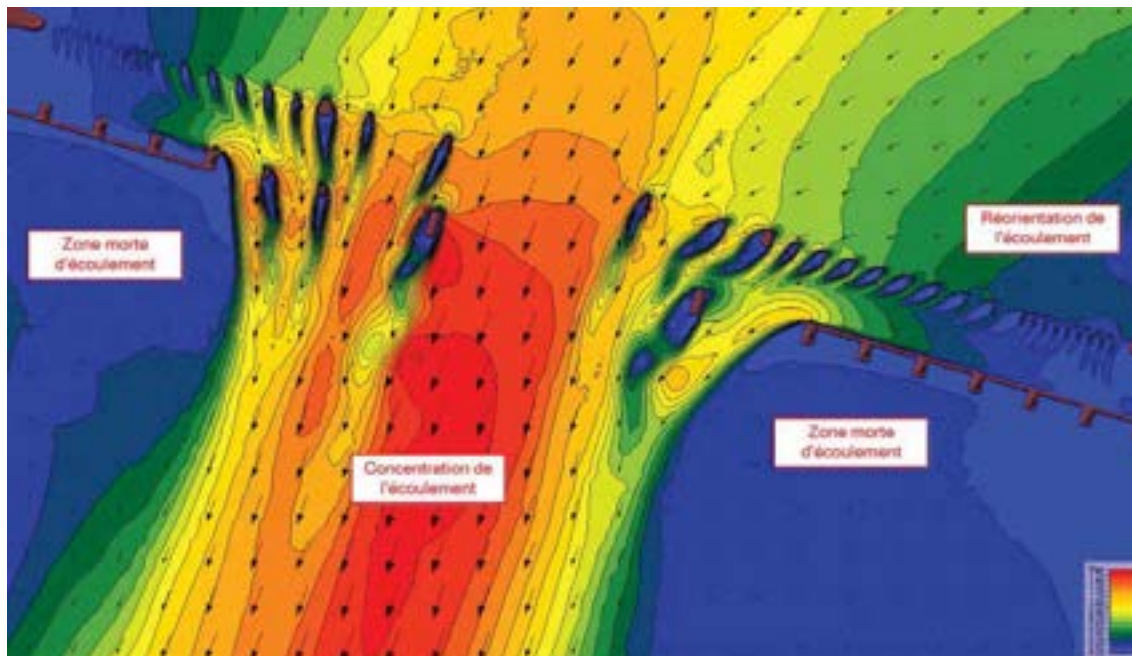


Figure 9-3 Croquis des vecteurs indiquant les directions d'écoulement – Flot, PMSGM et ouvrages temporaires

9.1.2 Vitesse au jusant à la PMSGM

Au jusant, les phénomènes du flot sont inversés. La zone protégée de l'écoulement est la zone à l'aval de la jetée.

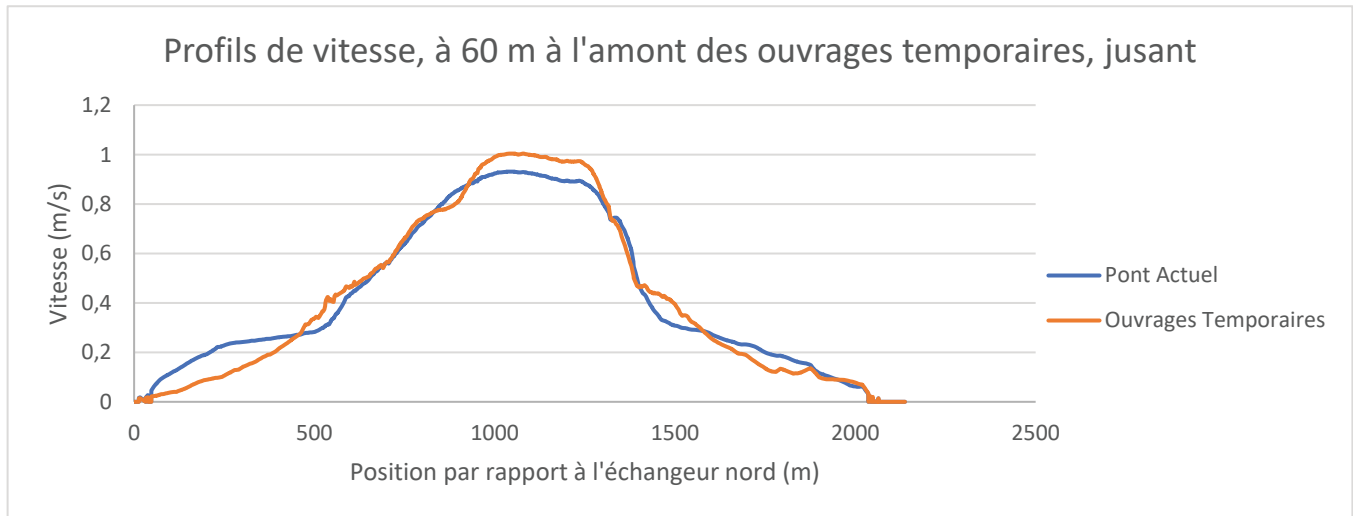


Figure 9-4 Profils de vitesse au jusant, à 60 m en amont des jetées à la PMSGM

L'impact sur l'écoulement du côté de Québec est relativement limité en matière de vitesse. C'est l'orientation qui varie sur les berges.

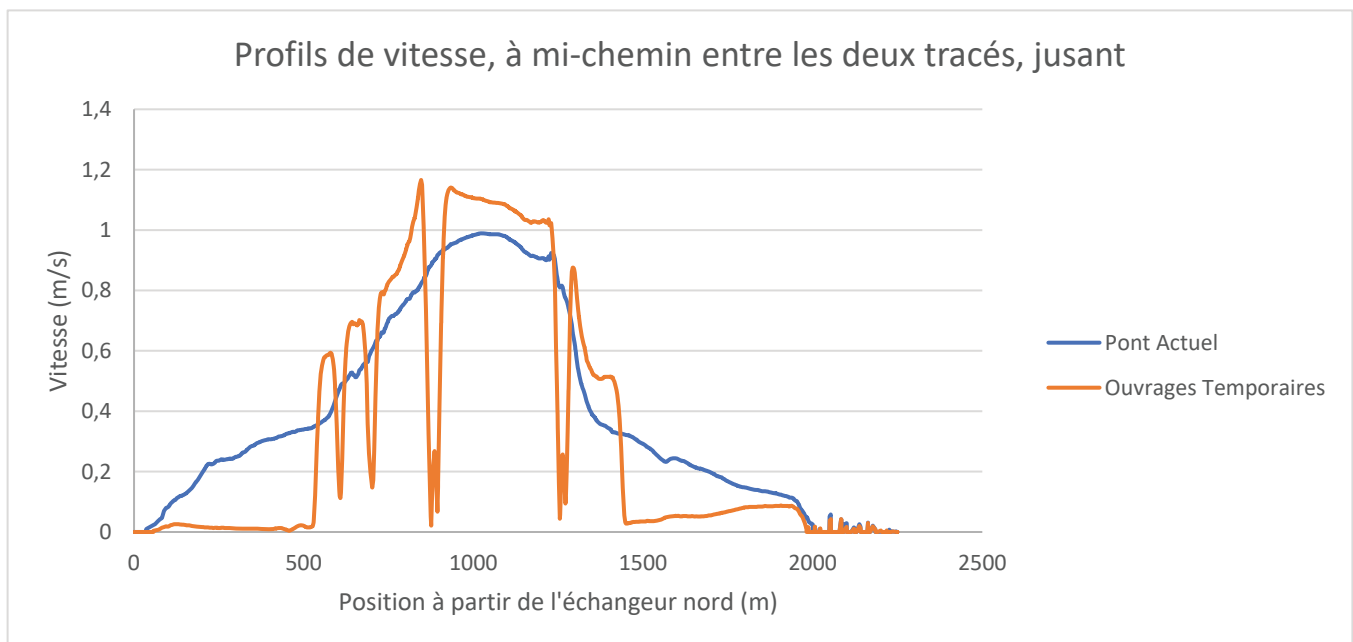


Figure 9-5 Profils de vitesse au jusant, entre les deux tracés (± 60 m en amont de l'actuel) à la PMSGM

Entre les deux tracés, on observe davantage un important abattement des vitesses d'écoulement à l'arrière des jetées. La concentration de l'écoulement au centre du cours d'eau provoque aussi une augmentation des vitesses.

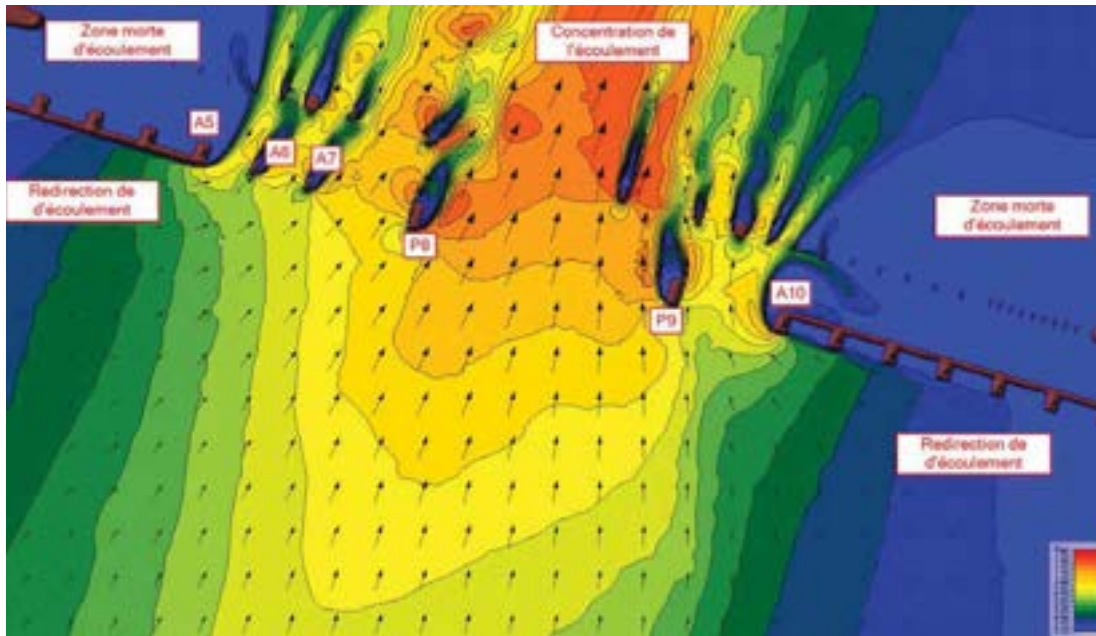


Figure 9-6 Croquis des vecteurs indiquant les directions d'écoulement – Jusant, PMSGM et ouvrages temporaires

9.2 Niveau d'eau lors de la construction

9.2.1 Profondeur d'eau

La profondeur d'eau a été évaluée à l'aide du modèle autour de différents éléments de fondation, tant pour la profondeur minimale (BMIGM) que pour la profondeur maximale (PMSGM), en présence des ouvrages temporaires.

Tableau 9-1 Profondeur d'eau pour différents éléments de fondation du pont proposé lors de la construction

Élément de fondation	A5	A6	A7	P8	P9	A10
Profondeur maximale (m)	6,05	6,35	7,05	15,75	7,05	5,25
Profondeur minimale (m)	0,00	0,10	0,70	9,35	0,70	0,00

9.2.2 Rehaussement des eaux

Le niveau des eaux a été évalué à 125 m en amont du pont proposé et à 125 m en aval du pont actuel. L'évaluation a été faite pour le pont actuel et en présence des ouvrages temporaires. L'objectif est de constater quel rehaussement les ouvrages temporaires causent. La marée utilisée est la marée de conception.

Tableau 9-2 Niveaux d'eau à l'amont et à l'aval des jetées temporaires lors de la marée de conception

Emplacement	125 m aval nord	125 m aval sud	125 m amont nord	125 m amont sud
Élévation pont actuel (m)	5,10	5,08	5,08	5,07
Élévation ouvrages temporaires (m)	5,12	5,10	5,06	5,06

Les niveaux maximaux se produisent durant le flot. Il est donc normal que les jetées rehaussent les niveaux du côté est (aval) et qu'elles les abaissent sur les berges du côté ouest (amont). La variation reste cependant très faible, largement dans les marges d'imprécision du modèle. Cette variation plutôt négligeable est en accord avec les résultats de la modélisation passée de GCL qui avait considéré des solutions de jetées à cet endroit. C'est aussi un résultat attendu étant donné que les jetées sont concentrées sur les battures dans la zone intertidale, laissant le chenal principal libre. De plus, une part majeure de l'écoulement dans le secteur transite par le chenal sud de l'île d'Orléans. Finalement, le système à l'étude est contrôlé par les marées et les vitesses d'écoulement sont faibles, ce qui diminue les impacts sur les niveaux d'une contraction de l'écoulement.

Il n'y a donc pas de risque d'inondation supplémentaire en lien avec la présence des jetées.

9.3 Recherche d'effets cumulatifs avec le terminal projeté de Beauport

Les impacts du pont proposé sont minimes lorsqu'on s'en éloigne. La situation dans laquelle un impact cumulatif aurait le plus de chances de survenir est une combinaison entre le terminal et les ouvrages temporaires nécessaires à la construction du pont. Dans un premier cas modélisé, le pont et les ouvrages temporaires sont présents. Dans le second cas, le terminal projeté est ajouté.

Les champs de vitesse ont été comparés à 500 m en amont du pont proposé et jusqu'à 500 m en aval du pont actuel. Les écarts sont de 0,01 m/s et moins en tout point dans cette zone. Les écarts de plus de 0,01 m/s cessent à partir de 2,5 km en amont du pont proposé, soit près de la pointe de l'île d'Orléans.

Ce résultat était attendu étant donné les résultats présentés aux études hydrauliques pour le projet Laurentia qui prévoyaient des impacts plutôt locaux s'estompant majoritairement avant d'arriver à l'île d'Orléans. Aucun effet cumulatif significatif à proximité du pont projeté n'est donc à prévoir advenant une réalisation des deux projets.

10 COMPORTEMENT DES GLACES

10.1 Aperçu du régime des glaces

Le chenal du fleuve Saint-Laurent au nord de l'île d'Orléans est caractérisé par la formation d'un couvert de glace solide qui reste souvent en place tout au long de l'hiver, mais qui s'ouvre aussi parfois en cours d'hiver. La glace se forme graduellement à partir des rives. Au printemps, un chenal s'ouvre au centre et les glaces accrochées aux rives fondent et se brisent ensuite (voir figure suivante). Le couvert cède lorsque les températures commencent à se réchauffer. En climat futur, il est attendu que le couvert de glace se forme plus tard, qu'il soit de moins en moins stable au cours de l'hiver et qu'il cède plus rapidement au printemps. Les épaisseurs de glace en climat futur seront également moins importantes; les forces seront donc diminuées, mais elles s'appliqueront à des élévations plus hautes en considérant le rehaussement du niveau des mers.



Figure 10-1 Chenal s'ouvrant au centre et glace accrochée aux rives
(Photo de Jean Yves Rancourt, SSG – 2011-03-29)

10.2 Enquête sur le terrain du 21 mars 2019

Comme mentionné à la section 2.8.1, une enquête sur le terrain a été réalisée en fin d'hiver 2019. Les constats suivants ont été faits :

- Aux abords de la baie de Beauport :
 - Le couvert de glace présente de nombreuses fissures. Plusieurs de ces fissures sont dues au mouvement du couvert de glace sous l'influence des marées. Par endroits, le couvert se retrouve en partie soulevé le long de ces fissures sous la pression horizontale exercée par le couvert. Ces soulèvements peuvent prendre la forme de monticules de glace ou de plaques;
- Aux abords du boulevard Sainte-Anne à Boischatel :
 - Un couvert stable et assez régulier se forme dans ce secteur. Des cabanes de pêcheurs sur glace s'y trouvent;
- Le long des travées d'approche et sous le pont dans la portion sud :
 - Sous l'effet des marées, le couvert de glace subit des mouvements verticaux. À la jonction des piles, le couvert reste fixé à la pile, alors qu'en périphérie, le couvert bouge. Cela induit des fractures dans le couvert de façon concentrique et la formation de cônes de glace à marée basse. Le couvert montrait des signes de flexion autour des éléments de fondation (figure 10-6);
 - Dans les zones peu profondes, le couvert de glace est appuyé sur le fond à marée basse;
 - Des monticules de glace sont visibles par endroits et sont associés à la présence de pierres de dimensions importantes sous le couvert de glace. L'enquête terrain complémentaire de novembre 2020, présentée à la section 2.8.2, en montre un exemple;
- À la pointe de Sainte-Pétronille :
 - La glace de rive à l'extrême ouest de l'île (là où il ne se forme pas de couvert fixe) peut atteindre des épaisseurs importantes. Lors de la visite, la hauteur des glaces était d'environ 2,5 m;
 - La glace de rive à l'extrême ouest de l'île, mais du côté du chenal de l'Île d'Orléans, y montre une épaisseur similaire à celle observée près du pont de l'île.

Les figures suivantes illustrent ces diverses observations.



Figure 10-2 Couvert de glace aux abords de la baie de Beauport le 21 mars 2019



Figure 10-3 Couvert de glace aux abords de la baie de Beauport le 21 mars 2019



Figure 10-4 Couvert de glace à l'extrémité sud-ouest du pont le 21 mars 2019



Figure 10-5 Couvert de glace à l'extrémité sud-ouest du pont le 21 mars 2019



Figure 10-6 Couvert de glace à l'extrémité sud-ouest du pont le 21 mars 2019 – Interaction pile/glace



Figure 10-7 Couvert de glace, côté amont, le long de l'île d'Orléans, le 21 mars 2019



Figure 10-8 Extrême ouest de l'île – Limite entre le couvert stable et l'écoulement libre le 21 mars 2019



Figure 10-9 Extrême ouest de l'île – Glace de rive à l'endroit où il n'y a pas de couvert stable, le 21 mars 2019

10.3 Caméras d'observations des glaces

Comme mentionné à la section 2.2.3, des caméras ont été installées sur le pont au cours des mois de janvier et février des hivers 2018-2019 et 2019-2020. La formation du couvert de glace n'a donc pas été observée, mais son comportement au cours de l'hiver ainsi que sa débâcle l'ont été.

Quelques exemples d'images acquises sont montrés ci-dessous. Des photographies supplémentaires sont disponibles à l'annexe B. Les informations suivantes en ont été tirées.

Le couvert de glace stable bouge au fil des marées. À proximité des piliers, la glace reste accrochée aux piles. Avec le mouvement vertical, des fissures se développent de façon concentrique autour des piles. Ces fissures se remplissent d'eau à marée haute et le monticule de glace accroché à la pile tend à prendre de l'ampleur. Il a également été observé (comme montré à la figure 10-10, à l'extrémité droite du pilier de la première ligne) que le couvert peut aussi en partie glisser de façon verticale contre la masse de glace accumulée sur la paroi du pilier, bien que ce ne soit pas le type de mouvement le plus fréquent.

Le couvert de glace peut s'ouvrir ou ne pas être totalement fermé à la fin janvier. Il se ferme à la suite de la formation de nouvelle glace ou de l'accumulation de plaques de glace qui se soudent les unes aux autres.

Le couvert de glace s'amincit graduellement lorsque les températures se réchauffent. Des fissures apparaissent aussi dans le couvert. Le bris du couvert se fait en premier au centre du chenal (voir la figure 10-11). La glace devenue très mince se brise alors en plaques. Le chenal s'élargit ensuite lorsque le couvert à sa périphérie continue à se briser. Ce recul peut se faire graduellement, mais également assez subitement lorsque le couvert est très fragilisé. Lors d'un bris subit, une concentration importante de plaques de glace chemine dans le chenal.

À la suite de l'ouverture du chenal, quelques jours suffisent pour qu'il s'élargisse de façon significative. Les glaces en rive et dans les zones peu profondes restent pendant quelques jours encore, en reculant généralement de façon graduelle au fil des jours et des marées.



Figure 10-10 Mouvements du couvert de glace autour des piles

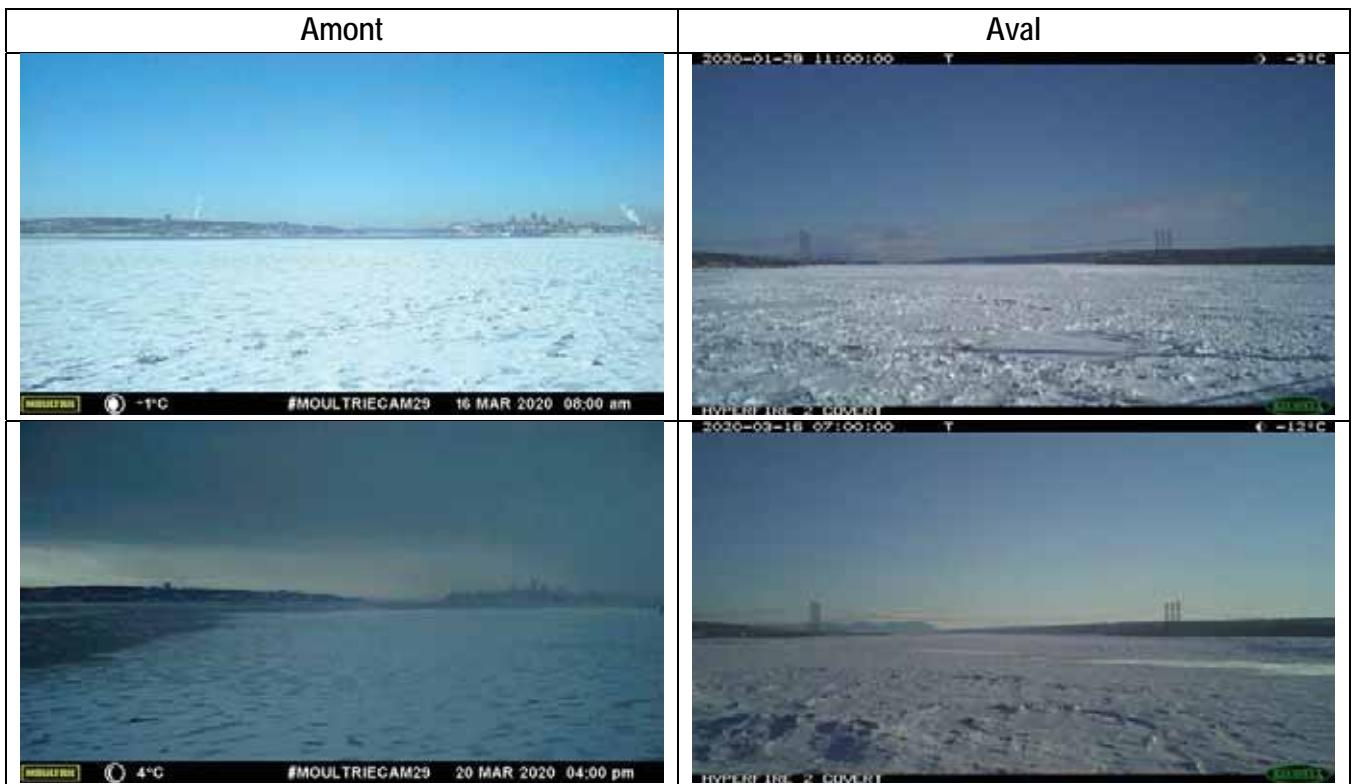


Figure 10-11 Couvert stable et son ouverture à la fin de l'hiver

10.4 Analyse des cartes des glaces

Cette section montre graphiquement les résultats de l'analyse des cartes d'observation des glaces distribuées par la Garde côtière et produites par le Service canadien des glaces d'ECSC. Les cartes pour les hivers 2004-2005 à 2019-2020 ont été analysées. Des dates significatives pour la caractérisation du couvert de glace en ont été extraites.

Comme la formation et le bris du couvert de glace peuvent présenter des différences d'une année à l'autre, certains critères ont été retenus pour tenter de standardiser les choix. Ils sont ici détaillés :

- Date de la première carte produite :
 - La date, pour chaque saison hivernale, à laquelle la première carte a été produite par le Service canadien des glaces. Les glaces de rives peuvent apparaître avant la production de la première carte;
- Date d'apparition de la glace de rive :
 - Il s'agit de la date à laquelle la glace de rive est cartographiée, pour la première fois de la saison, dans le chenal de l'Île d'Orléans. Il est important de noter que dans certains cas, la glace de rive apparaît avant la production de la première carte. Dans ces cas, la date indiquée est la même que la date de la première carte produite;
- Date d'englacement complet au droit du pont :
 - Cette date correspond à l'apparition d'un couvert fixe à l'endroit du pont actuel, à la largeur du chenal de l'Île d'Orléans. Cela n'indique pas que le chenal de l'Île d'Orléans au complet a un couvert de glace;
- Date d'ouverture du chenal principal :
 - La date notée correspond à celle où il n'y a plus de couvert stable sur toute la largeur du chenal de l'Île d'Orléans à la hauteur du pont actuel. Le couvert peut avoir commencé à ouvrir ou céder ailleurs dans le chenal de l'Île d'Orléans avant, sans que cette date ne soit notée. Le couvert peut aussi présenter seulement une ouverture à la hauteur du pont, sans que l'ouverture soit importante ailleurs; il n'y a donc pas encore un mouvement important des glaces, mais la date est tout de même notée. S'il y a eu plusieurs ouvertures/fermetures du couvert de glace au cours de l'hiver (2011-2012, 2012-2013, 2016-2017, 2019-2020), seule la date de l'ouverture finale à la fin de l'hiver est ici notée. Le couvert peut conserver une bonne étendue sur les rives pendant quelques jours subséquents;

- Date du retrait complet des glaces :
 - L'idée ici était de présenter le moment où il n'y a plus aucune glace, que ce soit des blocs ou des glaces de rive. Des cartes montrant cet état ne sont disponibles que deux années. Pour toutes les autres années, la dernière carte produite présente toujours des glaces de rive. Les statistiques sur ce point ne sont donc pas représentatives;
- Date de la dernière carte produite :
 - C'est la date de la dernière carte produite. À l'exception de deux années, elles montrent encore des glaces de rive. Il est donc difficile, à partir de ces cartes, de déterminer la date à laquelle il ne reste plus du tout de glace.

La figure suivante montre les résultats de l'analyse. Les lignes en rouge indiquent le nombre d'occurrences pour lequel l'événement en question s'est produit à cette date. La zone dont l'arrière-plan est bleu foncé est la date moyenne d'occurrence. La zone en bleu moyen se situe à un écart-type autour de la moyenne. La zone bleu pâle se situe à deux écarts-types de la moyenne.

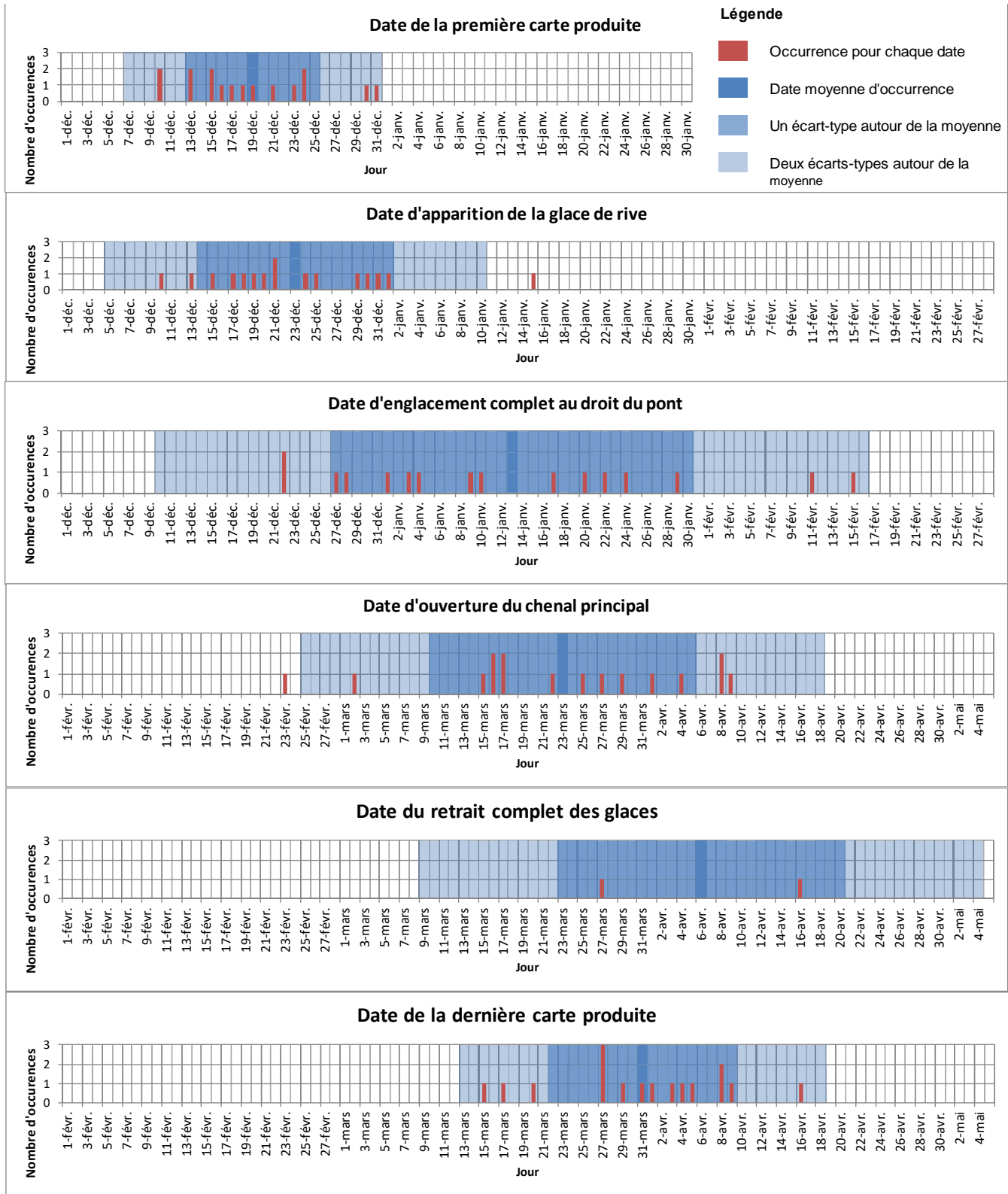


Figure 10-12 Dates significatives extraites de l'analyse des cartes d'observation des glaces

Depuis 2004, quatre hivers ont été marqués par la déstabilisation du couvert de glace au cours de l'hiver (4/16 années). L'hiver 2016-2017 est en un bon exemple. Des extraits des cartes sont montrés à la figure suivante. Un couvert stable de glace est représenté par le gris. Toute autre couleur indique que les glaces sont mobiles.

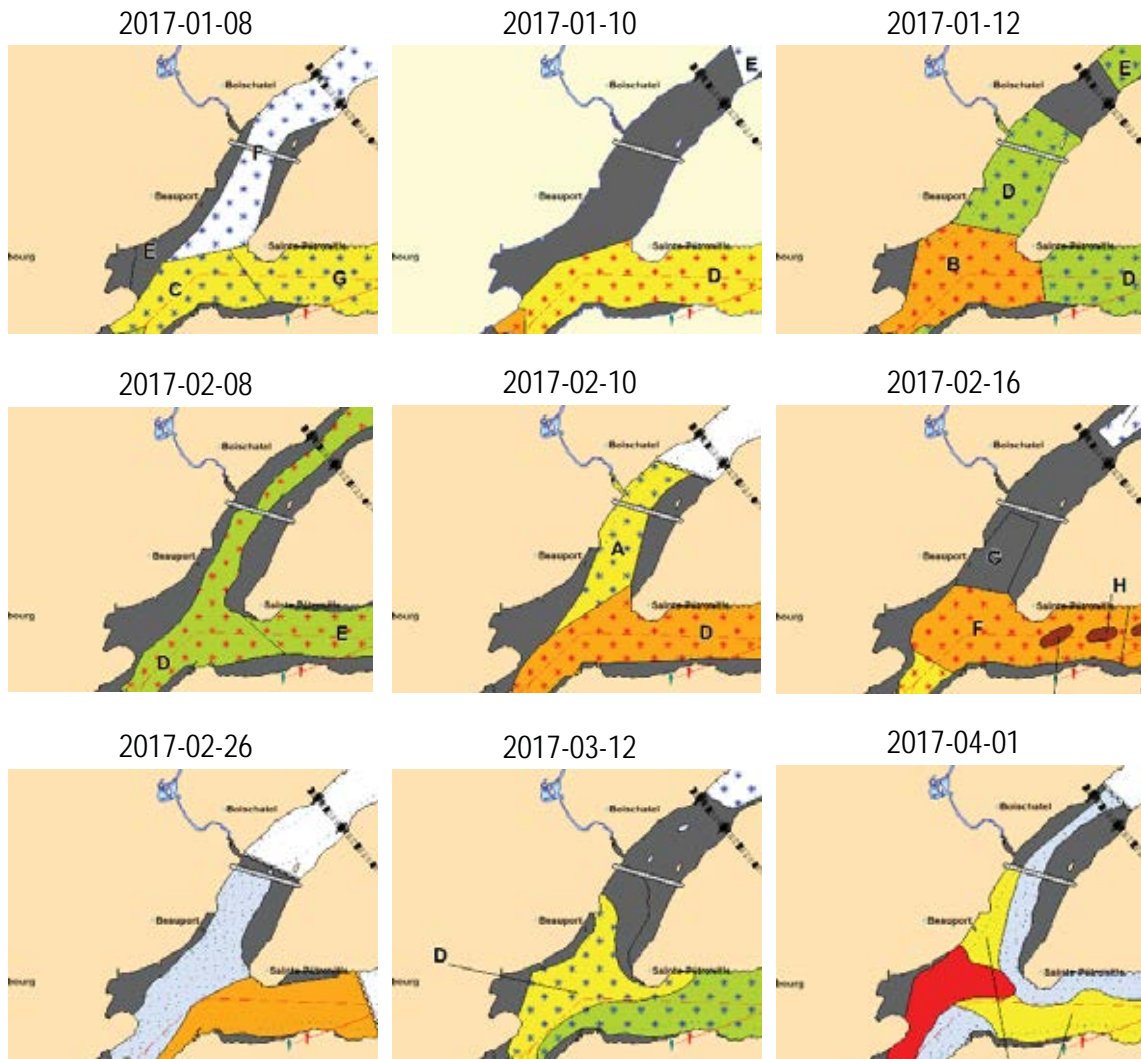


Figure 10-13 Extraits de cartes d'observation des glaces de l'hiver 2016-2017

10.5 Imagerie satellitaire

Des images provenant de satellites ont également été consultées. Les images L1C du satellite Sentinel-2 ont été obtenues via l'application EO Browser (<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser>). Les images disponibles, sans un couvert nuageux trop important, se retrouvent à l'annexe B.

Ces images montrent bien que la glace de rive se forme généralement d'abord au cours du mois de décembre. Suit une période au cours de laquelle des assiettes de glace sont mobiles au centre du chenal de l'Île d'Orléans. Les glaces de rives progressent ensuite, laissant un chenal de plus en plus petit dans lequel des assiettes de glace circulent toujours. Puis, le chenal se ferme complètement. Il arrive que le couvert de glace s'ouvre et se referme au cours de l'hiver. Puis, au printemps, le chenal s'ouvre généralement d'abord au centre et les glaces de rive persistent pendant quelques jours.

10.6 Données d'épaisseur de glace disponibles

Des données d'épaisseur de glace ont été fournies par la Garde côtière en avril 2017. Sur la banquise côtière en face de Beauport (position $\approx 46.85^\circ \text{ N}$, 71.16° O), des mesures d'épaisseur ont été réalisées entre 1983 et 2016 à quelques reprises au cours de chaque hiver. Des mesures supplémentaires jusqu'en 2020 ont été extraites des cartes d'observation des glaces et ajoutées aux données originales. L'ensemble des données est présenté à l'annexe C.

Afin de faire l'analyse statistique des épaisseurs de glace, les données ont toutefois été filtrées. En effet, seules les années où des mesures ont été prises au cours du mois de mars ont été considérées et la valeur maximale lors de chaque année a alors été considérée. Le but était d'obtenir ainsi les épaisseurs maximales par année, les données des mois de janvier ou février ayant moins de probabilité de correspondre à une épaisseur maximale. Les données utilisées sont montrées au tableau suivant.

Tableau 10-1 Épaisseur de glace maximale par année à Beauport

Année	Épaisseur (cm)
1983	47
1984	50
1985	90
1986	72
1987	59
1988	77
1989	64
1990	77
1992	76
1993	65
1994	59
2001	95
2003	78
2005	120
2007	57
2009	90
2011	79
2012	72
2013	45
2015	80
2018	110
2019	60
2020	45

Une analyse statistique sur les épaisseurs de glace a été effectuée. La loi log-normale a été jugée la mieux ajustée. Les épaisseurs selon les diverses périodes de retour sont montrées au tableau suivant. Ces épaisseurs sont valides en climat actuel.

Tableau 10-2 Épaisseur de glace selon la période de retour en climat actuel

Période de retour	Épaisseur de glace (cm)
2 ans	70
5 ans	88
10 ans	99
25 ans	112
50 ans	122
100 ans	131

Le résultat obtenu pour la période de retour de 100 ans est semblable à la valeur de 125 cm obtenue par GCL en 2007.

10.7 Caractéristiques des glaces à considérer pour la conception (climat actuel)

Les épaisseurs obtenues de l'analyse statistique détaillée à la section précédente sont celles considérées pour déterminer les forces en climat actuel. L'épaisseur de glace moyenne annuelle calculée est de 0,72 m, alors que l'épaisseur associée à une période de retour de 10 ans est de 0,99 m et celle associée à une période de retour de 100 ans est de 1,31 m.

Une autre technique de calcul avait été évaluée. Celle-ci, souvent utilisée lorsque des données d'épaisseur de glace ne sont pas disponibles, considère l'équation de Stephan (équation 10.1) pour déterminer les épaisseurs de glace h (m). Elle utilise aussi les degrés-jours de gel cumulés au-dessous de 0 °C (DJGC) et un coefficient de transfert thermique (α).

$$h = 0,035 \alpha \sqrt{DJGC} \quad \text{Équation 10.1}$$

Le coefficient α a été déterminé à partir des épaisseurs de glace mesurées en fin d'hiver et des DJGC à la station météorologique de Lauzon (7024254), pour chaque mesure. Il en résulte un coefficient α pouvant varier entre 0,47 et 1,03. Étant donné la forte variabilité du paramètre α , l'analyse statistique des épaisseurs de glace mesurées a été considérée comme plus précise.

10.8 Caractéristiques des glaces à considérer pour la conception (climat futur)

Le Consortium Ouranos présente sur son site internet des portraits climatiques pour divers horizons et divers scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (<https://www.ouranos.ca/portraits-climatiques/#/>, consulté en mai 2020). Un autre rapport publié par Ouranos a également été consulté (Logan, T. (2016). *Portrait des changements climatiques pour les zones urbaines du Québec*. Montréal : Ouranos.).

Actuellement, les degrés-jours de gel à la station de Lauzon (et jugés représentatifs au site du pont de l'Île-d'Orléans) sont de 1120 degrés-jours. Cela correspond aux degrés-jours de gel pour une période de retour de 2 ans. En climat futur (RCP 8.5 et horizon 2070-2100), il est estimé que les degrés-jours de gel pour une période de retour de 2 ans pourraient être de 515 degrés-jours (valeur du 90e percentile des modèles). Les résultats publiés jusqu'à maintenant pour les différents scénarios de changements climatiques ne permettent pas d'aller au-delà de l'année 2100.

Afin de déterminer les épaisseurs de glace en conditions futures, les données actuelles du tableau 10-1, dont l'analyse statistique a permis de déterminer les épaisseurs de glace actuelles pour les différentes périodes de retour, ont été modifiées. L'équation 10-2, dans laquelle les DJGC_{actuels} sont de 1120 et ceux futurs sont de 515, montre le facteur d'ajustement considéré, adapté de l'équation de Stéphan. La série de données d'épaisseurs futures ainsi produite a ensuite fait l'objet d'une analyse statistique. Les épaisseurs futures obtenues pour les différentes périodes de retour sont montrées au tableau suivant.

$$h_{future} = h_{actuelle} \frac{\sqrt{DJGC_{futurs}}}{\sqrt{DJGC_{actuels}}} \quad \text{Équation 10.2}$$

Tableau 10-3 Épaisseur de glace selon la période de retour en climat futur

Période de retour	Épaisseur de glace (cm)
2 ans	47
5 ans	60
10 ans	67
25 ans	76
50 ans	83
100 ans	89

Il est important de souligner que les épaisseurs indiquées sont marquées d'une certaine incertitude. Elles dépendent des changements climatiques non seulement pour la rigueur des futurs hivers, mais ceux-ci pourraient également avoir un effet sur les coefficients de transferts thermiques. Les conditions actuelles de formation de la glace pourraient donc changer à divers niveaux.

10.9 Niveaux d'eau en présence de glace

Les élévations maximales de l'eau, en présence de glace, pour les différentes périodes de retour en climat actuel sont montrées au tableau suivant. En ce qui concerne les niveaux d'eau en climat futur, considérant le rehaussement relatif (rehaussement des mers moins rehaussement isostatique) total possible du niveau de la mer de 0,91 m d'ici 2127 dans un scénario d'émissions RCP 8.5, ils doivent aussi être rehaussés de 0,91 m. Ainsi, le niveau d'eau d'une période de retour de 100 ans pourrait atteindre d'ici 2127 une valeur de 6,02 m.

En ce qui concerne les élévations minimales de l'eau pour les différentes périodes de retour en climat actuel, elles sont aussi présentées au tableau 10-4.

Tableau 10-4 Élévation maximale et minimale de l'eau en présence de glace

Période de retour	Élévation maximale (m CDVG28)	Élévation minimale (m CDVG28)
2 ans	4,44	-2,37
5 ans	4,67	-2,47
10 ans	4,79	-2,54
20 ans	4,90	-2,64
25 ans	4,93	-2,74
50 ans	5,02	-2,85
100 ans	5,11	-2,94

Le niveau maximal enregistré à la station de Québec était de 5,03 m, soit entre un niveau de récurrence 50 ans et un niveau de récurrence 100 ans. Ce niveau a été atteint le 15 mars 2017, à une période où le transit des plaques de glace était important dans le secteur de Québec.

Le niveau le plus bas enregistré historiquement dans la période 1979-2018 à Québec est de -2,89 m au CGVD28, le 2 janvier 1999.

10.10 Normes à respecter

Le *Tome III – Ouvrages d'art* de notre ministère présente plusieurs éléments en lien avec les glaces à la section 2.1.3.2 B. Les extraits pertinents sont montrés ci-dessous, de même que les recommandations pour la structure P-19555 qui leur sont associées :

Disposition des piles :

« Lorsqu'une ou plusieurs piles sont construites dans le lit mineur d'un cours d'eau, leur espacement et leur localisation doivent tenir compte des exigences découlant de la Loi sur la protection des eaux navigables, des contraintes liées à l'écoulement des glaces et des possibilités d'embâcles. En présence de glace, la distance minimale entre les piles doit être de six fois la dimension des plus grandes glaces transportées par le courant [...] »

Un espacement égal ou supérieur à l'espacement des piles actuelles est adéquat. Il n'est pas requis du point de vue hydraulique que les nouvelles piles soient alignées avec les piles de la structure existante.

Forme de l'avant-bec :

« L'avant-bec d'une pile doit avoir une forme triangulaire, ogivale ou semi-circulaire lorsque le courant ou le transport des glaces est important. L'avant-bec doit être incliné selon une pente de 4V:1H lorsque les glaces dérivantes sont de grandes dimensions. La pose d'une plaque de recouvrement en acier de 10 mm d'épaisseur sur l'avant-bec d'une pile doit être prévue lorsque le transport des glaces est important. »

La géométrie proposée pour les piles et pylônes est adéquate puisqu'elle présente un avant-bec, autant du côté amont que du côté aval, dont la forme contribue à diminuer les forces de glace. L'avant-bec est incliné : toutefois, les forces appliquées seront les mêmes que pour un avant-bec vertical puisque l'angle d'inclinaison est faible. Le béton utilisé devra être en mesure de résister à l'impact, à l'abrasion et aux sollicitations verticales sous le mouvement du couvert dû aux marées. En raison des variations importantes de niveaux d'eau en présence de la marée, les glaces peuvent entrer en contact avec les piles entre les élévations -4,15 et 6,10 m. Il ne s'agit toutefois pas des élévations auxquelles les forces utilisées pour la conception s'appliquent; les points d'application des forces sont définis à la section 10.13.1. Également, avec l'inclinaison de l'avant-bec, il pourrait arriver que les glaces soient poussées vers le haut, sur l'avant-bec, et elles atteindraient alors une élévation supérieure. Cette possibilité devra être considérée et évaluée par les concepteurs de la structure.

Le Code canadien sur les ponts routiers (CSA S6-19) présente pour sa part les forces de glace à considérer et les méthodes de calcul. Les trois types de force suivants sont à considérer :

- Forces dynamiques liées à l'impact de la glace sur les piles :
 - Pour une pile ayant un avant-bec vertical, la force calculée est la force à laquelle la glace cédera par écrasement. Ce sera ici le cas à considérer, selon les plans fournis à ce stade;
 - Pour une pile ayant un avant-bec incliné, la force à utiliser peut être réduite si la rupture de la glace se fait en flexion ou en transition flexion/écrasement;

- Forces statiques des glaces dues à l'expansion thermique, lorsqu'un couvert de glace est présent d'un côté d'une pile, mais absent de l'autre;
- Forces verticales dues à l'adhérence des glaces, lorsqu'une masse de glace adhérant à une pile subit des mouvements verticaux liés à des variations de niveaux d'eau (marée).

En ce qui concerne les forces d'impact, pour une pile non circulaire parallèle à l'écoulement, deux cas de chargement sont à considérer, comme montrés à la figure suivante. Ils découlent chacun en une combinaison différente de forces longitudinales et transversales. Si les piles ne sont pas parallèles à l'écoulement, des forces transversales plus importantes doivent être considérées. Ce cas de chargement est montré à la figure 10-15.

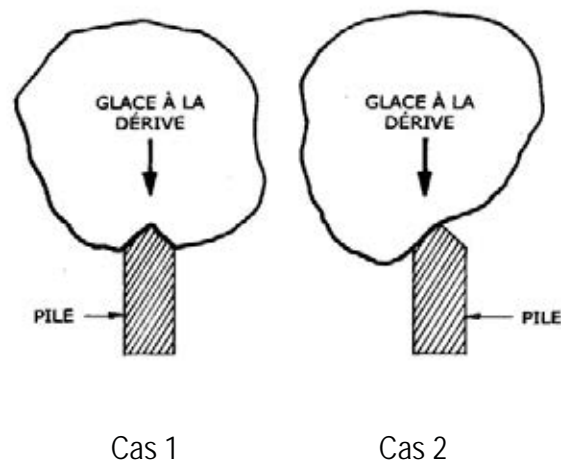


Figure 10-14 Cas de chargement possibles pour des piles parallèles à l'écoulement

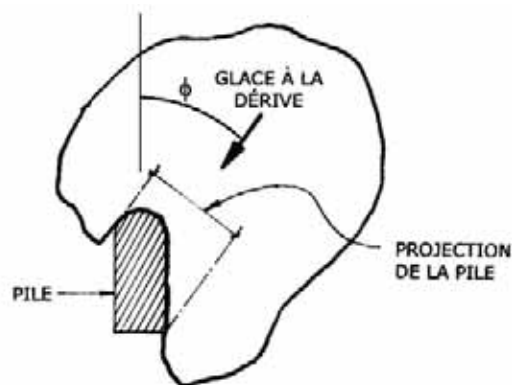


Figure 10-15 Cas de chargement pour des piles non circulaires, non parallèles à l'écoulement

10.11 Angles d'écoulement

Les angles d'écoulement, et donc l'angle d'impact des glaces, varient selon le moment du cycle de la marée. Les figures suivantes proviennent du modèle hydraulique, afin de montrer quelques cas types. Le pont actuel et le pont proposé s'y trouvent. Les angles pourraient varier un peu en l'absence de l'ancien pont, notamment si des jetées sont retirées. Celles-ci ont un effet important sur l'angle d'écoulement à leur proximité. Il faut aussi souligner que l'écoulement n'est pas parfaitement parallèle pour la plupart des piles et que la direction de l'angle d'écoulement peut varier dans le temps et aux différents éléments de fondation. De façon générale, les angles peuvent atteindre entre 10 et 25° près du chenal principal du fleuve et augmentent à l'approche des rives, selon la hauteur de la marée et les jetées. Ils peuvent alors, à certains moments, atteindre près de 55°.

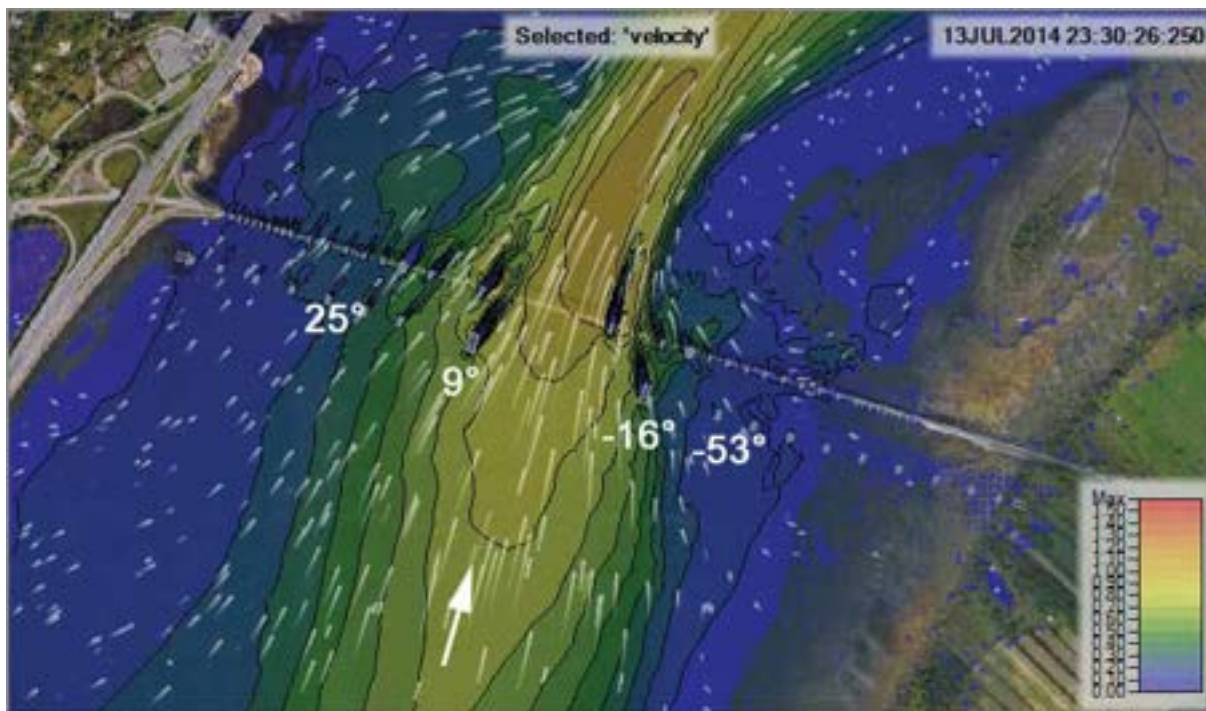


Figure 10-16 Angles possibles de l'écoulement au jusant

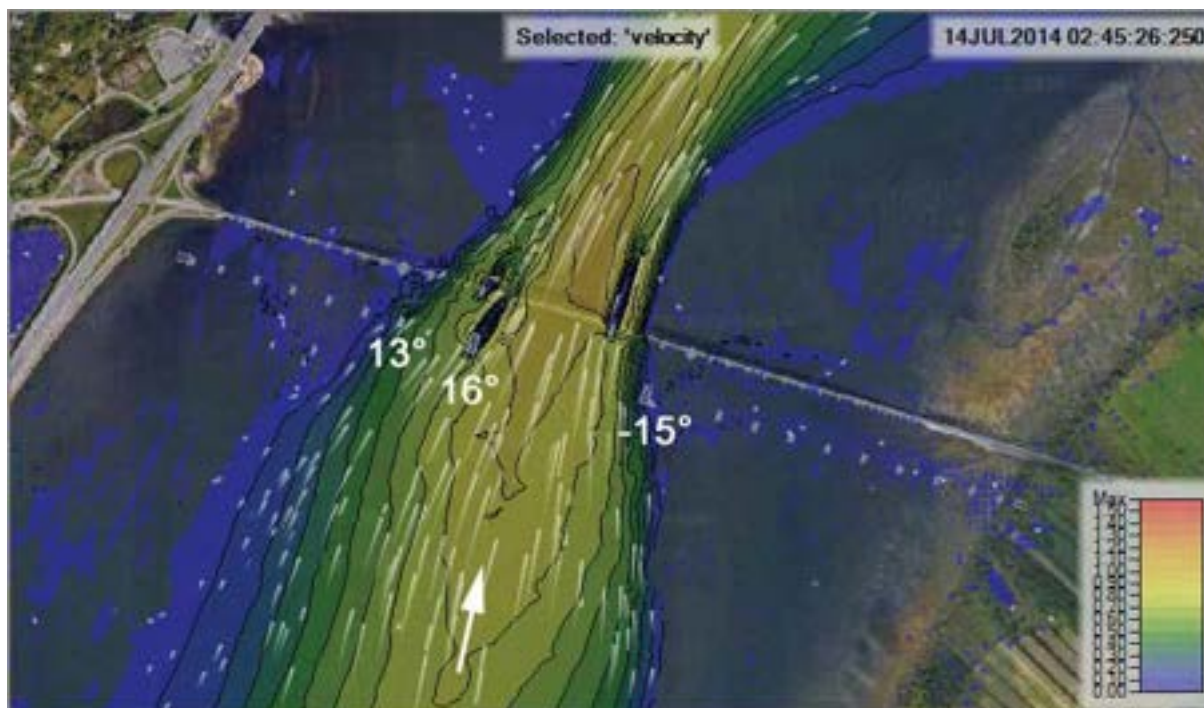


Figure 10-17 Angles possibles de l'écoulement à l'étales basse

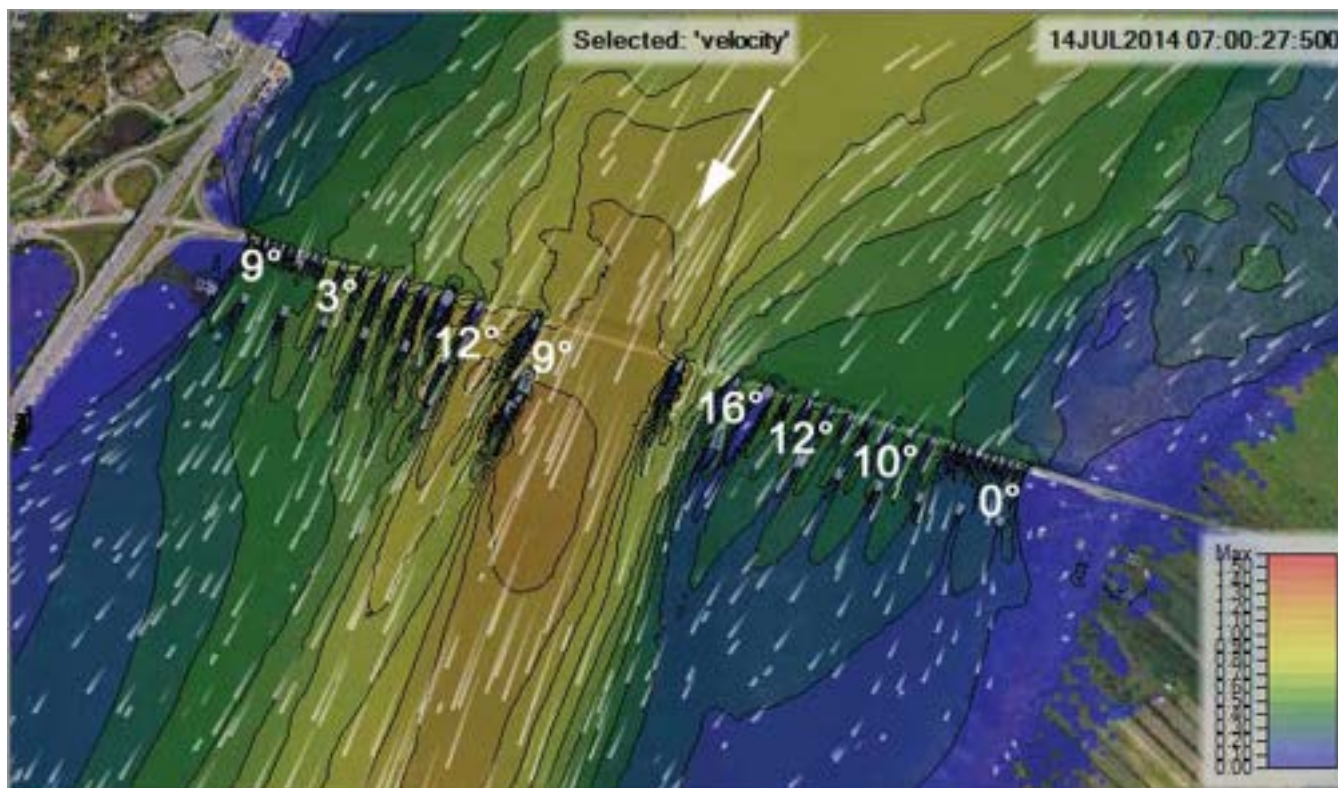


Figure 10-18 Angles possibles de l'écoulement au flot

10.12 Géométries complexes et conditions des glaces particulières

La norme CSA S6-19 fournit des indications pour les calculs de charges dues aux glaces pour des géométries de piles relativement simples et pour des comportements des glaces moins complexes que ceux prévus au pont de l'Île-d'Orléans. Il est recommandé que les concepteurs de la structure effectuent une analyse plus poussée des forces de glace en utilisant des modélisations physiques ou numériques dans le but d'optimiser les forces calculées. Les concepteurs pourront alors réviser les recommandations des sections 10.14 à 10.17 de ce rapport et de la section 3.12 de la norme CSA S6-19 à partir des résultats de ces modélisations. À titre préliminaire et dans l'éventualité où la procédure de la norme CSA S6-19 est choisie à titre final, les sections suivantes fournissent les données à considérer.

10.13 Forces de glace

La section 3.12 de la norme CSA S6-19 présente toutes les équations requises et détaille les considérations à prendre en compte. Ainsi, seuls les scénarios et autres lignes directrices à respecter sont ici présentés. Les cas appropriés de la section 10.10 devront être utilisés.

10.13.1 Scénarios à considérer

Au minimum, les deux scénarios suivants combinant une épaisseur de glace et un niveau d'eau de différentes périodes de retour doivent être considérés, autant en climat actuel qu'en climat futur.

En climat actuel, les scénarios sont les suivants :

- Scénario 1 : une épaisseur de glace associée à une période de retour de 100 ans ($t_{100}=1,31$ m) combinée à un niveau d'eau d'une période de retour de 10 ans ($z_{10}=4,79$ m). Le point d'application des forces de glace est alors à l'élévation 4,45 m, soit au tiers supérieur de l'épaisseur des blocs de glace;
- Scénario 2 : une épaisseur de glace associée à une période de retour de 10 ans ($t_{10}=0,99$ m) combinée à un niveau d'eau d'une période de retour de 100 ans ($z_{100}=5,11$ m). Le point d'application des forces est à l'élévation 4,85 m, soit au tiers supérieur de l'épaisseur des blocs de glace.

En climat futur, les scénarios sont les suivants :

- Scénario 1 : une épaisseur de glace associée à une période de retour de 100 ans ($t_{100}=0,89$ m) combinée à un niveau d'eau d'une période de retour de 10 ans ($z_{10}=5,70$ m). Le point d'application des forces est à l'élévation 5,45 m, soit au tiers supérieur de l'épaisseur des blocs de glace;
- Scénario 2 : une épaisseur de glace associée à une période de retour de 10 ans ($t_{10}=0,67$ m) combinée à un niveau d'eau d'une période de retour de 100 ans ($z_{100}=6,02$ m). Le point d'application des forces est à l'élévation 5,85 m, soit au tiers supérieur de l'épaisseur des blocs de glace.

10.14 Angles d'impact des glaces

Comme abordé à la section 10.11, l'écoulement n'est pas parfaitement parallèle à toutes les piles. En se basant sur les figures de la section 10.11, les angles à utiliser pour les futures unités de fondation peuvent être estimés et doivent être considérés dans le calcul des forces de glace pour les piles avec biais. Lorsque ces angles sont utilisés dans les équations de la norme CSA S6-19, les forces calculées peuvent atteindre des valeurs très importantes. Comme il est souligné à la section 10.12, une analyse plus poussée sous forme de modélisation pourrait permettre d'optimiser les calculs des forces.

10.15 Forces verticales dues à l'adhérence des glaces

Considérant la présence de la marée, il est requis de calculer des forces verticales dues à l'adhérence des glaces. Ces forces pourront s'exercer tant vers le haut que vers le bas, selon les cycles de marée.

10.16 Résistance effective de la glace

La résistance effective de la glace à considérer est de 1100 kPa. Il s'agit de la résistance en compression de la glace à la température de fonte, alors que la glace demeure solide et qu'elle se déplace en grande plaques. En effet, les mouvements importants de glace se produisent au printemps ou en cours d'hiver lorsqu'un réchauffement des températures cause une certaine fragilisation du couvert.

10.17 Forces statiques des glaces

Une force statique due à l'expansion thermique de 184 kN/m, appliquée à l'élévation indiquée pour chacun des scénarios, doit être considérée. En effet, comme il est possible que le couvert de glace s'ouvre au cours de l'hiver, autant en climat actuel qu'en climat futur, certaines piles pourraient alors se trouver en présence d'un couvert de glace d'un côté et en l'absence d'un couvert de glace de l'autre côté. Cela se solde en des forces horizontales statiques. Ces forces ne doivent pas être appliquées simultanément aux forces d'impact sur un même élément de fondation.

11 PROCESSUS HYDROGÉOMORPHOLOGIQUES

Différentes analyses ont été menées au site pour détailler les processus hydrogéomorphologiques et pour évaluer les impacts que la nouvelle structure pourrait avoir sur ces processus.

11.1 La dynamique sédimentaire

Le Saint-Laurent transporte d'importants volumes de matières en suspension. Les études passées présentées à la section 2 font état de 8 à 10 millions de tonnes qui seraient transportées annuellement. La concentration en sédiments moyenne à Québec serait d'environ 20 mg/L et elle monterait à près de 70 mg/L à l'est de l'île d'Orléans. Cette concentration serait beaucoup plus forte au printemps, pouvant atteindre quelques centaines de mg/L.

11.1.1 Sources de sédiments et courants

Les sources de sédiments principales dans le secteur sont :

- Les différents chenaux (amont de Québec, chenal sud et chenal de l'Île d'Orléans) du Saint-Laurent;
- La rivière Montmorency;
- La rivière Beauport;
- La rivière Saint-Charles.

Les courants sont principalement induits par les marées et ils vont autant vers l'aval que vers l'amont, selon le moment dans le cycle de la marée.

Ces informations sont présentées plus bas à la figure 11.1.

11.1.2 Dynamique des battures

Les volumes transportés font que les importantes battures de part et d'autre du chenal de l'Île d'Orléans deviennent des zones privilégiées de déposition des sédiments. En effet, les vitesses d'écoulement y sont faibles, beaucoup plus qu'ailleurs dans le fleuve, et les eaux qui se retirent avec les cycles de marées créent des conditions idéales pour déposer des sédiments. De plus, une végétation dense se crée sur les berges, retenant d'autant plus de sédiments.

Lors de l'enquête sur le terrain de novembre 2020, il a rapidement été constaté qu'une couche de sédiments limoneux et collants était présente sur les battures. La dégradation de la végétation à l'automne semblait cependant rendre les sédiments accessibles pour être remis en suspension à la marée montante. Ce comportement a d'ailleurs été relaté dans l'étude de CIMA+ de 2009.

Ces observations et les vitesses d'écoulement modélisées et observées font que les battures semblent soumises à une dynamique sédimentaire d'accumulation temporaire dictée par les saisons.

Ces secteurs sont montrés en vert à la figure 11.1.

11.1.3 Effets d'épis

Les observations à l'ouest du pont actuel montrent qu'il n'y a pas d'accumulation notable de sédiments le long de la bretelle de l'autoroute 40 qui s'avance dans le fleuve. Il n'y a pas non plus d'accumulation notable du côté ouest de la culée nord et de son approche. Ces ouvrages ne semblent donc pas agir comme des épis captant des quantités importantes de sédiments dans la zone où le nouveau pont sera implanté. Les seules accumulations dans ce secteur sont celles sur la batture et sa végétation. Cela fait que les ouvrages situés dans la portion à l'ouest du pont actuel n'ont pas été considérés comme étant propices à capter des sédiments.

Du côté sud, le terrain est un peu plus élevé du côté est que du côté ouest de la culée et de l'approche, ce qui semble montrer une légère zone d'accumulation. Du côté nord, à l'est de la culée et de son approche, le secteur semble aussi avoir légèrement sédimenté. Cela fait que le pont actuel est considéré comme captant **un peu** de sédiments du côté est uniquement. Ce phénomène est identifié en jaune sur la figure 11.1.

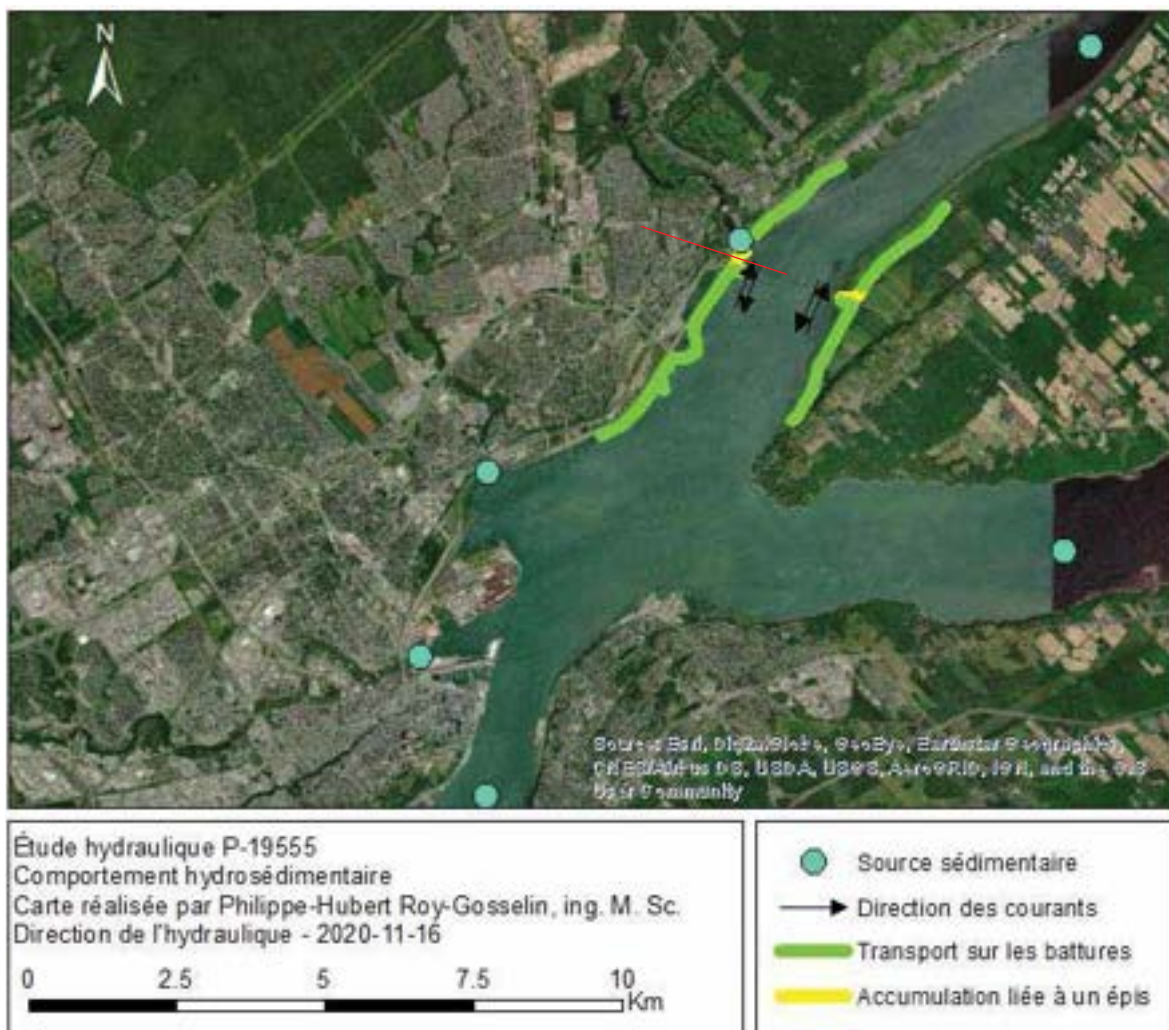


Figure 11-1 Comportement hydrosédimentaire

11.1.4 Dynamique dans le chenal

La portion du chenal de l'Île d'Orléans comprise entre l'extrême ouest de l'île et le pont actuel est caractérisée par des vitesses beaucoup plus faibles que dans le chenal sud et que dans la portion plus à l'est du chenal de l'Île d'Orléans. Cela crée donc une zone qui sera plus propice à la déposition des sédiments que partout ailleurs dans les environs. Cette zone a par ailleurs été identifiée dans l'étude de CIMA+ de 2009. Dans cette zone, les vitesses restent toutefois assez élevées pour permettre du transport. Avec les inversions de marées, il faut donc s'attendre à des dépôts lâches et facilement mobilisables.

Une consultation des sondages géotechniques permet de constater que les dépôts sont en effet de lâche à très lâche.

La figure qui suit montre la zone de vitesses plus faibles.

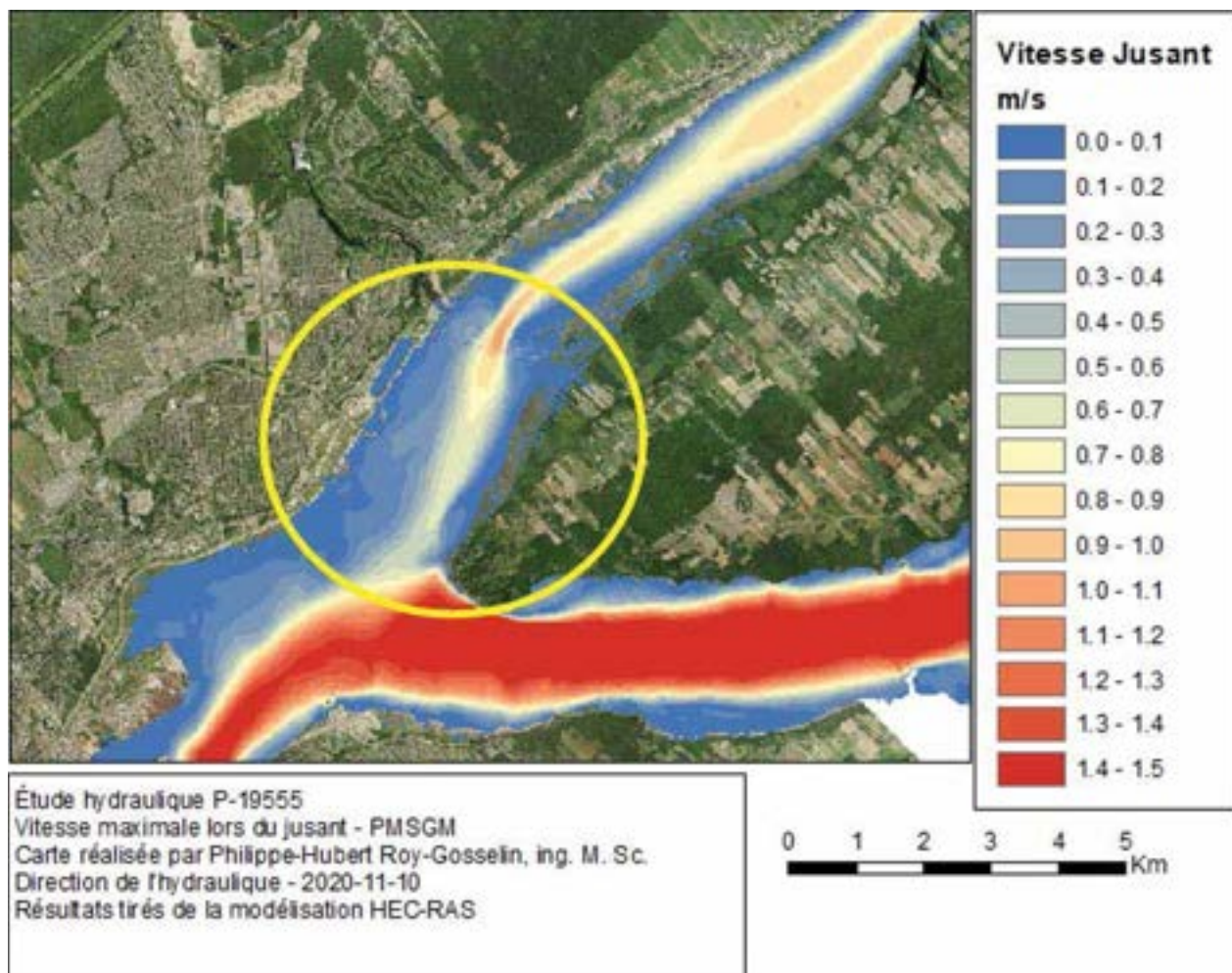


Figure 11-2 Vitesse au jusant, à la PMSGM – Zone plus faible entre le pont et le chenal sud

11.2 Érosion des rives

Du côté nord, les rives sont artificialisées et protégées par des ouvrages (empierrement et murs). Il n'y a donc pas d'érosion active de ce côté ni de production de sédiments. Ces ouvrages étaient présents sur une photographie aérienne de 1990 (Q90116-102). La côte est très similaire entre les deux périodes.

Lors de l'enquête sur le terrain de novembre 2020, une végétation dense était visible sur le côté sud le long des battures. L'érosion ne semblait pas être un problème majeur à ce moment. Une comparaison entre l'orthophotographie de 2018 et une photographie aérienne de 1990 (Q90116-102) montre une différence allant d'environ 0 à 10 m du trait de côte entre les deux périodes, soit un rythme d'environ 0 à 30 cm/an. L'évolution apparaît semblable tant en amont qu'en aval de la jetée et le pont ne semble pas engendrer d'érosion supplémentaire. Avec les vitesses d'écoulement à cet endroit, il est présumé que l'érosion est davantage le résultat des vagues que celui des courants.

La figure qui suit montre la comparaison du trait de côte de 1990 avec l'orthophotographie de 2018.

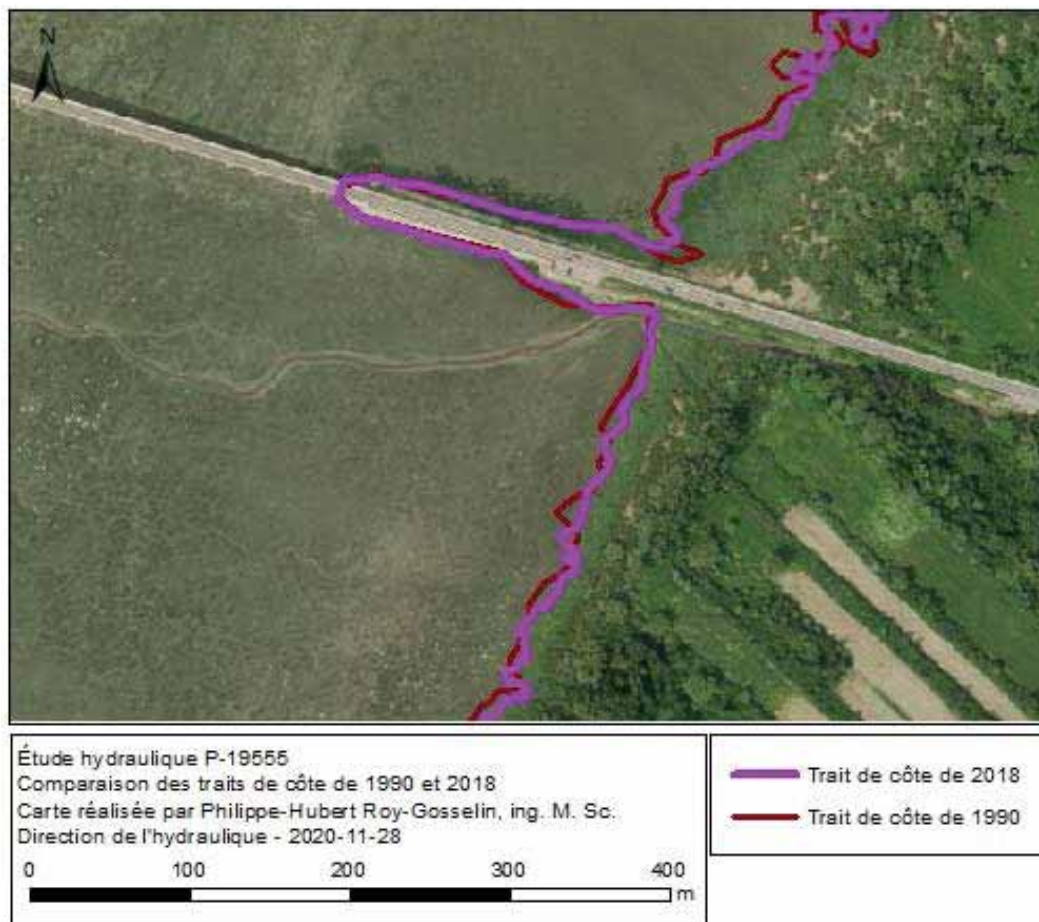


Figure 11-3 Trait de côte actuel par rapport au trait de côte de 1990

11.3 Modification appréhendée du régime sédimentaire

11.3.1 Pont proposé

La culée et l'approche nord du pont actuel devraient normalement être conservées. La nouvelle culée sera située immédiatement en amont et elle ne devrait pas s'avancer davantage dans le chenal. Les vitesses d'écoulement seront plus faibles entre les deux approches et il est donc possible que les sédiments s'y accumulent plus facilement et que leur mobilisation soit plus difficile par la suite. C'est le phénomène d'accumulation sur les battures qui sera donc impacté. Il n'est pas attendu qu'un phénomène prononcé d'accumulation derrière un épis se produise étant donné que l'approche du pont actuel est conservée.

Au sud, le remblai prévu se situe en dehors de la zone de transport (battures). Il n'est donc pas prévu que le pont proposé ait un impact significatif sur le transport sédimentaire à cet endroit.

Le nombre de piles étant largement diminué sur les battures, il est attendu que le pont proposé ait moins d'impact sur le transport sédimentaire que le pont actuel. Les figures de la section 8 sur les différences dans les champs de vitesse montrent par ailleurs que les impacts sur l'écoulement seront minimes sur les battures. Les pylônes, surtout celui au nord, ont davantage d'impact sur l'écoulement. L'impact sur le transport sédimentaire est cependant considéré comme étant faible puisque l'écoulement s'inverse, ce qui assure de ne pas avoir de zones mortes permanentes derrière les pylônes. De plus, les vitesses sont généralement peu impactées sur le chenal. Les pylônes actuels et les massifs d'ancrage n'ont pas montré d'impact significatif sur le lit mis à part un peu d'affouillement très localisé et la création d'une petite zone d'accumulation de sable. **Le pont proposé ne devrait donc pas influencer de manière significative le régime sédimentaire dans le secteur à l'étude.**

11.3.2 Ouvrages temporaires

Les ouvrages temporaires changent les patrons d'écoulement de manière plus prononcée que le pont actuel ou le pont proposé. Les profils de vitesse et les champs de vitesse présentés à la section 9 indiquent que les vitesses d'écoulement sur les battures sont fortement réduites et des zones mortes d'écoulement sont créées ainsi que des zones tourbillonnantes où viennent mourir les courants du chenal principal. Ces conditions sont idéales pour provoquer la déposition de sédiments sur les battures. Cela nuira aussi à la mobilisation des sédiments. **Il est donc à prévoir qu'une accumulation de sédiments se fera sur les battures de part et d'autre du chenal, tant à l'amont qu'à l'aval, et ce, tant que les ouvrages temporaires proposés seront en place.** Une accélération de l'écoulement est aussi à prévoir entre les jetées et des courants longeant les jetées sont aussi à prévoir près de leurs extrémités. Cela pourrait causer un affouillement général du chenal au droit des ouvrages temporaires. L'accélération affectera aussi le transport sédimentaire, la mise en suspension et la déposition. **Il est cependant attendu qu'une fois le site libéré des éléments temporaires, les marées viendront rapidement remettre le milieu dans un état comparable à l'initial.**

La figure 11-4 montre les zones pour lesquelles l'accumulation supplémentaire de sédiments par rapport à la situation actuelle est la plus probable. Les vitesses d'écoulement maximales au jusant et au flot ont été consultées pour établir les zones. Deux critères ont été retenus pour définir les zones.

- Le premier critère est un abaissement des vitesses entre l'état des lieux en présence des ouvrages temporaires par rapport à la situation actuelle. Cet abaissement est considéré comme étant assez significatif lorsqu'il excède 0,1 m/s;
- Le second critère est une vitesse abaissée sous la valeur de 0,3 m/s.

Il est attendu que les zones qui ne subissent des ralentissements de l'écoulement qu'au flot ou au jusant (identifiées en jaune) soient moins affectées que les zones qui subissent les ralentissements au jusant et au flot (identifiées en orange).

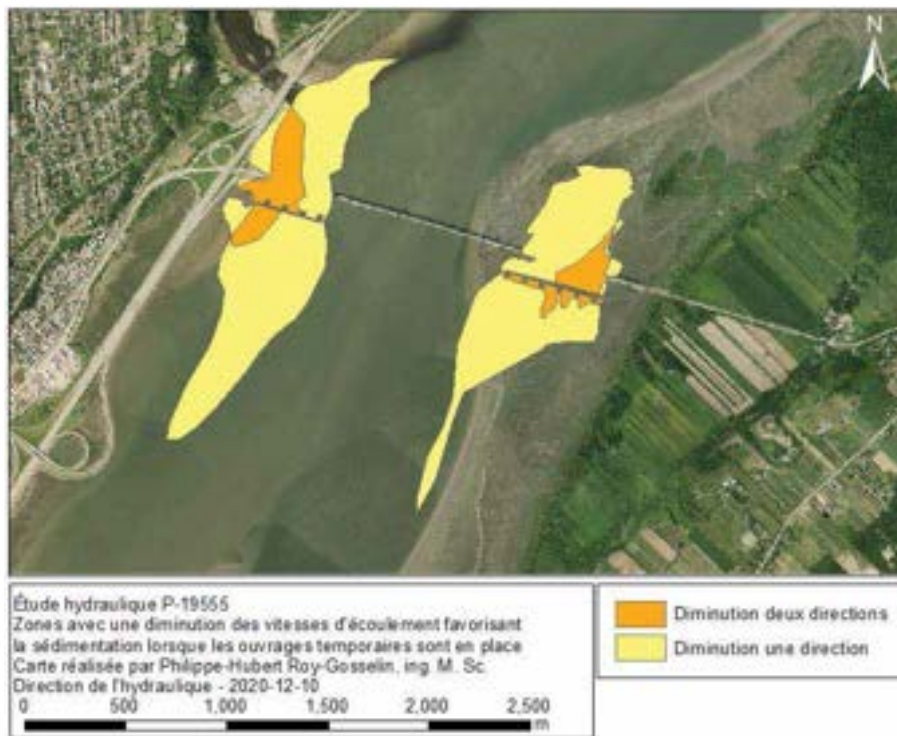


Figure 11-4 Zones avec une diminution des vitesses d'écoulement favorisant la sédimentation lorsque les ouvrages temporaires sont en place

Les zones avec une diminution dans une direction couvrent environ 1 000 000 m² au total, excluant les zones orange, qui couvrent environ 172 800 m².

Il est recommandé d'effectuer un suivi de l'accumulation de sédiments sur les battures avant, pendant et après la présence des ouvrages temporaires pour évaluer si une accumulation s'est produite et si le retrait des éléments temporaires aura suffi à remettre les sédiments en transport. Les zones présentées ci-dessus offrent une appréciation des secteurs qu'il faudra privilégier pour la surveillance.

11.3.3 Mise en place de ponceaux durant les travaux

Étant donné les volumes d'eau importants qui transitent par la zone intertidale, la mise en place de ponceaux n'apparaît pas comme une solution viable pour rééquilibrer les courants des marées et éviter l'accumulation de sédiments sur les battures. À titre indicatif, plus de 1 000 m³/s peuvent transiter par la zone intertidale du côté nord dans une PMSGM. Des ponceaux pourraient aussi avoir pour effet indésirable de créer des zones de fortes vitesses provoquant de l'érosion à leurs embouts sur les battures.

11.4 Modélisation du transport sédimentaire

11.4.1 Modélisation de l'érosion et de la déposition des sédiments

La possibilité de modéliser le transport sédimentaire, incluant l'érosion et la déposition, ainsi que les impacts des ouvrages temporaires sur celui-ci, a été évaluée. Plusieurs facteurs font cependant qu'une telle modélisation n'est pas recommandée à cet endroit.

L'enjeu majeur dans ce projet est la possible sédimentation à l'arrière des jetées et un risque d'érosion, principalement à l'embout des jetées. Pour modéliser ces phénomènes, la modélisation du transport sédimentaire doit être effectuée avec un modèle 2D minimalement.

Pour donner des résultats pertinents, un modèle doit être bien calibré et validé, sans quoi les résultats produits par le modèle ne peuvent être utilisés puisqu'il n'est pas possible d'avoir une confiance suffisante sur leur véracité.

La calibration et la validation sont des enjeux de taille à cet endroit. Une partie des sédiments sur les battures est mise en suspension par des vagues. Une autre partie est mise en suspension par les courants des marées ainsi que par le retrait des eaux lors du jusant, surtout au niveau des slikkes vaseuses. Les sédiments sur les battures sont des sédiments très fins, à la limite d'être cohésifs, et leur comportement dépend beaucoup de la végétation dont l'état varie au gré des saisons. Il sera très difficile, voire impossible, de bien isoler chacun des phénomènes à l'œuvre dans le transport sédimentaire sur les battures pour arriver à bien calibrer les comportements de chacun. La présence de végétation va aussi affecter la précision de relevés de suivi des élévations. Finalement, les marées, qui sont probablement le phénomène contrôlant le plus le transport sédimentaire à cet endroit, sont de forte amplitude et induisent des courants impactant le milieu quatre fois par jour, ce qui rend la prise de mesures pour la calibration d'autant plus difficile puisque les conditions au site sont sous de constants changements.

Mis à part la difficile calibration des différents phénomènes, d'autres facteurs rendent la modélisation hydrosédimentaire hasardeuse à cet endroit. La charge sédimentaire en provenance de l'amont et de l'aval peut être très variable. Les apports en provenance des rivières avoisinantes ont aussi un impact qui n'est pas négligeable à cet endroit. Ces conditions viennent multiplier de manière importante le nombre de cas à tenter de reproduire par modélisation et induisent une importante incertitude sur les résultats et les impacts des ouvrages temporaires sur leur durée de vie.

Avec les sources identifiées, pour bien modéliser le transport sédimentaire, un modèle hydrosédimentaire devrait couvrir un secteur allant du Vieux-Québec jusqu'à la pointe est de l'île d'Orléans minimalement, englobant les deux chenaux du Saint-Laurent, ce qui augmente d'autant plus les enjeux techniques.

Finalement, le débit important de sédiments fait qu'il sera difficile de différencier le bruit provenant de la charge naturelle à la concentration des sédiments mis en suspension pour effectuer les mesures de calibration dans une éventuelle campagne de mesures nécessaires à la calibration d'un modèle.

La calibration d'un modèle de transport sédimentaire dans ces conditions n'apparaît pas comme viable et l'utilisation d'un tel modèle à ce site n'apparaît pas recommandable pour évaluer la déposition et l'érosion.

Dans ce cas précis, il est plutôt recommandé d'estimer les zones les plus à risque d'être affectées par des enjeux de sédimentation à l'aide de la modélisation hydrodynamique qui donne déjà de bons indices à cet effet. Un monitoring de ces zones durant les travaux ainsi que la préparation d'un plan d'action pour prévoir des actions correctives en cas d'effets néfastes est une option plus réaliste et adaptée à ce site.

11.4.2 Modélisation d'un panache de sédiments ou d'une fuite de polluant

La modélisation d'un panache de sédiments qui viendrait modifier la turbidité de l'eau ou d'une fuite de polluant causée par un événement ponctuel dans une condition de marée régulière peut être effectuée de manière sommaire à cet endroit. Les enjeux soulevés au point précédent font qu'il n'est cependant pas possible de modéliser ces phénomènes dans le détail et avec une grande précision. Pour modéliser sommairement ce type d'événement, il est recommandé de faire appel à ECCC qui dispose d'un modèle adapté à ce type de besoins dans ce secteur. Notre Direction pourra collaborer avec ECCC pour identifier quels cas évaluer.

12 RÉGIME DES VAGUES

12.1 Études antérieures et information sur le secteur

En plus du document Étude de pré faisabilité et de concepts d'un nouveau lien routier de surface comme alternative possible à la réfection du pont actuel de l'île d'Orléans (CIMA+, 2010), d'autres documents ont été consultés pour acquérir des connaissances sur les données des vagues dans le secteur à l'étude. L'Étude hydraulique P-81620 pour la protection du remblai de l'autoroute 40 à proximité du site à l'étude a été consultée. De plus, les résultats des recherches de la DGPRMQ, mises à jour en 2019, sur les navires empruntant le chenal de l'Île d'Orléans ont été consultés.

Afin d'obtenir des compléments d'information concernant le régime des vagues dans ce secteur, des usagers du fleuve ont été contactés.

Les résultats de cette démarche indiquent que :

- En raison des hauts fonds et dû au fait que la voie navigable du Saint-Laurent se situe de l'autre côté de l'île, il y a peu de navires de grandes dimensions qui transitent dans ce secteur. Les principaux étant des bateaux de plaisance, de croisières ou des bateaux utilisés pour des travaux (dragues, barge, etc.);
- Le secteur étant enclavé, les vagues y sont généralement assez faibles. Les marins interrogés ont indiqué que les vagues sont significativement plus fortes dans ce secteur, lorsque le vent souffle à l'encontre du courant du fleuve. Les études antérieures n'indiquent pas avoir pris en compte ce phénomène. Les observations indiquent que des vagues de 1,0 m à 1,2 m sont fréquentes à cet endroit, lorsque le vent souffle à l'encontre du courant. Les observations extrêmes recueillies indiquent des vagues qui varient entre 1,5 à 1,8 m de hauteur dans ce secteur.

12.2 Vagues générées par les navires

Les vagues causées par les bateaux de plaisance, qui sont généralement de faibles dimensions, n'ont pas été estimées dans le cadre de cette analyse. Bien que beaucoup plus fréquentes, les vagues associées à ces embarcations sont de plus faibles dimensions que celles causées par les navires de plus grandes dimensions.

Les vagues générées par les navires ont été calculées au moyen des modèles développés par « *Permanent International Association of Navigation Congresses* (PIANC, 1987) » et par celui de *Gates et Herbich* (1977)⁶. Dans le cas de barges tractées par un bateau, le modèle de *Bhowmik, Demissie, and Guo* (1982) a été utilisé, puisqu'il a été spécifiquement conçu pour ce type de situation.

Les vagues ont été calculées sur la base des informations obtenues auprès des propriétaires des navires. La source des navires est l'étude de 2012 sur la circulation maritime, dont les informations ont été mises à jour en 2019 par l'équipe de projet du MTQ. Les vitesses maximales des navires ont été utilisées dans les calculs, ce qui est sécuritaire.

Le tableau suivant résume les calculs réalisés.

⁶ Prediction of vessel-generated waves with reference to vessels common to the Upper Mississippi River System / by Robert M. Sorensen; prepared for U.S. Army Engineer District, Rock Island, U.S. Army Engineer District, St. Louis, U.S. Army Engineer District, St. Paul.

Tableau 12-1 Vagues générées par les navires pouvant passer à proximité du pont proposé

Type de bateau	Nom bateau type	Vitesse	Longueur	Largeur	Tirant d'eau	Période vague	Hauteur vague à ± 20 m du bateau	Hauteur vague à ± 40 m du bateau	Hauteur vague à ± 80 m du bateau
		(Kt)	(m)	(m)	(m)	(seconde)	(m)	(m)	(m)
Remorqueur	Ocean Echo II	10	33,5	10,4	4,3	2,7	0,5	0,4	0,3
Barge	Ocean Basque II	10	33,2	13,1	2,5	2,7	0,3	0,3	0,3
Drague	Ocean Traverse Nord	11	64,3	12,9	4,0	3,0	0,9	0,7	0,6
Croisière	M/S Jacques-Cartier	10	55	13	3,0	2,7	0,8	0,6	0,5
Croisière	AML Louis-Joliet	9,5	49	21	N/D	2,6	1,1	0,9	0,7
Croisière	AML Cavalier-Maxim	14	57	12	N/D	3,8	1,6	1,4	1,0

12.3 Vagues générées par le vent

Le site à l'étude est soumis aux vagues du fleuve Saint-Laurent. Pour déterminer l'impact des vagues au site à l'étude, il est primordial de connaître le climat des vagues générées par le vent. Le climat des vagues au large permet de déterminer la dimension des vagues qui peuvent atteindre le site à l'étude, leurs directions et leur fréquence d'occurrence.

12.3.1 Détermination de l'ouvert (*fetch*)

L'ouvert est la distance, sur un plan d'eau, au-dessus de laquelle le vent peut souffler afin de générer des vagues. La partie nord du pont est la plus exposée aux vagues. C'est elle qui propose l'ouvert le plus important.

La figure qui suit permet de localiser le point de calcul par rapport au site à l'étude ainsi que de visualiser les lignes d'ouvert espacées aux trois degrés au site à l'étude.



Figure 12-1 Lignes d'ouvert évalué au site à l'étude et emplacement du point focal

Le calcul des vagues est réalisé sur 16 secteurs, selon leur provenance. Chaque secteur fait $22,5^\circ$ et le premier secteur, le secteur nord, est centré sur la position 0° nautique. Les ouverts calculés aux 3 degrés doivent donc être pondérés de manière à s'ajuster aux calculs des vagues sur 16 secteurs. Dans le cadre du projet à l'étude, les ouverts ont été pondérés sur leur moyenne, à laquelle on ajoute l'écart type. De cette pondération, il en ressort que deux fourchettes de directions se démarquent, ce qui en fait des directions d'importance pour le site à l'étude (NE et ENE (directions 3 et 4) et S, SSO et SO (directions 9, 10 et 11)). La figure qui suit présente comment sont exprimés les secteurs dans la présente étude.

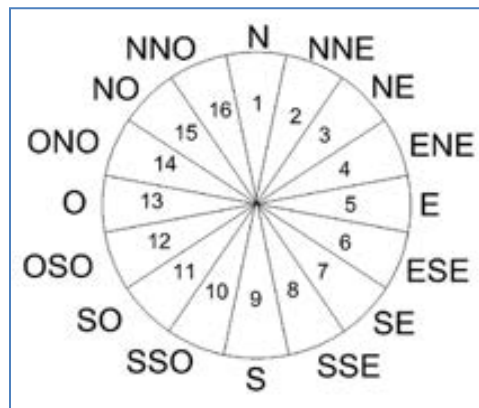


Figure 12-2 Secteurs de provenance des vents et des vagues

Le tableau qui suit présente les ouverts pondérés pour chaque direction.

Tableau 12-2 Ouvert pondéré (en km) pour les seize secteurs au site à l'étude

Direction	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO
Site à l'étude	0,9	2,0	5,0	4,1	2,1	1,6	1,6	2,1	3,8	6,3	3,8	1,6	0,6	0,5	0,5	0,6

12.3.2 Données de vent au site à l'étude

Les données de vent représentent l'intrant principal pour le calcul des vagues générées par le vent. Cet intrant doit donc être choisi avec précaution et discernement.

Les résultats de réanalyses de vent ne peuvent pas être utilisés dans le cadre de l'étude en raison de l'impact de la topographie sur la direction et la vitesse du vent. Des données de vent enregistrées à des stations météo doivent donc être privilégiées.

Comme mentionné à la section 2 du présent rapport, des anémomètres ont collecté des données dans le secteur.

Deux stations se distinguent :

- La station Beauport (# 27803) est située à proximité du site à l'étude et elle possède la plus longue série de données. Elle est toutefois située sur la terre, ce qui pourrait altérer certaines données sur la direction ou la vitesse des vents;
- La station installée par le MTQ au pont de l'Île-d'Orléans, quant à elle, possède la meilleure localisation. La très grande différence d'élévation entre la station et le niveau de l'eau la rend moins représentative des conditions à basse altitude générant des vagues. Elle dispose d'une série de données plus courte, limitant par le fait même les analyses statistiques qui découleront de l'utilisation de ses données.

Une comparaison des données a été réalisée entre les deux stations afin de s'assurer de la qualité des données durant la période d'acquisition commune. Les multiples vérifications réalisées permettent de constater qu'il y a une concordance entre les deux stations. La station Beauport d'Environnement Canada (# 27803) a finalement été retenue pour les calculs subséquents en raison de sa plus longue série de données.

Suivant la méthodologie du « *Coastal Engineering Manual* », des facteurs de corrections doivent être utilisés afin de tenir compte des aspects suivants :

- La station est située sur la terre;
- La stabilité de l'air.

La figure suivante montre la rose des vents de la station utilisée, incluant les divers facteurs de corrections utilisés.

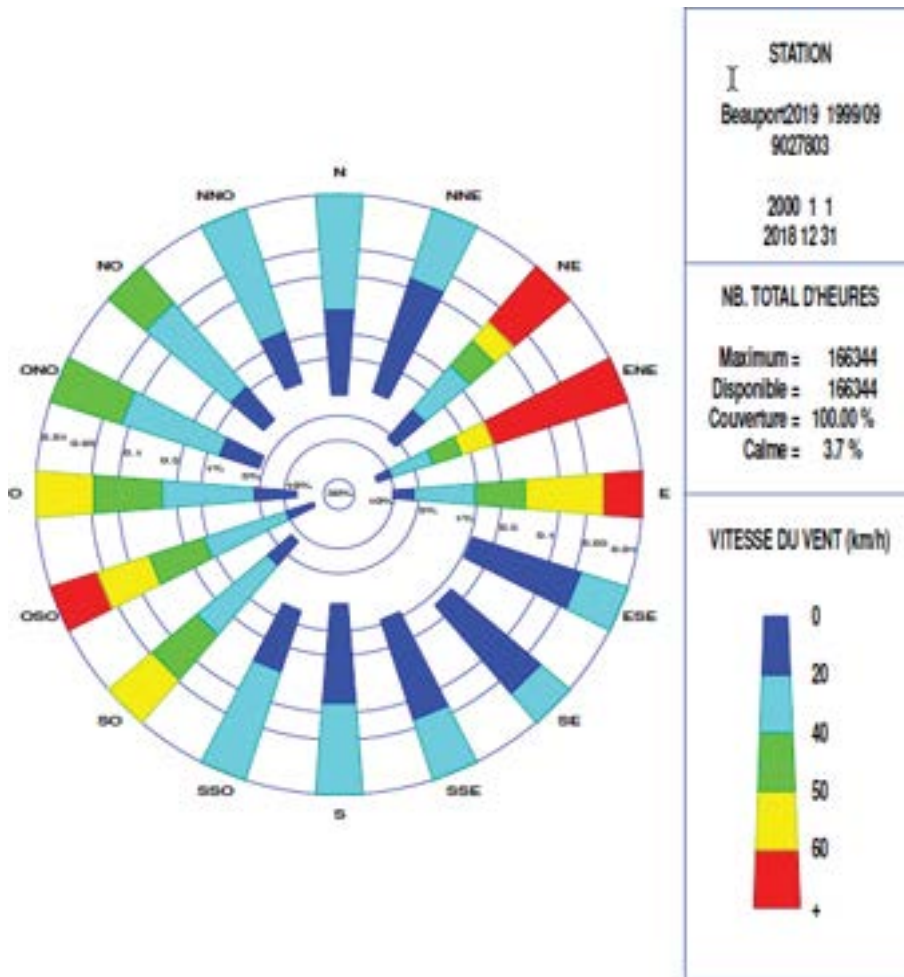


Figure 12-3 Rose des vents à la station de Beauport

Il ressort de la figure précédente que deux fourchettes de directions se démarquent. Les vents centrés autour de l'ENE (directions 3, 4 et 5) et de l'OSO (directions 11, 12 et 13) sont généralement plus forts que ceux des autres directions. Lorsque ces valeurs de vent sont comparées aux ouverts déterminés au tableau 12-2, il est possible de constater que les directions centrées sur l'axe ENE et SO provoqueront les vagues les plus importantes.

12.3.3 Climat des vagues générées par le vent

Un calcul fait à l'aide du logiciel GENEREUX, basé sur les données de vent enregistrées à la station 27803 Beauport et les ouverts calculés au site à l'étude, a été réalisé de manière à déterminer les conditions des vagues de vent à cet endroit.

Les changements climatiques auront notamment pour effet de réduire la période d'englacement du fleuve durant la vie utile du nouveau pont. Afin de tenir compte des conditions appréhendées, l'atténuation des vagues associée aux périodes d'englacement passées n'a pas été prise en compte dans le calcul du régime des vagues de vent.

La méthode de calcul employée ne permet pas de calculer les caractéristiques des vagues associées au phénomène des directions opposées du vent et des courants. Ce phénomène sera présenté à la section 12.3.4 du présent rapport.

La distribution des vagues calculées est montrée sur la figure qui suit. Cette figure est sous forme logarithmique pour mieux voir les valeurs plus faibles.

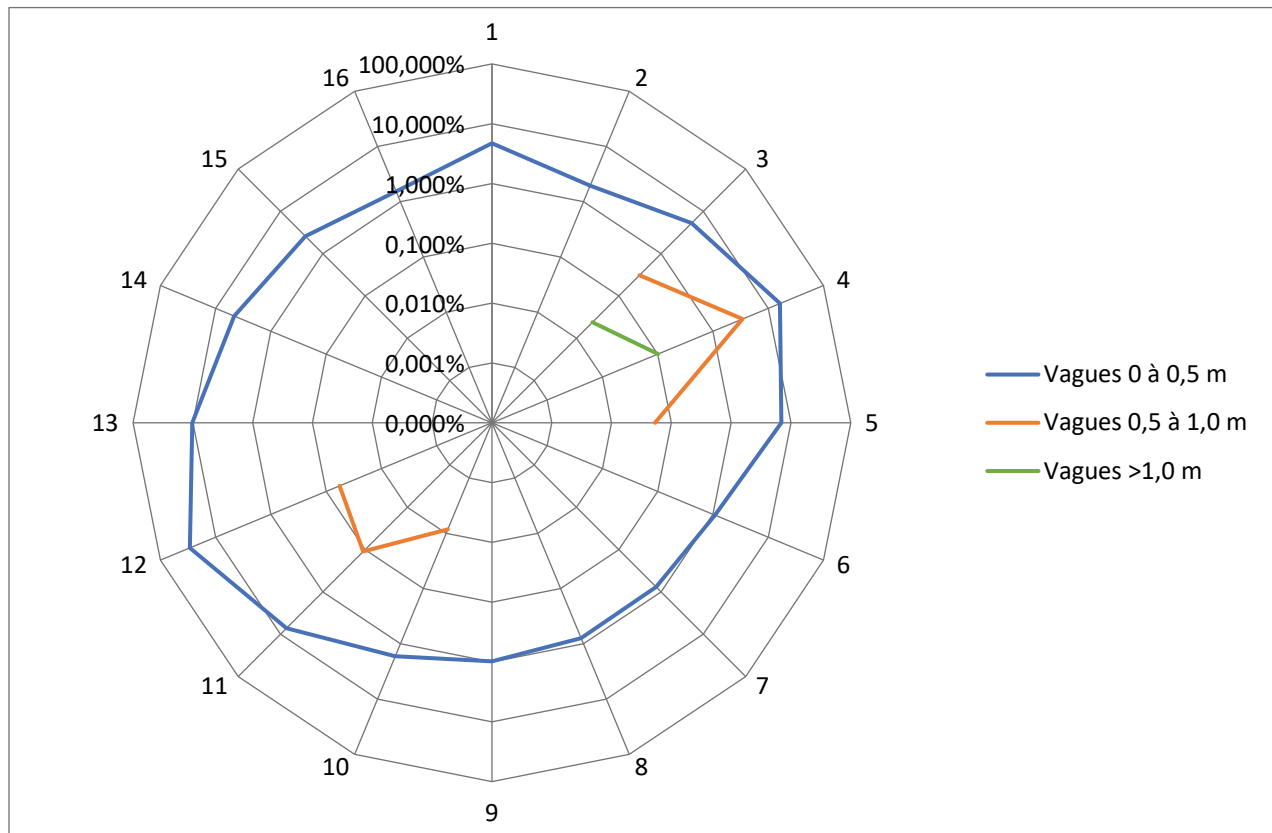


Figure 12-4 Provenance des vagues (en % des vagues totales) selon leur hauteur et les directions 1 à 16

Les directions d'importances, identifiées par les ouvertures les plus longues et les vents les plus importants, sont identifiables. Le régime des vagues centré autour des directions NNE, ENE et E (directions 3, 4 et 5) est responsable de 32 % des vagues et notamment des plus fortes (NE et ENE). Le régime des vagues centré autour de l'axe OSO (directions 11, 12 et 13) est responsable de 47 % des vagues. Ces dernières sont toutefois moins fortes que celles provenant de l'axe ENE.

Les tableaux suivants résument les hauteurs significatives (H_s) et la période de pointe (T_p) des vagues pour différentes périodes de retour calculées avec GENEREUX pour les trois directions ayant les vagues les plus fortes (NE, ENE et SO). Ces dernières sont retenues pour la conception des ouvrages.

Tableau 12-3 Hauteur significative (H_s) des vagues pour différentes périodes de retour et directions

Hauteur significative H_s (m)			
Période de retour (ans)	NE	ENE	SO
2	0,9	1,0	0,6
5	1,1	1,2	0,8
10	1,2	1,3	0,8
25	1,4	1,4	0,9
50	1,5	1,5	1,0
100 (Conception)	1,6	1,6	1,1

Tableau 12-4 Périodes de pointe (T_p) des vagues pour différentes périodes de retour et directions

Période de pointe T_p (s)			
Période de retour (ans)	NE	ENE	SO
2	3,8	3,9	3,4
5	4,1	4,1	3,6
10	4,3	4,2	3,7
25	4,4	4,3	3,8
50	4,5	4,4	3,8
100 (Conception)	4,6	4,5	3,9

12.3.4 Évaluation de l'impact des courants et de la bathymétrie sur les vagues

L'analyse et la détermination du climat des vagues présentées à la section précédente ne prenaient pas en compte la bathymétrie locale qui présente d'importantes battures ni les courants engendrés par les marées, qui sont assez forts pour influencer la génération des vagues. Une simulation a été réalisée à l'aide du logiciel Delft3D et du logiciel de calcul des vagues SWAN pour évaluer les vagues générées en présence du vent maximal mesuré dans l'axe ENE. Un courant de jusant a été ajouté dans la simulation, correspondant au courant qui était présent au moment où ces vents ont eu lieu. La simulation a été effectuée sur le chenal de l'Île d'Orléans jusqu'à Québec. Le chenal sud a été exclu à l'est de la pointe de l'Île d'Orléans. Le résultat final pour les valeurs de H_s est présenté à la figure qui suit.

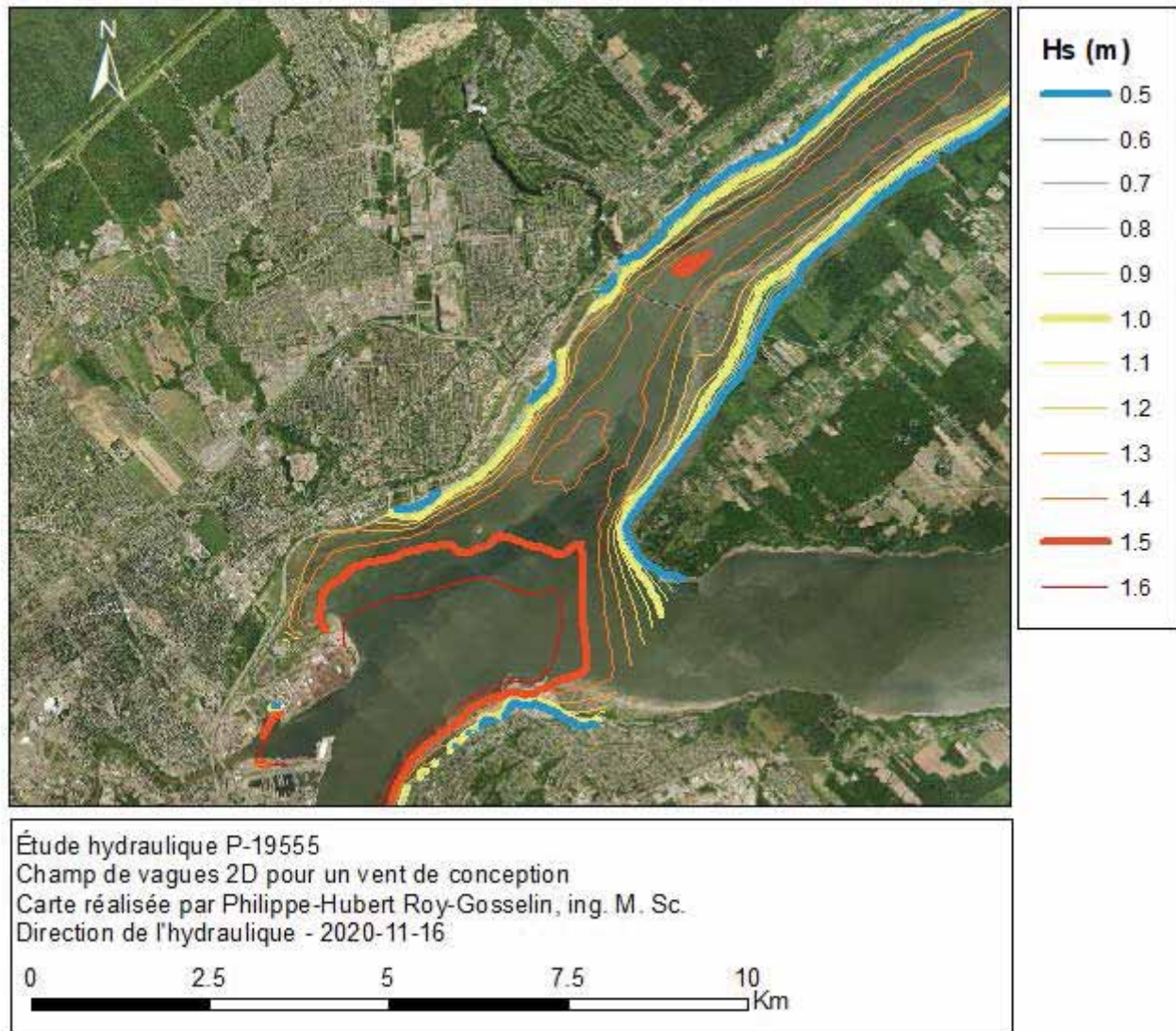


Figure 12-5 Hauteur significative des vagues sur un domaine 2D, événement de conception

Cette simulation avait pour but de contrôler la hauteur de vague calculée avec GENEREUX sans avoir à simuler une longue série de plusieurs années dans un domaine en 2D qui inclurait les courants. La vague significative obtenue au site à l'étude avoisine 1,45 m dans la modélisation 2D pour l'événement modélisé. Cette valeur est très près de la valeur évaluée de $\pm 1,40$ m pour le même événement analysé dans GENEREUX sans la bathymétrie et les courants. Ce résultat confirme que le choix de la méthode d'estimation des vagues avec GENEREUX était adéquat au site à l'étude. Les valeurs obtenues via la méthode GENEREUX sont donc celles retenues pour la conception.

12.4 Choix de la vague de conception

La période de retour à considérer pour les vagues de vent pour la conception a été établie à 100 ans. Aux pylônes, les vagues engendrées par les navires peuvent être comparables aux vagues significatives générées par le vent si les navires passent de manière rapprochée (20 m). Dès que les navires s'éloignent, les hauteurs des vagues engendrées deviennent moins importantes que les vagues de vent. Néanmoins, ces vagues pourront se produire régulièrement et elles solliciteront davantage les ouvrages à cet endroit. Pour les autres éléments de fondation, qui sont éloignés du chenal de navigation, ce sont uniquement les vagues de vent qui vont contrôler la conception.

Dans ces conditions, les vagues à considérer pour la conception sont présentées au tableau suivant.

Tableau 12-5 Hauteur des vagues de conception

Élément	Hs (m)	Tp (s)	H _{1/10} (m)	H _{max} (m)
Pylônes	1,6/1,6*	4,6/3,8*	2,05	3,00
Autres piles	1,6	4,6	2,05	3,00

* Les vagues générées par les navires aux pylônes. Elles ont une probabilité d'occurrence beaucoup plus élevée que les vagues de vent puisqu'elles peuvent être occasionnées par le passage de navires.

12.5 Remontée des vagues sur les protections flexibles

La remontée des vagues sur un empierrement ayant une pente de 1V:1,5H a été évaluée. Le calcul a été réalisé en combinant les enregistrements de niveau d'eau et la série de vagues calculées dans GENEREUX selon les données de vent disponibles. L'élévation de la remontée des vagues calculée pour la période de retour de 100 ans est de 7,75 m au CGVD28.

13 PROFONDEUR D'AFFOUILLEMENT

La profondeur d'affouillement a été calculée pour les différents éléments de fondation, tant pour l'affouillement induit par les courants que pour celui induit par les vagues. Le substrat a été déterminé à partir de l'étude géotechnique.

13.1 Modélisation de l'affouillement

Les profondeurs d'affouillement calculées dans cette section du rapport sont jugées conservatrices. Le site à l'étude est sous l'influence de courants de marées pouvant s'inverser et il est à proximité d'une zone de déposition temporaire où les vitesses d'écoulement sont plus faibles que dans les secteurs avoisinants du fleuve.

Une modélisation physique ou numérique poussée du comportement du lit autour des éléments de fondation pourrait permettre de réviser les valeurs conservatrices calculées pour la conception. Une telle modélisation sort cependant du présent mandat d'étude hydraulique.

13.2 Portait du lit à proximité du pont proposé

Plusieurs informations sont disponibles concernant le lit du fleuve dans le secteur du pont proposé. Ces données sont des intrants très pertinents pour la réalisation des calculs d'affouillement au site à l'étude. Ces données sont :

- Les sondages géotechniques réalisés par le MTQ en 2017 et en 2018;
- Une carte des substrats tirée du modèle hydrodynamique d'ECCC;
- Les données bathymétriques de 2010;
- Un relevé multifaisceau pour l'archéologie réalisé en 2019 au pont projeté.

Les sondages géotechniques montrent que les matériaux composant le lit en surface et jusqu'à une certaine profondeur sont des matériaux très sensibles à l'affouillement. Ces matériaux sont des sables plutôt fins, parfois mélangés à des silts ou à du gravier. Ils sont de très lâches à moyennement compacts. Les valeurs des sondages confirment les indications de la carte des substrats d'ECCC voulant que les matériaux dans le chenal où seront construits les éléments A6, A7, P8 et P9 soient des sables et du limon.

Comme démontré à la figure 11-2, la zone immédiatement en amont du pont présente des vitesses d'écoulement plus faibles qu'ailleurs dans le secteur à cause de la rencontre des courants de marée. Cette zone favorise le dépôt de matériaux sableux lâches et elle borde le tracé du pont actuel.

Le pont proposé sera construit dans la transition entre cette zone et le chenal plus profond en aval. Avec le rehaussement des mers et le mouvement isostatique des sols attendu, il n'est pas impossible que le phénomène de rencontre des courants de marée à l'amont du pont soit modifié, ce qui pourrait influencer le comportement du lit. Le déplacement du front salin pourrait aussi influencer la position du bouchon turbide et les phénomènes de transport sédimentaires locaux, engendrant encore une fois une modification du lit du fleuve.

La figure qui suit montre le thalweg à 2 500 m de part et d'autre du pont actuel, les couches relevées par les sondages géotechniques et la position du pont proposé.

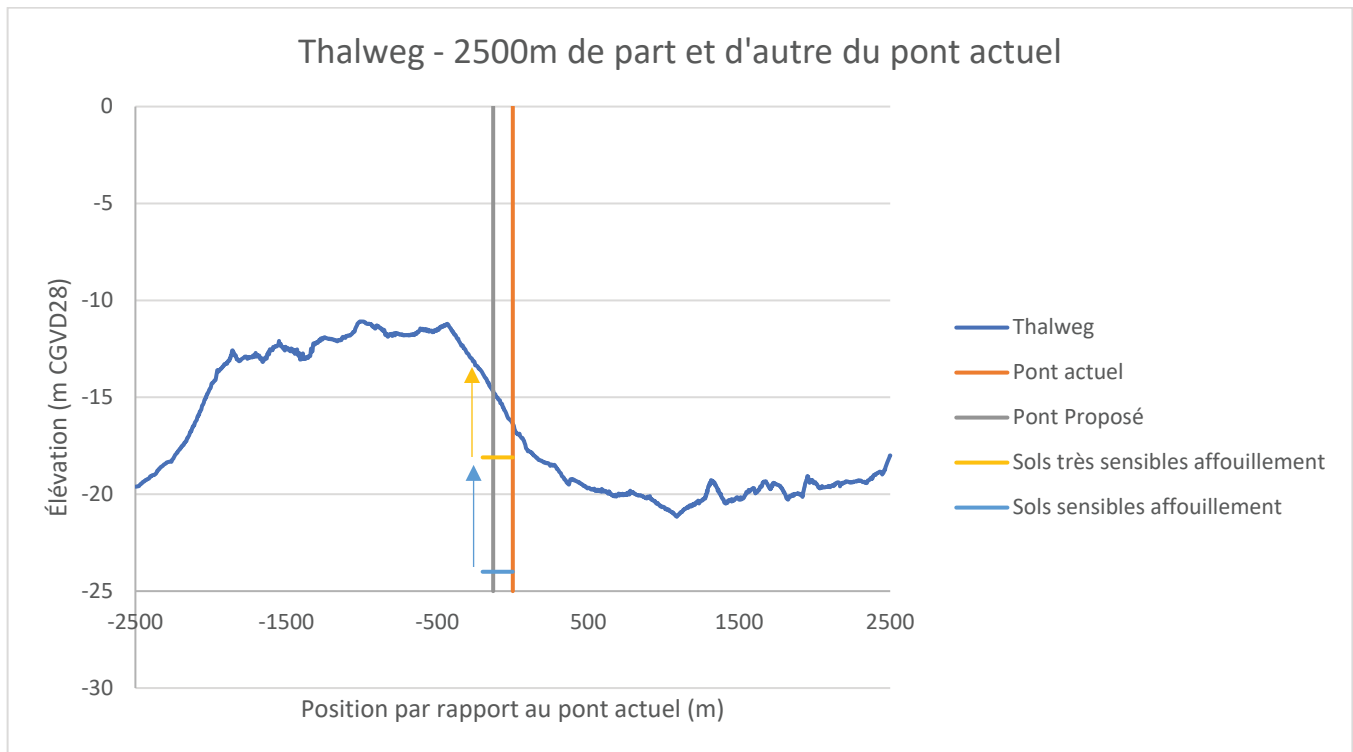


Figure 13-1 Élévation du thalweg par rapport au pont actuel (distance négative vers l'amont)

Une comparaison entre le relevé bathymétrique de 2010 et le relevé multifaisceau de 2019 a montré que le lit est resté stable durant cette période.

13.3 Affouillement causé par les courants

Les courants considérés pour évaluer l'affouillement sont ceux présentés à la section 8 du présent rapport pour le scénario de conception. La profondeur retenue est la profondeur maximale.

13.3.1 Piles et pylônes

L'affouillement causé par les courants aux piles et aux pylônes a été calculé en employant la méthode pour les piliers complexes présentée au HEC-18⁷. Le tableau qui suit donne les valeurs d'affouillement calculées pour différents groupes d'éléments de fondation telles que proposées aux plans disponibles à cette étape de la conception. L'élévation ultime a été estimée avec la bathymétrie entourant les piles et pylônes.

⁷ L.A. Arneson, L.W. Zevenbergen, P.F. Lagasse, P.E. Clopper (2012), *Evaluating scour at bridges 5th edition*, Hydraulic Engineering Circular 18, FHWA

Tableau 13-1 Profondeur d'affouillement ultime calculée pour différents éléments de fondation

Élément	Affouillement ultime (m)	Élévation estimée (m CGVD28)
A2 à A5	7,65	-9,70*
A6 et A7	8,55	-11,95
P8	9,65	-21,60†
P9	15,30	-18,25*

* Si un roc résistant à l'affouillement est atteint avant une valeur marquée d'une étoile, cette valeur doit être remplacée par l'élévation du roc de qualité.

† Pour cet élément, si une modélisation physique ou numérique plus poussée est réalisée, il n'est pas recommandé de retenir une élévation plus élevée que l'élévation -20,0 m, étant donné le profil du lit et les matériaux dans ce secteur.

Les matériaux qui composent le lit, l'importante colonne d'eau et la dimension importante des éléments de fondation sont des conditions qui génèrent d'importantes valeurs pour le calcul de l'affouillement ultime comme les résultats le démontrent.

La conception des pieux devra prévoir une perte complète des matériaux entourant les pieux jusqu'à l'élévation ultime de l'affouillement.

Il est prévu que les éléments A10 à A18 reposent directement sur le roc. En présence de roc, le dessous des semelles doit reposer directement sur un roc durable et résistant à l'affouillement. Si un réglage est requis, un coussin de support en béton doit être utilisé.

13.3.2 Culées

Les courants aux culées sont plutôt faibles, ce qui diminue les risques d'affouillement. Les calculs sont effectués selon la méthode préconisée par le NCHRP présentée dans le HEC-18.

Les résultats des calculs sont présentés au tableau qui suit.

Tableau 13-2 Profondeur d'affouillement ultime calculée aux culées

Élément	Affouillement ultime (m)	Élévation estimée (m CGVD28)
C1	1,50	-3,20
C19	1,50	2,00*

* Si un roc de qualité résistant à l'affouillement est atteint avant la valeur marquée d'une étoile, cette valeur doit être remplacée par l'élévation du roc de qualité.

Les culées devront être sur pieux ou reposer directement sur le roc. Le dessous des semelles sur pieux devra atteindre l'élévation ultime de l'affouillement. En présence de roc, le dessous des semelles doit reposer directement sur un roc durable et résistant à l'affouillement. Si un régalage est requis, un coussin de support en béton doit être utilisé.

13.3.3 Batardeaux

L'affouillement causé par les courants aux batardeaux a été calculé en employant la méthode pour les piliers complexes présentée au HEC-18⁸. Le tableau qui suit donne les valeurs d'affouillement calculées pour les quatre batardeaux tels que proposés aux plans et rapports disponibles à cette étape de la conception. L'élévation ultime a été estimée avec la bathymétrie entourant les ouvrages.

Tableau 13-3 Profondeur d'affouillement ultime calculée aux batardeaux

Batardeau	Affouillement ultime (m)	Élévation estimée (m CGVD28)
A6 et A7	9,80	-13,20
P8	11,65	-23,35
P9	14,15	-17,10*

* Si un roc de qualité résistant à l'affouillement est atteint avant la valeur marquée d'une étoile, cette valeur doit être remplacée par l'élévation du roc de qualité.

Les batardeaux proposés sont des ouvrages ayant une dimension importante. L'affouillement ultime à ces ouvrages pourrait être majeur. Tant que les batardeaux seront en place, les pieux et les ouvrages devront être en mesure de résister à un affouillement atteignant les élévations de l'affouillement ultime estimées. Étant donné leur durée de vie limitée, si ces ouvrages temporaires ne peuvent résister à un tel affouillement, il est autorisé d'employer une protection flexible en empierrement pour protéger les ouvrages temporaires.

13.4 Affouillement provoqué par les vagues

Les vagues considérées pour évaluer l'affouillement sont les vagues de conception déterminées à la section 12 de la présente étude.

⁸ L.A. Arneson, L.W. Zevenbergen, P.F. Lagasse, P.E. Clopper (2012), *Evaluating scour at bridges 5th edition*, Hydraulic Engineering Circular 18, FHWA

13.4.1 Affouillement aux piles, aux pylônes et aux éléments temporaires

Généralement, l'affouillement lié aux courants sera plus important que l'affouillement lié aux vagues pour des piles, pylônes et batardeaux en conditions marines. Néanmoins, par souci de précaution, l'affouillement pouvant être induit par les vagues a été estimé. L'estimation de l'affouillement ultime a été effectuée en suivant les recommandations du *Coastal Engineering Manual* (C.E.M.).

L'affouillement à ces ouvrages a été estimé en considérant les hypothèses conservatrices suivantes :

- Les calculs indiquent que les piles sont des éléments à large diamètre par rapport à la longueur d'onde des vagues ($D/L_0 > 0,1$);
- À marée haute, la profondeur d'eau ne limite pas les vagues aux ouvrages. La vague H_{\max} peut donc atteindre les ouvrages;
- Les ouvrages, bien qu'ayant pour la plupart une légère inclinaison sur leurs faces, sont considérés comme étant verticaux.

Dans ces conditions, l'affouillement conservateur lié aux vagues à chacun des éléments a été estimé à un affouillement similaire à celui qui affecterait un mur vertical. Cet affouillement S_m est défini comme étant $S_m = H_{\max}$. L'affouillement ultime lié aux vagues est donc de 3,0 m pour toutes les piles, tous les pylônes et tous les batardeaux. Cette valeur est inférieure à la valeur calculée pour les courants. La valeur des courants est donc celle qui doit être retenue.

13.4.2 Affouillement aux culées

L'affouillement a été évalué aux culées en employant l'équation empirique de Fredsoe et Sumer présentée au *Coastal Engineering Manual*.

La valeur maximale calculée d'affouillement aux culées causé par les vagues S_m est de 0,80 m. Cet affouillement a été calculé de manière conservatrice en majorant le paramètre d'incertitude C_u d'un écart type et en négligeant la porosité et la rugosité de l'empierrement.

Cette valeur calculée est inférieure à la valeur d'affouillement prévue pour les courants. L'affouillement causé par les courants sera donc celui considéré pour la conception.

14 PROTECTION DES APPROCHES, DES CULÉES ET DES PILES

À l'aide des conditions d'écoulement, des vagues et des glaces évaluées précédemment, il est possible de dimensionner les protections flexibles aux approches, aux culées et aux piles.

14.1 Approches et culées

Aux approches et aux culées, les courants sont plutôt faibles. Les conditions plus critiques sont engendrées par le couvert de glace et par les vagues.

Les protections ont été évaluées pour des protections ayant une pente maximale de 1V:1,5H.

14.1.1 Protection contre les vagues

La protection requise pour résister aux efforts causés par les vagues a été évaluée à l'aide des équations présentées au tableau VI-5-22 du *Coastal Engineering Manual*.

Les vagues atteignent l'approche et les culées sans être atténuées significativement par le fond. Elles peuvent aussi déferler directement sur ces ouvrages. Dans ces conditions, un calibre minimal de 800-1 200 mm, avec un D_{50} de 1 000 mm, est requis pour résister aux vagues. La pierre devra avoir une densité minimale de 2 600 kg/m³.

Pour éviter que les débits de débordement et les embruns ne posent un risque à la circulation, il est par ailleurs recommandé que le sommet de la protection flexible atteigne l'élévation 7,75 m au référentiel CGVD28 calculée à la section 12 du présent rapport.

14.1.2 Protection contre les glaces

L'évaluation de la protection requise pour résister aux conditions engendrées par les glaces a été effectuée en suivant les recommandations émises dans le *Manuel de références – Génie des glaces* de Donald Carter.

Les glaces sont affectées par le phénomène des marées, ce qui provoque des soulèvements constants du champ de glace. De plus, des impacts par des glaces en mouvement sont à prévoir. Pour résister adéquatement aux glaces, la protection flexible doit avoir un calibre minimal de 1 100-1 400 mm avec un D_{50} de 1 300 mm.

14.1.3 Choix de la protection flexible aux culées et aux approches

Les forces de glace contrôlent le calibre de la protection requise. Pour éviter que les vagues et l'écoulement n'entraînent des matériaux sous-jacents à la carapace et ne la minent, des sous-couches seront nécessaires pour agir à titre de filtres. Ces sous-couches permettront aussi de mieux enchâsser les pierres et d'éviter la formation de plans de glissement. Le tableau qui suit résume les paramètres de conception de la carapace et des sous-couches.

Tableau 14-1 Carapace et sous-couches requises pour protéger les culées et les approches

Couche	Calibre (mm)	D ₅₀ (mm)	Épaisseur (mm)
Carapace	1 100-1 400	1 300	2 600
Sous-couche 1	500-800	650	1 300
Sous-couche 2	200-300	250	500
Sous-couche 3*	0-100	50	200

* La sous-couche 3 peut être remplacée par un géotextile

14.1.4 Généralités pour la mise en place

L'aménagement des extrémités devra être fait selon le dessin normalisé numéro 15 du *Tome III – Ouvrages d'art*, chapitre 2, présenté à l'annexe E.

Le revêtement en pierre devra monter jusqu'à l'élévation 7,75 m, soit au niveau prévu de la remontée des vagues. Une plateforme d'au moins 3,6 m de largeur devra être aménagée au sommet pour recevoir les embruns.

Les pierres utilisées pour le revêtement doivent satisfaire la norme 14501 « Enrochement et revêtements en pierres », du *Tome VII – Matériaux* du Ministère. Elles doivent, notamment, être des pierres de carrière provenant du dynamitage ou des pierres d'une sablière provenant du concassage. Elles doivent également être massives et présenter des arêtes vives.

La mise en place doit être conforme à l'article 15.2.5.6 du *Cahier des charges et devis généraux*. Les pierres doivent être placées avec soin, enchâssées et serrées solidement les unes contre les autres en toutes directions, sans aspérités dépassant la moitié du calibre moyen des pierres. Une pente de talus 1V:2H doit être privilégiée, autant que possible, mais une pente de talus 1V:1.5H peut également être utilisée. Le revêtement doit être le plus lisse possible pour résister aux glaces.

En présence de roc, une clé à la base sera requise pour encastrier la protection sur une profondeur minimale de 650 mm, soit la moitié du diamètre de la plus grosse pierre, autrement la pierre pourrait glisser sur le roc.

14.1.5 Options alternatives

La protection flexible en empierrement peut être prévue à une élévation plus basse de 6,0 m au lieu de 7,75 m, si une plateforme en empierrement de 3,6 m de largeur est aménagée à son sommet et si un muret atteignant l'élévation 7,75 m est aménagée au bout de cette plateforme. La stabilité du mur ne doit pas dépendre de l'empierrement.

La protection en empierrement peut aussi être recouverte d'un aménagement végétal à partir de l'élévation 6,0 m. Il n'est pas recommandé de recouvrir la protection sous cette élévation pour éviter que les ouvrages ne soient lavés par la remontée des vagues, fréquente au site.

14.1.6 Transitions avec les ouvrages existants

Pour effectuer les transitions avec les ouvrages existants et les profils routiers actuellement en place, il est permis de positionner la protection flexible à une élévation moins importante dans les zones de transition. Le sommet de la protection flexible pourra dans ce cas se situer à une élévation de 0,5 m minimalement au-dessus de l'élévation de l'accotement. Pour ces zones de transition, si des problèmes de franchissement se développent, une solution comme un mur avec déflecteur pourra être étudiée.

14.2 Protection flexible aux piles pour prévenir l'affouillement

14.2.1 Piles A2 à A6

Les niveaux d'eau peuvent s'abaisser suffisamment à ces éléments de fondation pour que les glaces accrochent le fond et pour que les vagues interagissent davantage avec les empierrements à ces éléments de fondation. Les pierres placées horizontalement fournissent cependant une bien meilleure résistance face aux vagues et aux glaces.

Un tapis d'enrochement de calibre 600-1 000 mm, avec un D_{50} de 800 mm, et une épaisseur de 1 600 mm, protégera la fondation des pylônes. Le dessus de ce tapis ne devra pas être localisé au-dessus du lit naturel de la rivière. Il devra en effet être enfoui d'au moins 300 mm. Le reste de l'excavation sera comblé avec des pierres de calibre 100-200 mm et un D_{50} de 150 mm. La mise en place de la protection de la fondation de la pile devra être conforme aux figures 2.1-7 et 2.1-8 du chapitre 2 du *Tome III* des normes du Ministère. Cette protection résistera aux vagues et aux glaces.

14.2.2 Pile A7, Pylônes P8 et P9

Le chenal est plus profond au droit de ces ouvrages. L'écoulement contrôlera le calibre des pierres de protection requis pour les tapis de protection flexibles.

Un tapis d'enrochement de calibre 200-300 mm, avec un D_{50} de 250 mm et une épaisseur de 600 mm, protégera la fondation des pylônes. Le dessus de ce tapis ne devra pas être localisé au-dessus du lit naturel de la rivière. Il devra en effet être enfoui d'au moins 300 mm. Le reste de l'excavation sera comblé avec des pierres de calibre 100-200 mm et un D_{50} de 150 mm. La mise en place de la protection de la fondation de la pile devra être conforme aux figures 2.1-7 et 2.1-8 du chapitre 2 du *Tome III* des normes du Ministère. Cette protection résistera aux courants engendrés par la présence des pylônes.

14.2.3 Piles A10 à A18

Ces piles sont construites sur le roc. Le dessous des semelles doit reposer directement sur le roc. Si un réglage est requis, un coussin de support en béton doit être utilisé.

15 CONCLUSION

Le présent rapport donnait suite à une demande d'étude hydraulique, en date du 22 janvier 2019. Les éléments demandés, dont entre autres la conception hydraulique générale de l'ouvrage, l'aménagement des protections contre les conditions maritimes, l'évaluation des impacts environnementaux de nature hydraulique, la détermination des niveaux d'eau et leur évaluation statistique, l'évaluation de la protection contre l'affouillement et l'évaluation des charges de glace, ont tous été couverts dans le présent document.

Ce document offre aussi une revue des études et données disponibles ainsi que des détails sur les choix réalisés pour déterminer les paramètres de conception.

Une partie importante du présent rapport repose sur une modélisation hydrodynamique complexe. Les résultats obtenus de la modélisation sont trop nombreux pour être présentés dans leur entièreté dans un rapport. Les faits saillants ont été soulignés et les valeurs les plus critiques ont été émises. L'équipe de réalisation reste disponible pour extraire des données supplémentaires ou effectuer des modélisations supplémentaires au besoin dans la suite du présent projet.

Les niveaux d'eau à retenir pour la conception sont présentés à la section 5 du présent rapport ainsi qu'aux tableaux placés à la fin de la présente conclusion. Des informations sur les niveaux d'eau lors des travaux sont aussi présentées à la section 9.

Les paramètres pour évaluer les charges de glace ainsi que les dates importantes à retenir au sujet des couverts de glace sont présentés à la section 10 du présent rapport.

Les impacts appréhendés de l'ouvrage sur le milieu naturel sont présentés à la section 11 du présent rapport.

Les profondeurs d'affouillement à considérer pour la sécurité des ouvrages sont présentées à la section 13. Une modélisation physique ou numérique pourrait être envisagée pour raffiner les valeurs conservatrices calculées.

Les calibres d'empierrement à utiliser pour protéger les approches et les unités de fondation sont présentés à la section 14.

Ce rapport n'aborde pas la déconstruction du pont actuel. Cette déconstruction sera étudiée dans un rapport subséquent.

Il est à souligner que les conclusions et recommandations élaborées dans le cadre de cette étude hydraulique ne sont valides que pour la structure P-19555 et ne pourront être utilisées pour d'autres sites, même contigus, sans avoir fait l'objet d'une étude complémentaire.

TABLEAU RELATIF À L'ÉLEVATION DES MARÉES POUR DIFFÉRENTES PÉRIODES DE RETOUR

Période de retour (ans)	2	25	50	100 (Conception)
Niveau d'eau (m)	4,44	4,93	5,02	5,11

Note : Les élévations d'eau de ce tableau correspondent à l'écoulement normal lorsque l'ouvrage sera en service. La présence d'ouvrages temporaires ou d'un embâcle peut causer un rehaussement de ces élévations qu'il faut évaluer selon le cas.

TABLEAU RELATIF À L'ÉLEVATION DES MARÉES SELON LES TABLES DES MARÉES

Station	Montmorency
Pleine mer sup. de grande marée	4,02
Pleine mer sup. de marée moyenne	3,02
Niveau moyen de l'eau	0,72
Basse mer inf. de marée moyenne	-1,48
Basse mer inf. de grande marée	-1,98



ANNEXE A
ANALYSE DES STATIONS
MARÉGRAPHIQUES

A.1 Analyse de la station de Saint-Joseph-de-la-Rive (3057)

La station de Saint-Joseph-de-la-Rive est située au nord-est de l'île d'Orléans, dans l'estuaire fluvial du Saint-Laurent. La marée à Saint-Joseph-de-la-Rive suit un cycle semi-diurne. C'est-à-dire qu'il y a deux cycles par jour, avec des pics de pleine mer présentant des similarités et des creux de basse mer présentant aussi des similarités. L'onde de marée ne montre pas d'effet significatif provenant des débits du fleuve en amont. La figure qui suit est une onde de marée enregistrée en août 2009 sur une durée de quelques jours à la station.

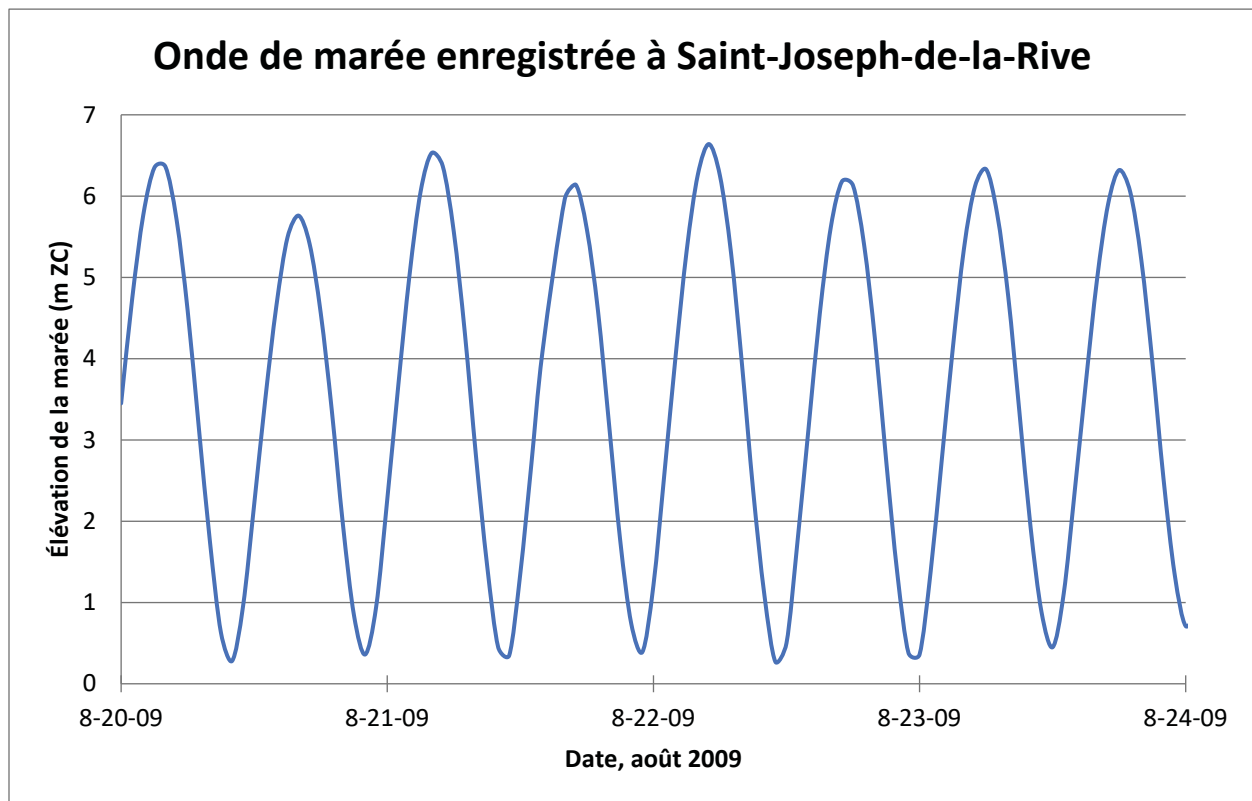


Figure A.1 Onde de marée à Saint-Joseph-de-la-Rive

Les données d'enregistrement à la station ont été téléchargées sur le site Web⁹ de Pêches et Océans Canada en novembre 2020. Les données téléchargées étaient référencées au Zéro des Cartes. La conversion vers le CGVD28 s'est fait en appliquant aux mesures une valeur de -3,375 m tirée des Spécifications Altimétriques 2020, 206-F12¹⁰.

⁹ <http://www.isdm-gdsi.gc.ca/isdm-gdsi/twl-mne/inventory-inventaire/sd-ds-fra.asp?no=3057&user=isdm-gdsi®ion=PAC>.
Page visitée en novembre 2020.

¹⁰ Fournies par le Service hydrographique du Canada

Selon les Tables des marées 2019, les marées à la station 3057 ont les propriétés suivantes.

Tableau A.1 Propriétés des marées à Saint-Joseph-de-la-Rive

Type de marée	Zéro des Cartes (m)	CGVD28 (m)
Pleine mer supérieure de grande marée	6,60	3,23
Pleine mer supérieure de marée moyenne	5,80	2,43
Niveau moyen de l'eau	3,40	0,02
Basse mer inférieure de marée moyenne	1,00	-2,38
Basse mer inférieure de grande marée	-0,20	-3,58

Le marnage à Saint-Joseph-de-la-Rive est très important, comme en témoignent les valeurs du tableau précédent. Il peut atteindre 6,8 m. À cela s'ajoute l'effet des surcotes pouvant être causé par les tempêtes. Le tableau qui suit donne les enregistrements maximaux à la station 3057 pour les années 1979 à 2018.

Tableau A.2 Maximums annuels enregistrés à la station 3057

Année	Maximum (m CGVD28)	Année	Maximum (m CGVD28)
1979	3,865	2000	3,675
1980	3,555	2001	3,555
1981	3,525	2002	3,615
1982	3,715	2003	3,635
1983	3,675	2004	3,365
1984	3,855	2005	3,525
1985	3,485	2006	3,475
1986	3,535	2007	3,645
1987	3,505	2008	3,685
1988	3,575	2009	3,665
1989	3,605	2010	4,195
1990	3,745	2011	3,615
1991	3,405	2012	3,465
1992	3,565	2013	3,655
1993	4,115	2014	3,565
1994	3,665	2015	3,735
1995	3,585	2016	3,705
1996	3,505	2017	3,895
1997	3,945	2018	3,665
1998	3,555	2019	3,695
1999	3,545	2020	3,725

Les enregistrements à la station 3057 permettent d'évaluer des niveaux de périodes de retour pour différentes combinaisons de marées et de surcotes. À partir des données enregistrées entre 1979 et 2020, une analyse statistique sur les niveaux d'eau enregistrés a été effectuée. De cette analyse, il en ressort les valeurs suivantes pour différentes périodes de retour.

Tableau A.3 Niveaux d'eau à Saint-Joseph-de-la-Rive pour différentes périodes de retour

Période de retour	Élévation (m CGVD28)
2 ans	3,62
5 ans	3,77
10 ans	3,87
20 ans	3,97
25 ans	4,00
50 ans	4,09
100 ans	4,19

Les dix événements provoquant les niveaux les plus élevés à la station entre 1979 et 2018 ont aussi été recensés. Une récurrence approximative en a aussi été tirée pour évaluer quelle était leur ampleur. Ils sont présentés au tableau qui suit.

Tableau A.4 Sommaire des dix événements les plus importants enregistrés à la station 3057

Dates marquantes	Heure	m CGVD28	Récurrence approx.
6 décembre 2010	16 : 00	4,195	100 ans
14 mars 1993	9 : 00	4,115	50 ans
30 décembre 1997	17 : 00	3,945	20 ans
15 mars 2017	6 : 00	3,895	10 ans
27 janvier 1979	15 : 00	3,865	10 ans
17 avril 1984	5 : 00	3,855	10 ans
10 janvier 1997	17 : 00	3,845	10 ans
4 décembre 1990	18 : 00	3,745	5 ans
29 octobre 2015	17 : 00	3,735	3 à 5 ans
10 avril 2020	5 : 00	3,725	3 à 5 ans

L'événement le plus marquant enregistré correspond aux grandes marées de décembre 2010. À ce moment, à Rimouski¹¹, on a enregistré une surcote excédant 1 m, combinée à une marée de nouvelle lune très près de la pleine mer supérieure de grande marée. L'analyse montre que les tempêtes provoquant des surcotes majeures semblent principalement avoir lieu à l'hiver et au printemps.

¹¹ <http://www.qc.dfo-mpo.gc.ca/infoceans/201102/article2-fra.html>. Page visitée en novembre 2020

A.2 Analyse de la station de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans (3100)

La station de Saint-François est située près de la pointe est de l'île d'Orléans, là où le fleuve Saint-Laurent devient l'estuaire du Saint-Laurent et là où les eaux salées et douces commencent à se mélanger. À cet endroit, la marée est semi-diurne. L'onde de marée présente un flot et un jusant qui sont mieux centrés qu'aux stations plus en amont. La figure qui suit est une onde de marée enregistrée en août 2009 sur une durée de quelques jours à la station.

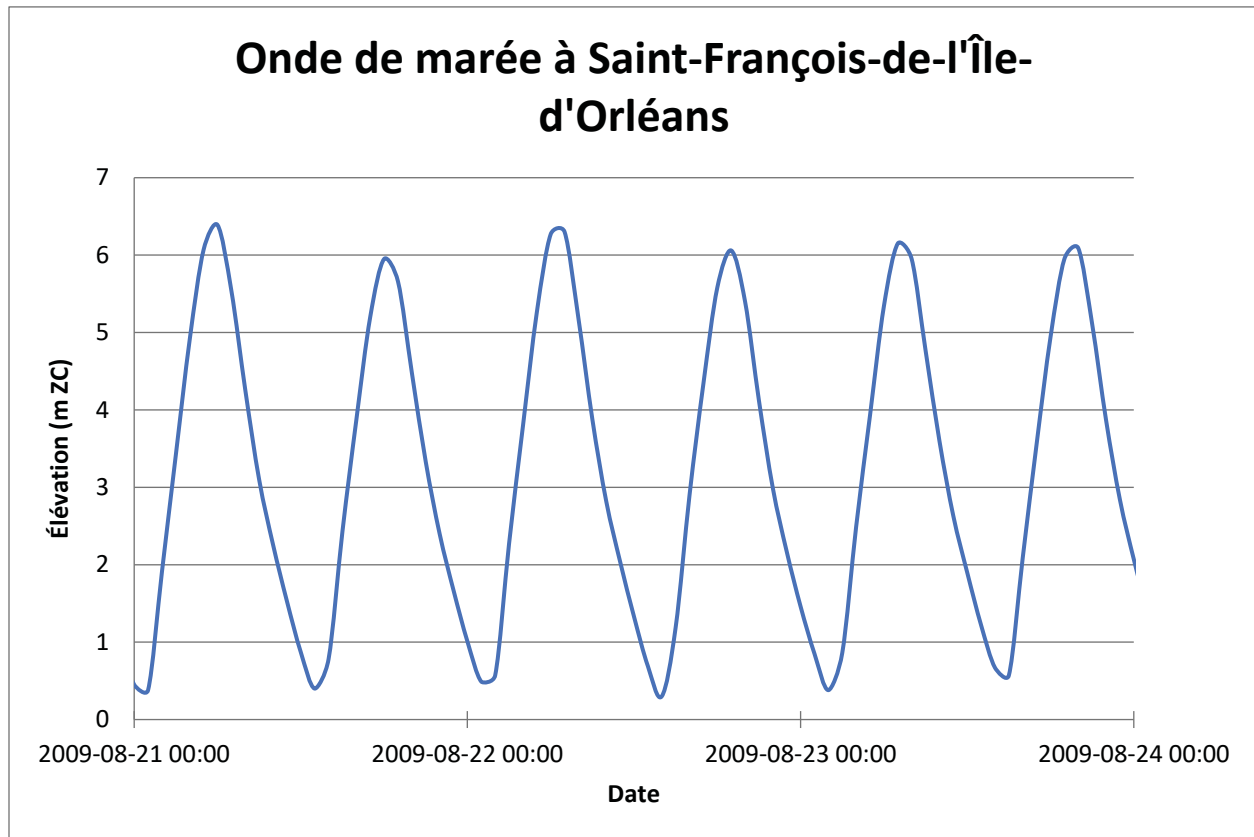


Figure A.2 Onde de marée à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans

Les données d'enregistrement à la station ont été téléchargées sur le site Web¹² de Pêches et Océans Canada en novembre 2020. Les données téléchargées étaient référencées au Zéro des Cartes. La conversion vers le CGVD28 s'est fait en appliquant aux mesures une valeur de -2,523 m tirée des Spécifications Altimétriques 2020 206-F12.

¹² <http://www.isdm-gdsi.gc.ca/isdm-gdsi/twl-mne/inventory-inventaire/sd-ds-fra.asp?no=3100&user=isdm-gdsi®ion=PAC>.
Page visitée en septembre 2019.

Selon les Tables des marées 2020, les marées à la station 3100 ont les propriétés suivantes.

Tableau A.5 Propriétés des marées à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans (3100)

Type de marée	Zéro des Cartes (m)	CGVD28 (m)
Pleine mer supérieure de grande marée	6,80	4,28
Pleine mer supérieure de marée moyenne	5,50	2,98
Niveau moyen de l'eau	2,90	0,38
Basse mer inférieure de marée moyenne	0,60	-1,92
Basse mer inférieure de grande marée	0,10	-2,42

Le marnage à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans est très important, comme en témoignent les valeurs du tableau précédent. Il peut atteindre 6,7 m. À cela s'ajoute l'effet des surcotes pouvant être causé par les tempêtes. Le tableau qui suit présente les enregistrements maximaux de 1979 à 2020 à la station 3100.

Tableau A.6 Maximums annuels enregistrés à la station 3100

Année	Maximum (m CGVD28)	Année	Maximum (m CGVD28)
1979	4,587	2000	4,527
1980	4,157	2001	4,267
1981	4,347	2002	4,497
1982	4,177	2003	4,497
1983	4,347	2004	4,827
1984	4,717	2005	4,447
1985	4,167	2006	4,287
1986	4,517	2007	4,677
1987	4,737	2008	4,727
1988	4,317	2009	4,667
1989	4,327	2010	4,937
1990	4,667	2011	4,347
1991	4,257	2012	4,257
1992	4,387	2013	4,747
1993	4,287	2014	4,517
1994	4,287	2015	4,637
1995	4,567	2016	4,387
1996	4,237	2017	5,167
1997	4,857	2018	4,487
1998	4,397	2019	4,537
1999	4,237	2020	4,877

Les enregistrements à la station 3100 permettent d'évaluer des niveaux de différentes périodes de retour pour différentes combinaisons de marées et de surcotes. À partir des données enregistrées entre 1979 et 2020, une analyse statistique sur les niveaux d'eau enregistrés a été effectuée. De cette analyse, il en ressort les valeurs suivantes pour différentes récurrences.

Tableau A.7 Niveaux d'eau à Saint-François-de-l'Île-d'Orléans pour différentes périodes de retour

Période de retour	Élévation (m CDVG28)
2 ans	4,47
5 ans	4,68
10 ans	4,81
20 ans	4,92
25 ans	4,95
50 ans	5,06
100 ans	5,16

Les dix événements provoquant les niveaux les plus élevés à la station entre 1979 et 2018 ont aussi été recensés. Une récurrence approximative en a aussi été tirée pour évaluer quelle était leur ampleur. Ils sont présentés au tableau qui suit.

Tableau A.8 Sommaire des dix événements les plus importants enregistrés à la station 3100

Date	Heure	m CGVD28	Récurrence
15 mars 2017	7 : 00	5,167	100
6 décembre 2010	18 : 00	4,937	25
10 avril 2020	7 : 00	4,877	10 à 20
30 décembre 1997	18 : 00	4,857	10 à 20
11 décembre 2004	17 : 00	4,827	10
3 janvier 2010	7 : 00	4,797	10
26 mai 2013	6 : 00	4,747	10
2 janvier 1987	19 : 00	4,737	5 à 10
9 mars 2008	6 : 00	4,727	5 à 10
17 avril 1984	6 : 00	4,717	5 à 10

Il est possible de constater que la station est fortement influencée par les grandes marées, comme en témoigne l'événement de décembre 2010 qui a eu un impact majeur localement à cet endroit. L'événement de mars 2017, durant lequel les marées étaient très élevées à Saint-Joseph-de-la-Rive et les niveaux d'eau très hauts à Neuville, est l'événement ayant provoqué le plus fort enregistrement, avec une récurrence de 100 ans.

A.3 Analyse de la station de Sainte-Anne-de-Beaupré (3087)

La station 3087 située à Sainte-Anne-de-Beaupré, dans le chenal au nord, ne possède qu'un été de mesures récentes. Les niveaux enregistrés à la station ont été comparés aux niveaux mesurés à la station voisine de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans pour évaluer l'écart observable entre les mesures aux deux stations. En général, l'écart entre les pics est inférieur à 20 cm et souvent inférieur à 10 cm. La figure qui suit est une comparaison au CGVD28 entre les deux stations sur dix jours.

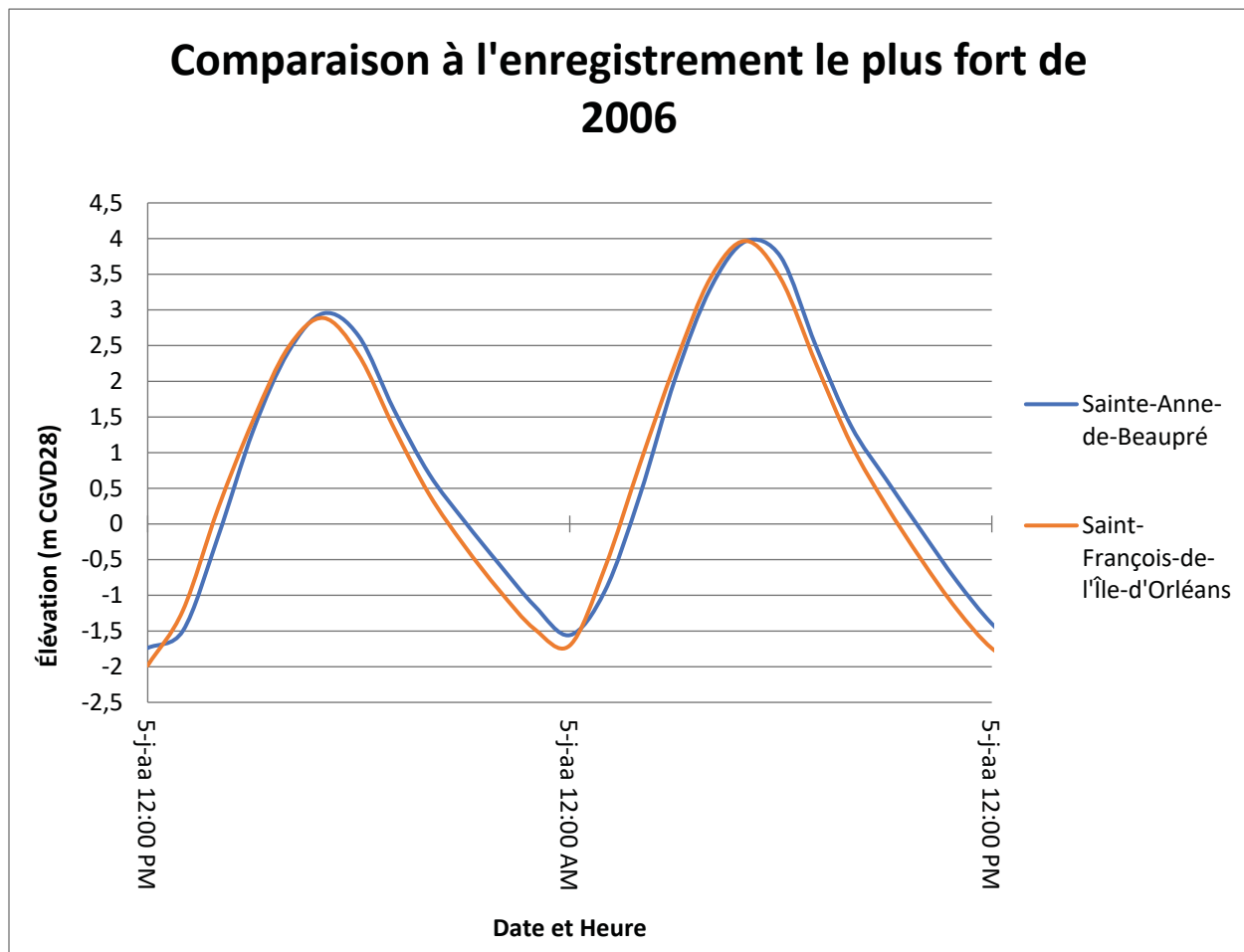


Figure A.3 Comparaison des marées entre les stations 3087 et 3100 sur dix jours

Il y a aussi un léger déphasage temporel entre les mesures aux deux stations. Il est observable à la figure qui suit. Cette figure montre la journée durant laquelle les niveaux les plus élevés ont été atteints lors du déploiement de la station de Sainte-Anne-de-Beaupré. L'écart au pic est négligeable.

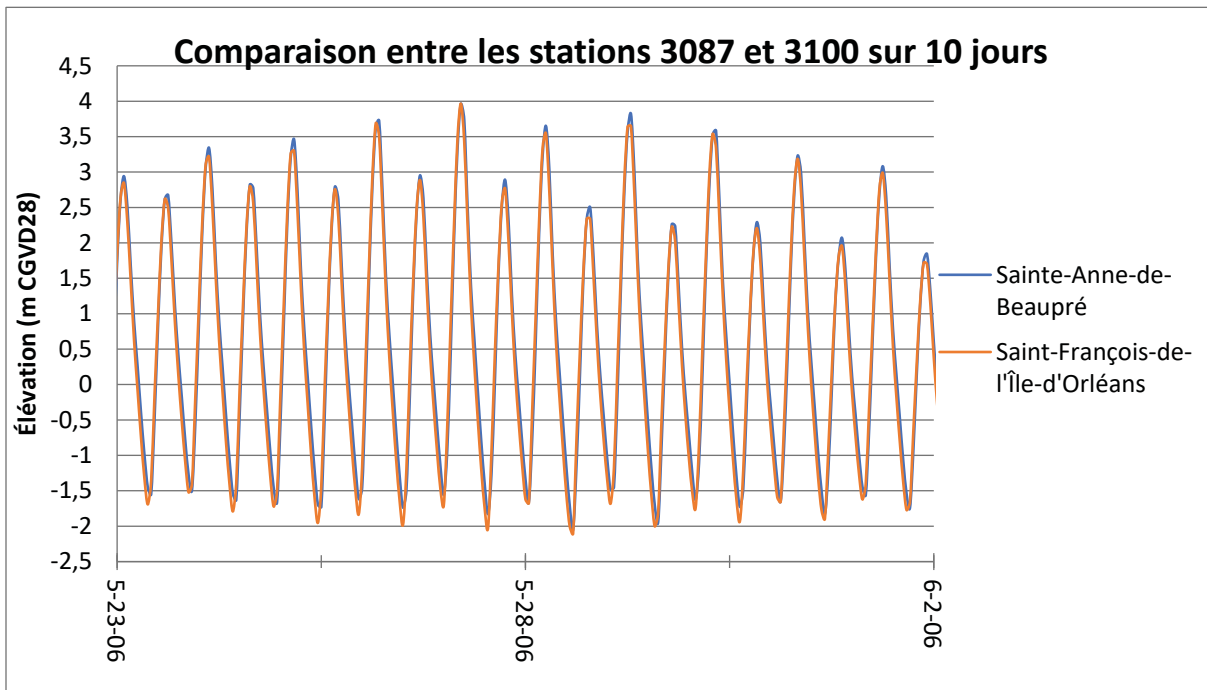


Figure A.4 Ondes de marées comparées entre les stations 3087 et 3100

Comme il est possible de le constater aux deux figures différentes, l'onde de marée aux deux stations présente de nombreuses similarités et une forme presque identique. Il est donc concevable d'utiliser les données historiques de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans pour établir des conditions de conception dans le chenal de l'Île.

Selon les Tables des marées 2020, les marées à la station 3087 ont les propriétés suivantes.

Tableau A.9 Propriétés des marées à Sainte-Anne-de-Beaupré (3087)

Type de marée	Zéro des Cartes (m)	CGVD28 (m)
Pleine mer supérieure de grande marée	6,60	4,21
Pleine mer supérieure de marée moyenne	5,60	3,21
Niveau moyen de l'eau	2,90	0,51
Basse mer inférieure de marée moyenne	0,60	-1,79
Basse mer inférieure de grande marée	-0,10	-2,49

A.4 Analyse des stations de Lauzon et de Québec (3250 et 3248)

La station de Québec est pleinement en service depuis 2010. La station de Lauzon a été en fonction de 1894 à 2012. La station de Québec a donc remplacé la station de Lauzon. Pour l'événement majeur du 6 décembre 2010, l'écart entre les pics aux deux stations était d'environ 2 cm. La figure qui suit montre l'onde de marée les 6 et 7 décembre 2010. Étant donné cette similitude très forte, les données aux deux stations ont été analysées comme étant les données d'une seule station, ce qui permet d'avoir une série temporelle plus complète.

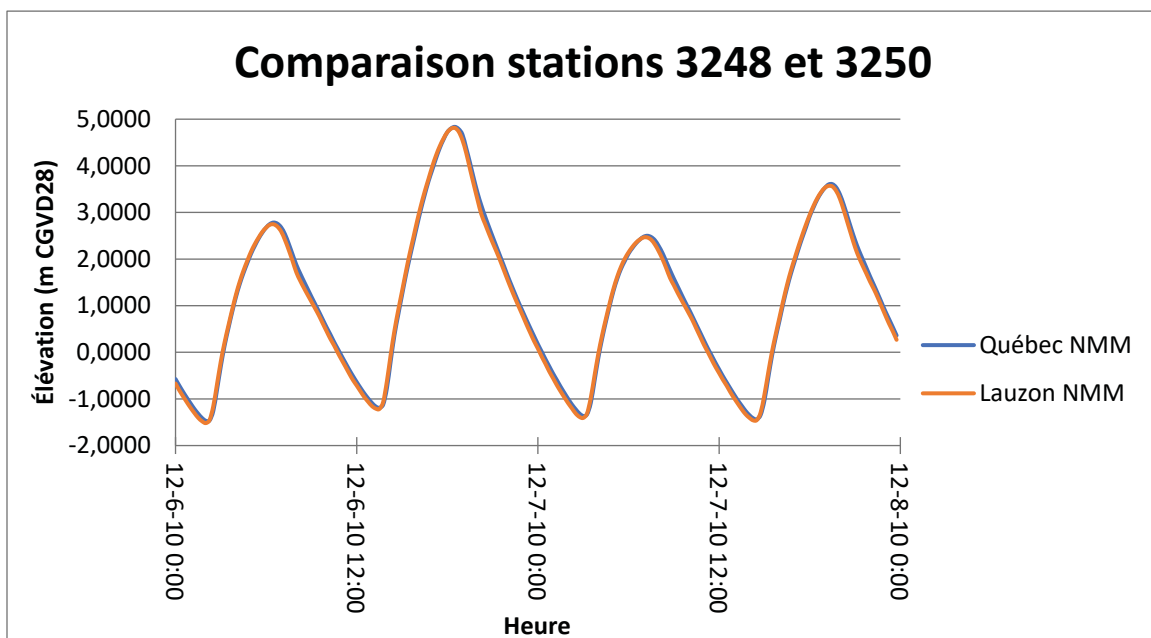


Figure A.5 La comparaison entre Lauzon et Québec montre des courbes presque parfaitement superposées

La station de Lauzon est située à la jonction des chenaux nord et sud du Saint-Laurent à l'île d'Orléans. La station est à moins de 6 km du pont de l'Île-d'Orléans. La station de Québec est située dans l'étranglement du fleuve entre Lévis et le Vieux-Québec, à environ 9 km du pont. La marée joue un rôle prépondérant sur l'écoulement à ces endroits. La marée suit un cycle semi-diurne. C'est-à-dire qu'il y a deux cycles par jour, avec des pics de pleine mer présentant des similarités et des creux de basse mer présentant aussi des similarités. L'onde de marée montre une déformation, avec un flot plus rapide et un jusant plus lent. La figure qui suit est une onde de marée enregistrée en août 2009 sur une durée de quelques jours à la station.

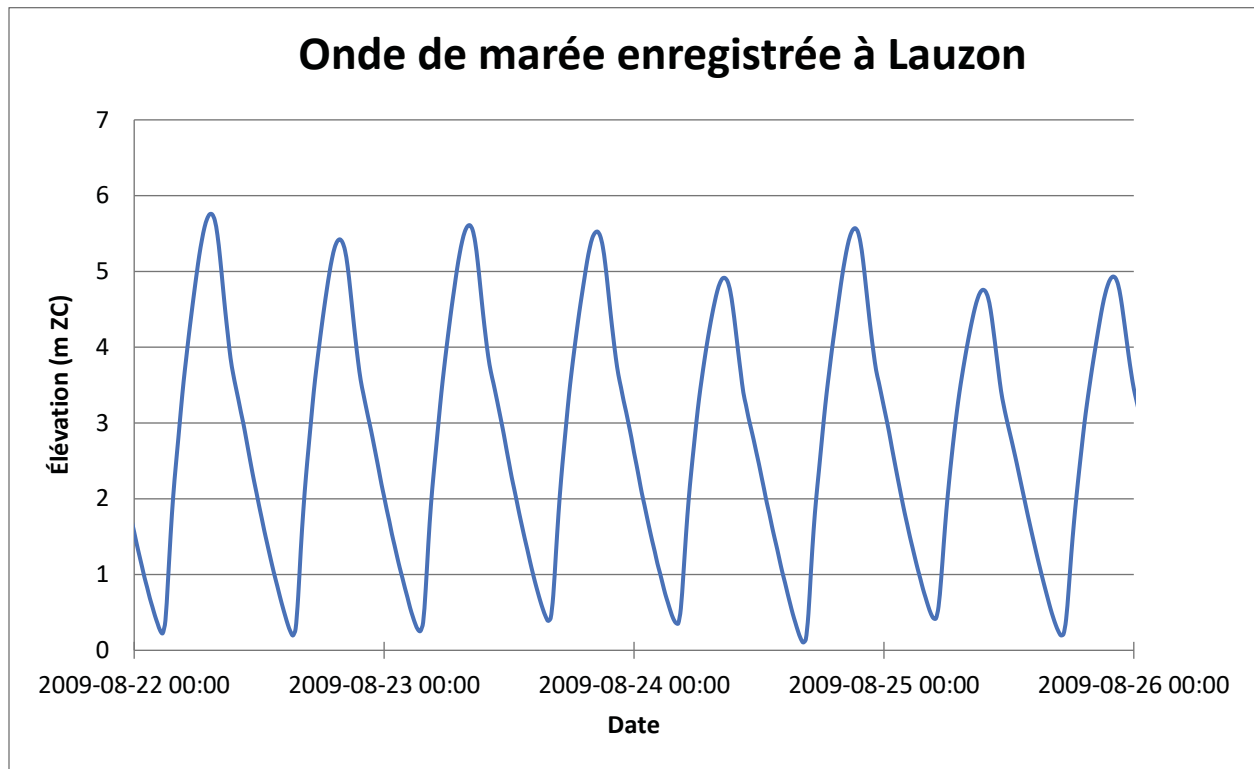


Figure A.6 Onde de marée à Lauzon

Les données d'enregistrement à la station ont été téléchargées sur le site Web¹³ de Pêches et Océans Canada en novembre 2020. Les données téléchargées étaient référencées au Zéro des Cartes. Pour Lauzon, la conversion vers le CGVD28 s'est fait en appliquant aux mesures une valeur de -1,958 m tirée des Spécifications Altimétriques 2020 206-F12. Pour Québec, la conversion s'est fait avec la valeur -1,982 m.

Selon les Tables des marées 2020, les marées aux stations 3248 et 3250 ont les propriétés suivantes.

Tableau A.10 Propriétés des marées à Québec (Lauzon) (3250)

Type de marée	Zéro des Cartes (m)	CGVD28 (m)
Pleine mer supérieure de grande marée	6,10	4,14
Pleine mer supérieure de marée moyenne	4,80	2,84
Niveau moyen de l'eau	2,60	0,64
Basse mer inférieure de marée moyenne	0,40	-1,56
Basse mer inférieure de grande marée	-0,10	-2,06

¹³ <http://www.isdm-gdsi.gc.ca/isdm-gdsi/twl-mne/inventory-inventaire/sd-ds-fra.asp?no=3250&user=isdm-gdsi®ion=PAC>.
Page visitée en novembre 2020.

Le marnage est très important. Il peut atteindre 6,2 m. À cela s'ajoute l'effet des surcotes pouvant être causé par les tempêtes. Les enregistrements aux stations 3248 et 3250 permettent d'évaluer des niveaux de différentes périodes de retour pour différentes combinaisons de marées, de surcotes et de débits. Les enregistrements sont présentés au tableau qui suit.

Tableau A.11 Maximums annuels enregistrés aux stations 3248/3250

Année	Maximum (m CGVD28)	Année	Maximum (m CGVD28)
1979	4,302	2000	4,214
1980	4,152	2001	4,084
1981	4,252	2002	4,473
1982	4,112	2003	4,452
1983	4,302	2004	4,831
1984	4,852	2005	4,488
1985	4,122	2006	4,218
1986	4,462	2007	4,537
1987	4,802	2008	4,629
1988	4,242	2009	4,57
1989	4,602	2010	4,812
1990	4,292	2011	4,328
1991	4,162	2012	4,122
1992	5,004	2013*	4,804
1993	4,311	2014*	4,765
1994	4,309	2015*	4,288
1995	4,264	2016*	4,350
1996	4,650	2017*	5,033
1997	4,353	2018*	4,572
1998	4,302	2019*	4,578
1999	4,088	2020*	4,798

**Données ajustées de la station de Québec*

À partir des données enregistrées entre 1979 et 2020, une analyse statistique sur les niveaux d'eau enregistrés a été effectuée. De cette analyse, il en ressort les valeurs suivantes pour différentes périodes de retour.

Tableau A.12 Niveaux d'eau à Lauzon et à Québec pour différentes périodes de retour

Période de retour	Élévation (m CDVG28)
2 ans	4,44
5 ans	4,67
10 ans	4,79
20 ans	4,90
25 ans	4,93
50 ans	5,02
100 ans	5,11

Les dix événements provoquant les niveaux les plus élevés à la station entre 1979 et 2020 ont aussi été recensés. Une période de retour approximative en a aussi été tirée pour évaluer quelle était leur ampleur. Ils sont présentés au tableau qui suit.

Tableau A.13 Sommaire des dix événements les plus importants enregistrés aux stations 3250 et 3248

Événement historique	Heure	m CGVD28	Période de retour	Station	Pression (kPa)
15 mars 2017	8 : 00	5,03	50-100 ans	Québec	98,16
14 mars 1993	10 : 30	5,00	50 ans	Lauzon	96,54
17 avril 1984	7 : 00	4,85	20 ans	Lauzon	98,97
11 décembre 2004	17 : 30	4,83	10-20 ans	Lauzon	98,61
6 décembre 2010	18 : 30	4,81	10-20 ans	Lauzon	96,82
26 mai 2013	18 : 45	4,80	10-20 ans	Québec	100,29
10 avril 2020	8 : 00	4,80	10 ans	Québec	97,75
10 décembre 2014	21 : 00	4,77	10 ans	Québec	99,71
3 janvier 2010	7 : 45	4,70	5-10 ans	Lauzon	98,09
30 décembre 1997	18 : 45	4,65	5 ans	Lauzon	96,53

L'analyse des données montre que les événements les plus importants en matière de niveaux d'eau se produisent principalement au printemps (mars-avril) et au début de l'hiver. C'est donc la crue printanière du Saint-Laurent et les tempêtes hivernales qui dictent majoritairement les niveaux élevés. La marée et les surcotes ont une influence plus marquée qu'à Neuville, par exemple. Dans le cas du 6 décembre 2010, qui avait produit un niveau de récurrence 100 ans à Saint-Joseph-de-la-Rive, on constate un événement de récurrence située entre 10 et 20 ans à Québec et Lauzon, ce qui est très important.

A.5 Analyse de la station du Pont de l'Île-d'Orléans – Montmorency (3095)

Le pont de l'Île-d'Orléans a été instrumenté avec un marégraphe durant l'été 2014. Les données d'enregistrement à la station ont été obtenues de Pêches et Océans Canada en avril 2017. Les données étaient référencées au Zéro des Cartes. La conversion vers le CGVD28 s'est fait en appliquant aux mesures une valeur de -1,778 m tirée des Spécifications Altimétriques 2020 206-F12.

Pour l'événement s'étant produit le 15 juin 2014, avec le niveau d'eau le plus élevé, les niveaux ont pu être comparés avec la station de Québec. Le graphique de la figure suivante montre les ondes de marées aux deux stations.

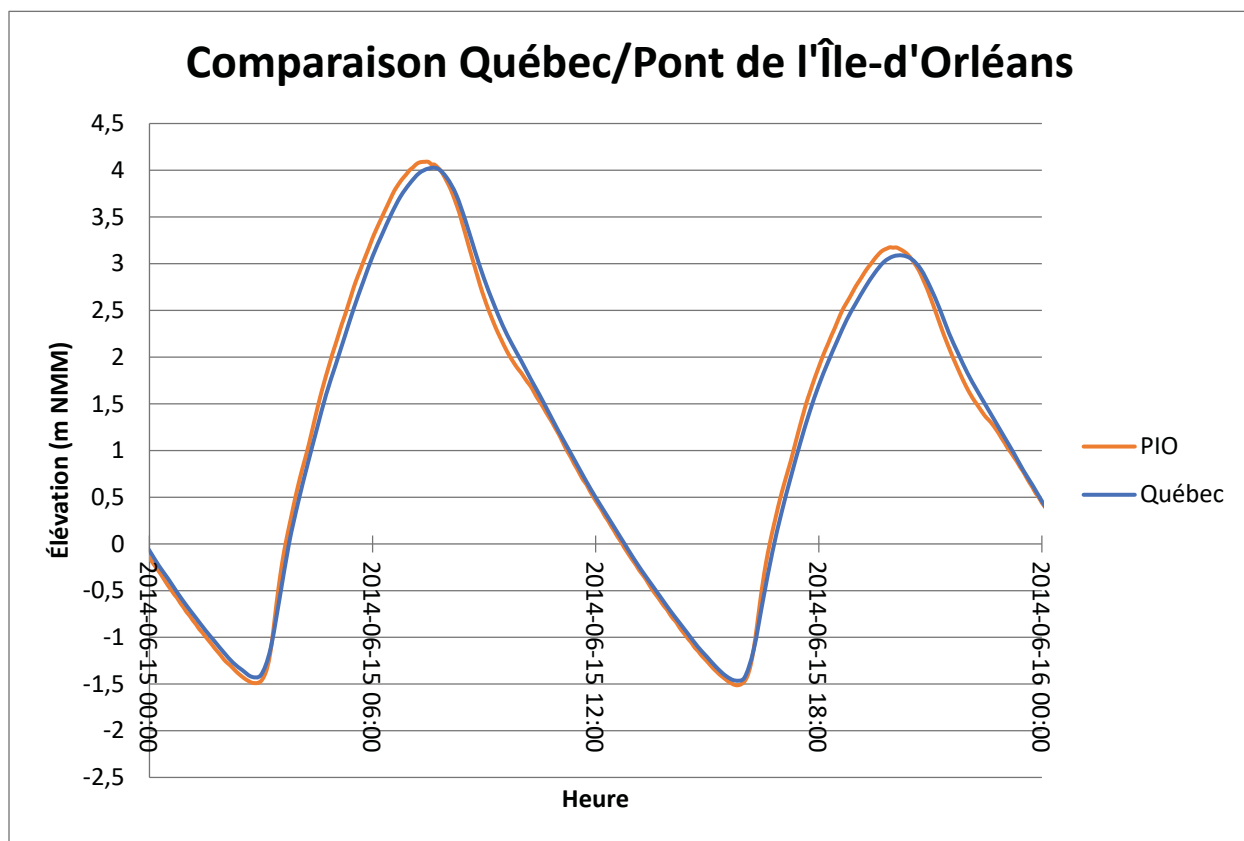


Figure A.7 Comparaison entre la marée à la station du pont 3095 et celle de Québec 3248 le 15 juin 2014

La différence observée entre les deux pics maximums est de 7 cm. La station 3095 donnait le niveau le plus élevé. Le pic a été enregistré à 7 h 20 – 7 h 25 à la station 3095 et à 7 h 30 – 7 h 45 à la station 3248, donc quelque part entre 10 et 20 minutes d'intervalle.

Une comparaison sur un mois permet de constater que l'écart sur les pics de pleine mer et de basse mer est d'environ 10 cm tout au plus et souvent moindres. La figure qui suit est une comparaison du 10 juin au 10 juillet 2014.

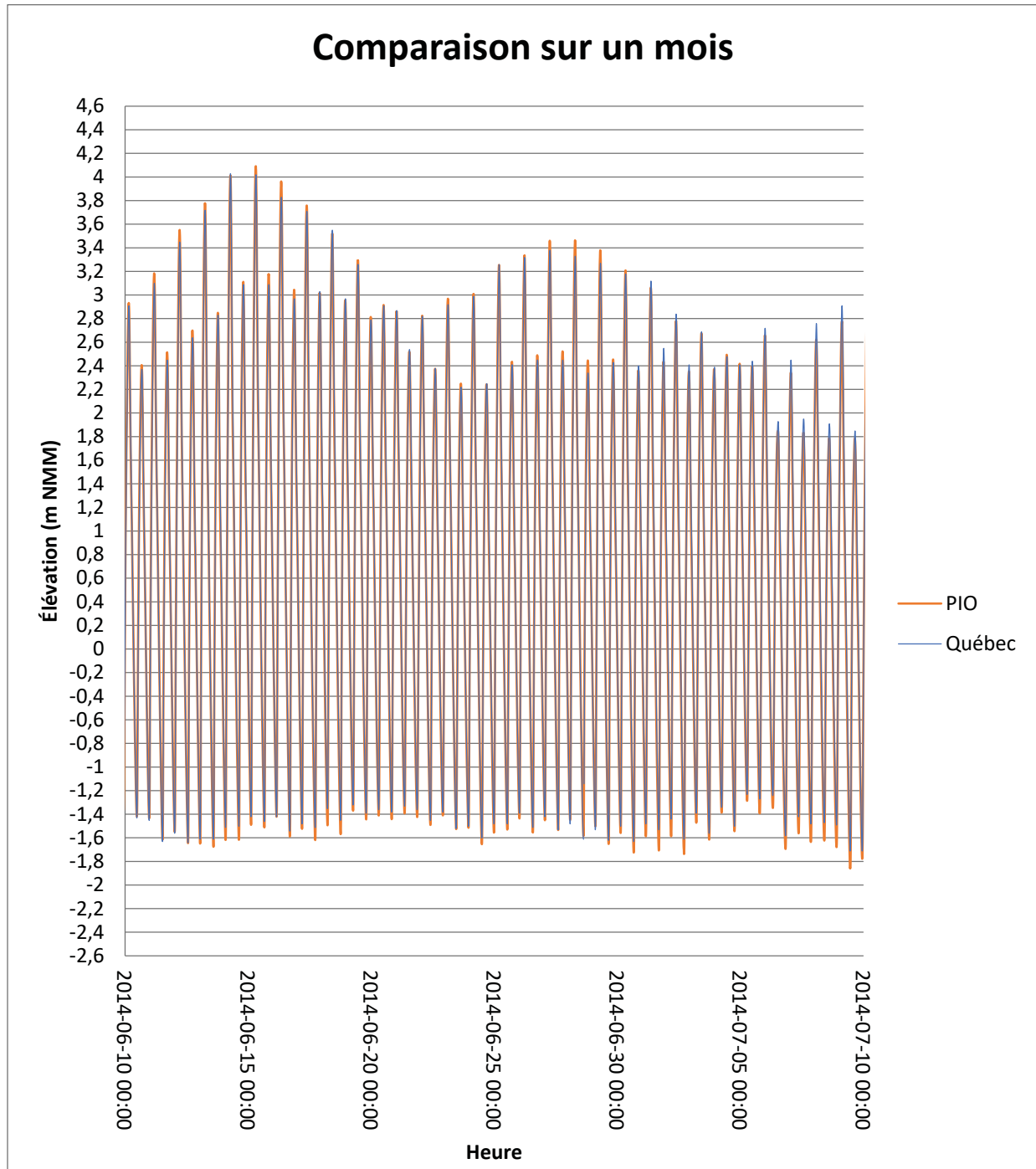


Figure A.8 Comparaison sur un mois de la marée au pont de l'Île-d'Orléans et à Québec

Les très faibles écarts entre les deux stations font qu'il est possible de prendre les données historiques enregistrées à Québec et à Lauzon pour établir des conditions de conception au pont de l'Île-d'Orléans.

En plus d'établir la proximité des valeurs entre Québec, Lauzon et la station du pont de l'Île-d'Orléans, le marnage régulier à la station a aussi été évalué à l'aide des Tables des marées 2019.

Selon les Tables des marées 2020, les marées à la station 3095 ont les propriétés suivantes.

Tableau A.14 Propriétés des marées au pont de l'Île-d'Orléans

Type de marée	Zéro des Cartes (m)	CGVD28 (m)
Pleine mer supérieure de grande marée	5,80	4,02
Pleine mer supérieure de marée moyenne	4,80	3,02
Niveau moyen de l'eau	2,50	0,72
Basse mer inférieure de marée moyenne	0,30	-1,48
Basse mer inférieure de grande marée	-0,20	-1,98

Le marnage est considérable. Il peut atteindre 6,0 m sans l'effet des surcotes et des décotes de tempêtes.

A.6 Analyse de la station de Neuville (3280)

La station de Neuville est située en amont des villes de Québec et de Lévis. À cet endroit, le Saint-Laurent est dans sa partie fluviale. La marée joue encore un rôle important sur l'écoulement, les débits et les niveaux d'eau. L'influence du débit de l'amont se fait sentir davantage. La marée est de type mixte, surtout semi-diurne, c'est-à-dire qu'il y a deux cycles de marées complètes par jour, mais que ces cycles ont des pics inégaux et une distribution temporelle différente. Dans ce cas précis, on observe que la montée des eaux lors du flot est plus rapide que la baisse qui s'ensuit lors du jusant. La figure qui suit est une onde de marée enregistrée en août 2009 sur une durée de quelques jours à la station.

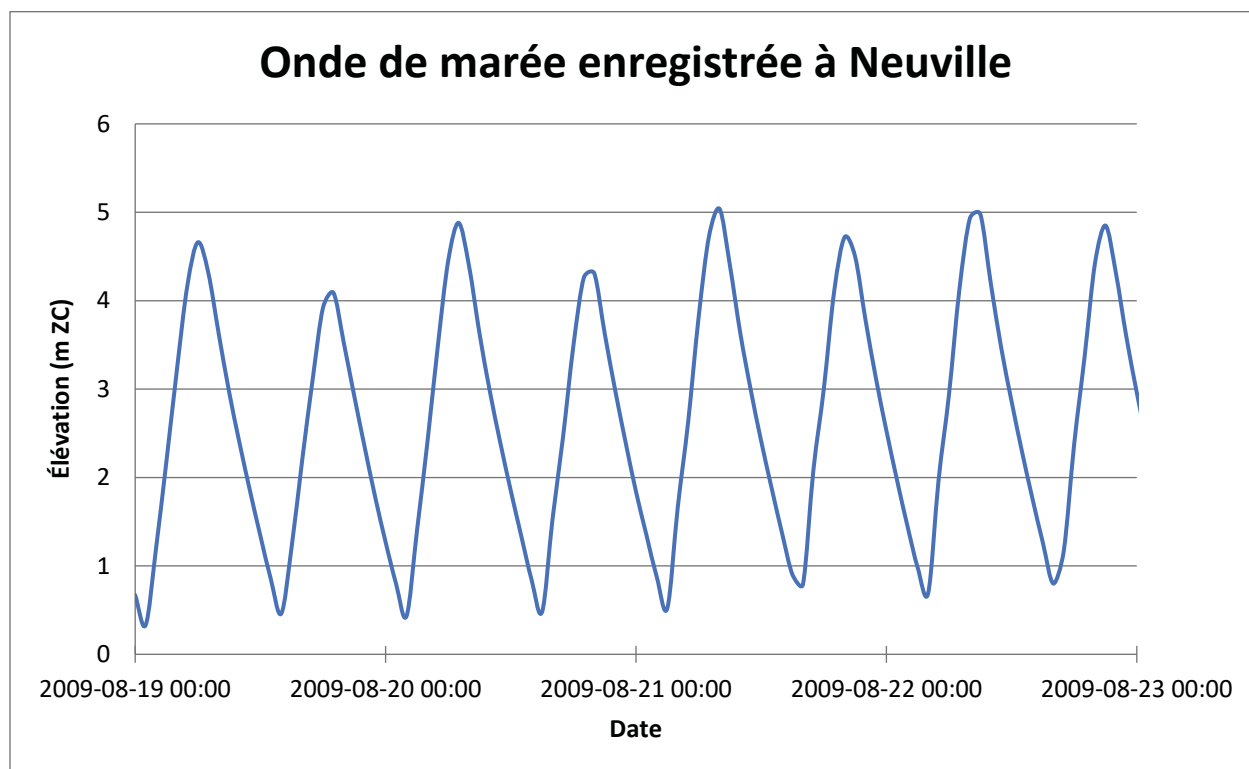


Figure A.9 Onde de marée à Neuville

Les données d'enregistrement à la station ont été téléchargées sur le site Web¹⁴ de Pêches et Océans Canada en novembre 2020. Les données téléchargées étaient référencées au Zéro des Cartes. La conversion vers le CGVD28 s'est fait en appliquant aux mesures une valeur de -1,374 m tirée des Spécifications Altimétriques 2020 206-F12.

Selon les Tables des marées 2020, les marées à la station 3280 ont les propriétés suivantes.

Tableau A.15 Propriétés des marées à Neuville (3280)

Type de marée	Zéro des Cartes (m)	CGVD28 (m)
Pleine mer supérieure de grande marée	5,40	4,03
Pleine mer supérieure de marée moyenne	4,30	2,93
Niveau moyen de l'eau	2,50	1,13
Basse mer inférieure de marée moyenne	0,60	-0,77
Basse mer inférieure de grande marée	0,00	-1,37

¹⁴ <http://www.isdm-gdsi.gc.ca/isdm-gdsi/twl-mne/inventory-inventaire/sd-ds-fra.asp?no=3280&user=isdm-gdsi®ion=PAC>.
Page visitée en novembre 2020.

Le marnage à Neuville est significatif, comme en témoignent les valeurs du tableau précédent. Il peut atteindre 5,4 m. À cela s'ajoute l'effet des surcotes pouvant être causé par les tempêtes et par les débits du fleuve Saint-Laurent. Les enregistrements à la station 3057 permettent d'évaluer des niveaux à différentes périodes de retour pour différentes combinaisons de marées, de surcotes et de débits. Les maximums annuels de 1979 à 2020 sont donnés au tableau qui suit.

Tableau A.16 Maximums annuels enregistrés à la station 3280

Année	Maximum (m CGVD28)	Année	Maximum (m CGVD28)
1979	4,356	2000	4,226
1980	4,396	2001	4,046
1981	4,356	2002	4,546
1982	4,346	2003	4,446
1983	4,576	2004	4,656
1984	5,106	2005	4,826
1985	4,376	2006	4,206
1986	4,596	2007	4,606
1987	4,586	2008	4,656
1988	4,526	2009	4,476
1989	4,246	2010	4,666
1990	4,676	2011	4,576
1991	4,586	2012	4,346
1992	4,156	2013	4,866
1993	4,836	2014	4,836
1994	4,306	2015	4,266
1995	4,596	2016	4,486
1996	4,316	2017	5,036
1997	4,606	2018	4,586
1998	4,876	2019	4,686
1999	4,096	2020	5,086

À partir des données enregistrées entre 1979 et 2020, une analyse statistique sur les niveaux d'eau enregistrés a été effectuée. De cette analyse, il en ressort les valeurs suivantes pour différentes périodes de retour.

Tableau A.17 Niveaux d'eau à Neuville (3280) pour différentes périodes de retour

Période de retour	Élévation (m CDVG28)
2 ans	4,53
5 ans	4,75
10 ans	4,87
20 ans	4,98
25 ans	5,01
50 ans	5,10
100 ans	5,18

Les dix événements provoquant les niveaux les plus élevés à la station entre 1979 et 2020 ont aussi été recensés. Une période de retour approximative en a aussi été tirée pour évaluer quelle était leur ampleur. Ils sont présentés au tableau qui suit.

Tableau A.18 Sommaire des dix événements les plus importants enregistrés à la station 3280

Date	Heure	m CGVD28	Période de retour
17 avril 1984	8 : 00	5 106	50 ans
10 avril 2020	9 : 00	5 086	25-50 ans
15 mars 2017	9 : 00	5 036	25 ans
2 avril 1998	11 : 00	4 876	10 ans
26 mai 2013	8 : 00	4 866	10 ans
14 mars 1993	11 : 00	4 836	10 ans
10 décembre 2014	22 : 00	4 836	10 ans
28 avril 2017	8 : 00	4 836	10 ans
25 avril 2005	8 : 00	4 826	10 ans
21 avril 2019	8 : 00	4 686	3-5 ans

L'analyse des données montre que les événements les plus importants en matière de niveaux d'eau se produisent surtout au printemps. C'est donc la crue printanière du Saint-Laurent et les tempêtes qui dictent majoritairement les niveaux élevés. Le cas du 6 décembre 2010, qui avait produit un niveau de récurrence 100 ans à Saint-Joseph-de-la-Rive est intéressant. On constate qu'il a été ressenti à Neuville, mais il n'atteint pas la liste des 10 événements les plus importants (11^e) avec un événement de période de retour inférieure à 5 ans. Un événement comme celui d'avril 2020, qui combine une période de forts débits sur le Saint-Laurent avec une marée importante, est plus sujet à produire des niveaux élevés à Neuville.

A.7 Analyse des profils de marées

Les profils des niveaux aux stations de Neuville, de Québec-Lauzon, de Saint-François-de-l'Île-d'Orléans et de Saint-Joseph-de-la-Rive ont été analysés. Il est possible de constater, avec les données disponibles, que le niveau moyen de l'eau commence à augmenter à partir de Saint-Joseph-de-la-Rive à mesure qu'on entre dans la portion fluviale du Saint-Laurent. On constate aussi que l'influence des marées à Neuville est bien moins importante; l'écart entre la pleine mer supérieure de grande marée et la basse mer inférieure de grande marée se rétrécissant. Le marnage et les niveaux sont les plus élevés à la pointe est de l'île d'Orléans. Néanmoins, le marnage reste très fort à Lauzon ainsi que les niveaux maximaux.

A.8 Analyse des événements historiques

Les dix événements ayant provoqué les niveaux les plus hauts à Québec et Lauzon entre 1979 et aujourd'hui ont été identifiés. Pour chacun de ces événements, les niveaux d'eau ont été comparés aux stations de Saint-Joseph-de-la-Rive, Saint-François-de-l'Île-d'Orléans et Neuville. Avec les données présentées précédemment, il est possible de constater que les niveaux les plus élevés à Lauzon ne correspondent pas nécessairement aux niveaux les plus élevés à toutes les autres stations avoisinantes. Un niveau de récurrence 50 ans à Lauzon ne peut pas garantir que le niveau maximal atteint à la pointe est de l'île d'Orléans soit lui aussi autour de 50 ans, comme observé lors de l'événement de mars 1993 alors que le niveau de récurrence 2 ans n'a même pas été atteint à Saint-Joseph-de-la-Rive.

L'événement historique ayant provoqué le plus haut niveau d'eau près du pont à l'étude, c'est-à-dire le 15 mars 2017, a aussi provoqué des niveaux de fortes récurrences aux autres stations évaluées. Le niveau à la pointe *est* était lui aussi de récurrence ± 100 ans. À Neuville, il était d'environ 25 ans et à Saint-Joseph, à environ 10 ans, des niveaux très élevés.

L'évaluation des pics enregistrés a aussi permis d'évaluer le temps entre les pics enregistrés aux différentes stations. Dans le cas de l'événement le plus important, le pic a été enregistré à 6 h à Saint-Joseph-de-la-Rive, 7 h à Saint-François-de-l'île-d'Orléans, 8 h à Québec et 9 h à Neuville. Pour l'événement du 6 décembre, le pic à l'aval a été observé à 16 h, il a été enregistré à 18 h à la pointe est de l'île, à 18 h 30 à Lauzon et à 20 h à Neuville. La modélisation hydrodynamique devra être en mesure de reproduire ce temps de transit de l'onde de marée de l'est vers l'ouest et vice versa.



ANNEXE B
CAMÉRAS D'OBSERVATIONS
DES GLACES

B.1 Évolution du couvert de glace du côté amont, vers la rive nord

À l'hiver 2018-2019, un couvert stable est visible en février. Ce couvert fond en place, tel qu'il est visible le 16 mars. Des zones s'ouvriront graduellement à la fin mars. Enfin, en avril, de grandes plaques en bordure du chenal ouvert vont se détacher.



Figure B-1 Couvert de glace du côté amont, vers la rive nord, en 2018-2019

À l'hiver 2019-2020, un couvert stable est visible le 23 janvier, mais il cède le 25 janvier. Ce bris ne survient qu'en amont du pont. La glace se reformera à nouveau. La fonte du couvert stable rétabli est visible dès le début du mois de mars. La rupture du couvert sera en mars, dans un mode semblable à l'hiver précédent.



Figure B-2 Couvert de glace du côté amont, vers la rive nord, en 2019-2020

La figure suivante montre la même zone que la figure précédente, mais de plus près. On y voit bien la formation de la nouvelle glace à la fin janvier et le couvert demeure stable plus longtemps à proximité de la rive, où il subira une rupture soudaine environ une semaine après l'ouverture du chenal.

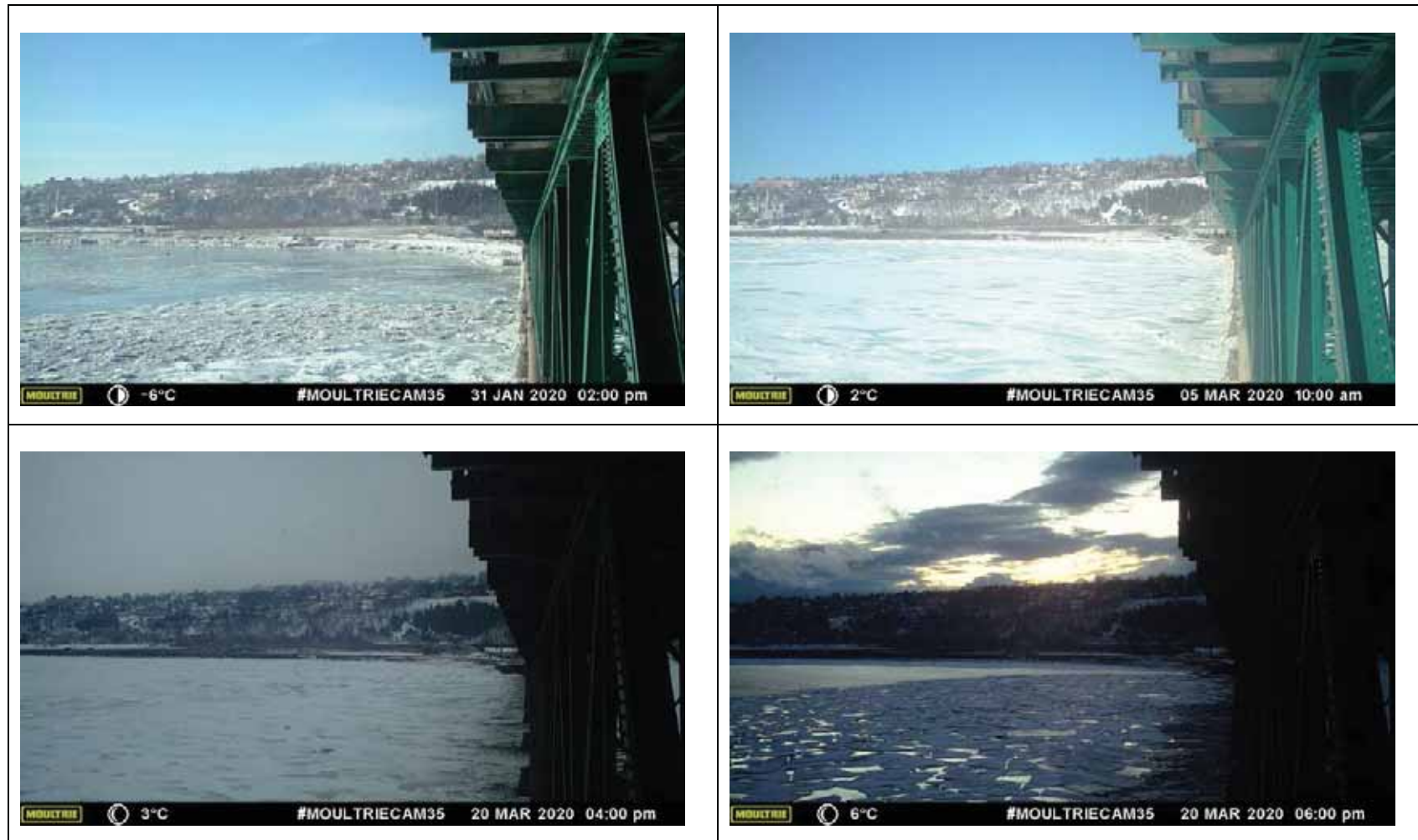


Figure B-3 Couvert de glace du côté amont, près de la rive nord, en 2019-2020

B.2 Évolution du couvert de glace du côté amont, vers l'île d'Orléans

Le couvert stable bouge au fil des marées. La glace, accrochée aux piliers, se fissure de façon concentrique en périphérie des piles, pour permettre ce mouvement. La fonte du couvert commence à être évidente à la mi-mars en 2018-2019. Un chenal s'ouvre ensuite, avant le recul graduel du couvert dans les zones peu profondes près des rives.



Figure B-4 Couvert de glace du côté amont, près de l'île d'Orléans, en 2018-2019

De façon similaire, en 2019-2020, le couvert stable bouge au fil des marées. À marée haute, l'eau s'infiltré dans les fissures concentriques autour des piles, pouvant ainsi générer de la nouvelle glace. La portion de glace accrochée aux piliers tend à s'agrandir au fil de l'hiver. Le couvert se fissure et s'amincit au cours du mois de mars. Le couvert cède vers la fin mars : un chenal s'ouvre au centre, du côté amont, mais pas sur la même étendue du côté aval. Le recul des glaces sera progressif au cours des prochains jours. Le couvert du côté amont est utilisé à l'occasion par des adeptes de paraski et snowkite au cours de l'hiver.



Figure B-5 Couvert de glace du côté amont, près de l'île d'Orléans, en 2019-2020

B.3 Évolution du couvert de glace du côté amont, au centre du chenal

En 2019-2020, le chenal n'est pas fermé complètement le 24 janvier. Le 29 janvier, des plaques de glace s'accumulent dans l'espace ouvert, pour ensuite se joindre les unes aux autres et former un couvert de glace. En février, celui-ci est stable. Sa fonte est visible à la mi-mars.



Figure B-6 Couvert de glace du côté amont, au centre du chenal, entre janvier et mars 2020

Le chenal s'ouvre à la mi-mars. Il s'élargira rapidement. De nombreuses plaques de glace se déplaceront dans le chenal, à la suite du bris du couvert en maints endroits. Cinq jours après l'ouverture du chenal, il ne reste des glaces qu'en bordure des rives, dans ce secteur plus loin en amont.



Figure B-7 Couvert de glace du côté amont, au centre du chenal, en mars 2020

B.4 Évolution du couvert de glace du côté aval, vers la rive nord

La fonte du couvert stable est visible dès le 14 mars. Un chenal s'ouvre à la mi-mars, pour rapidement s'élargir. Quelques jours suffiront pour un recul important des glaces.

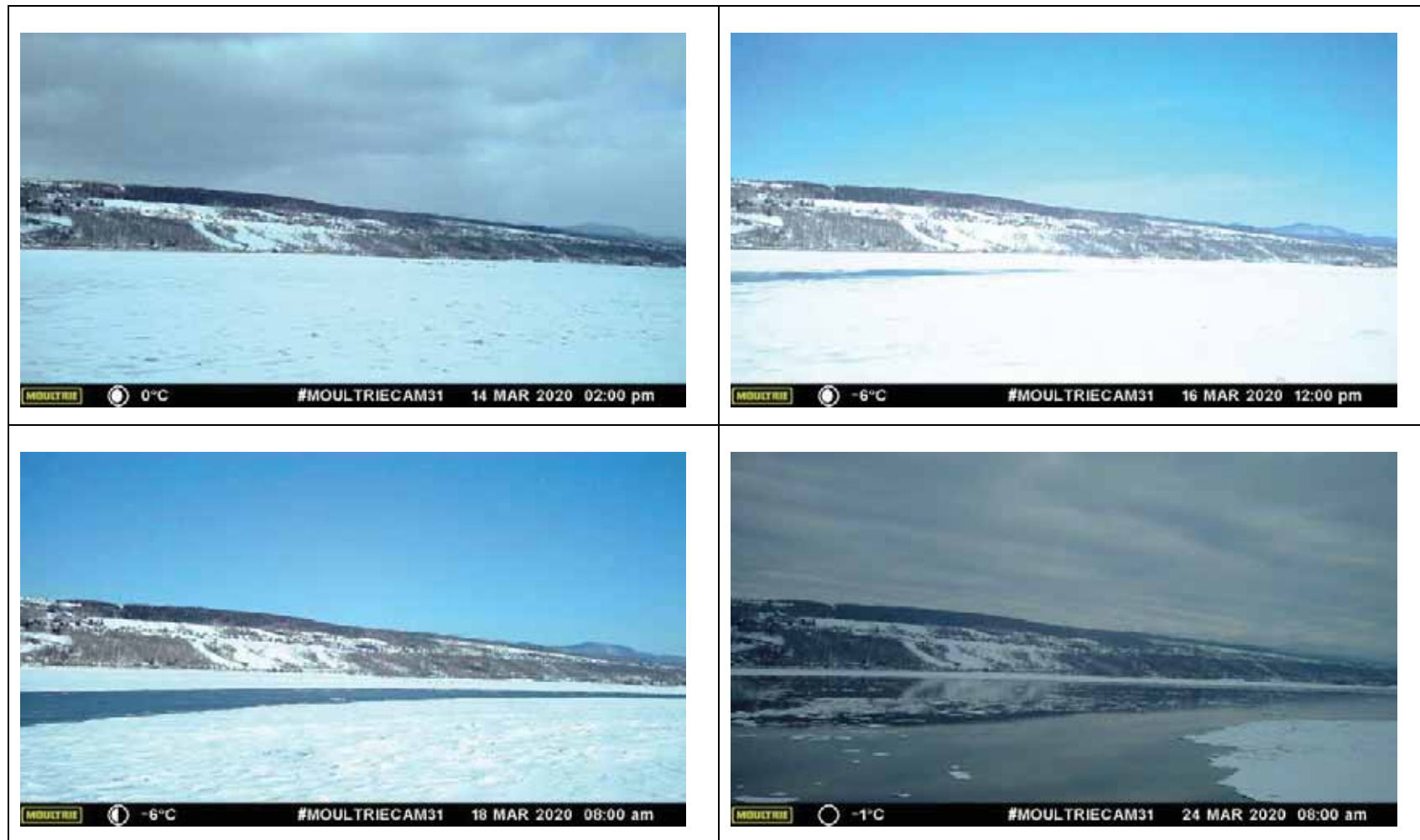


Figure B-8 Couvert de glace du côté amont, près de l'île d'Orléans, en 2018-2019

B.5 Évolution du couvert de glace du côté aval, vers l'île d'Orléans

Le couvert stable fond graduellement en mars. L'ouverture du chenal central à la mi-mars prend quelques jours avant d'être visible à la hauteur du massif actuel du côté de l'île d'Orléans. Le recul sera graduel, à la suite de l'amincissement des glaces et de leur bris en plaques au fil des jours et des marées.



Figure B-9 Couvert de glace du côté amont, près de l'île d'Orléans, en 2018-2019

B.6 Évolution du couvert de glace du côté aval, au centre du chenal

Au cours de l'hiver, le couvert aval près de la rive nord est utilisé par des adeptes de pêche blanche. La fonte du couvert stable se fait voir à la mi-mars en 2020. Des ouvertures sont visibles dans le chenal le 16 mars, avant que celui-ci ne s'ouvre le 17 mars.



Figure B-10 Couvert de glace du côté amont, au centre du chenal, entre janvier et mars 2020

Le chenal s'élargit peu jusqu'au 20 mars, moment auquel le couvert fragilisé se brise en plusieurs plaques. Vers la fin-mars, peu de glace subsistait et les plaques provenant du couvert brisé circuleront encore sur l'eau, mais en plus faible concentration que lors du bris important du couvert le 20 mars.



Figure B-11 Couvert de glace du côté amont, au centre du chenal, en mars 2020



ANNEXE C
IMAGERIE SATELLITAIRE

2016-03-19



2016-04-15



Figure C-1 Images de Sentinel-2-L1C pour l'hiver 2015-2016

2016-12-14



2017-02-02

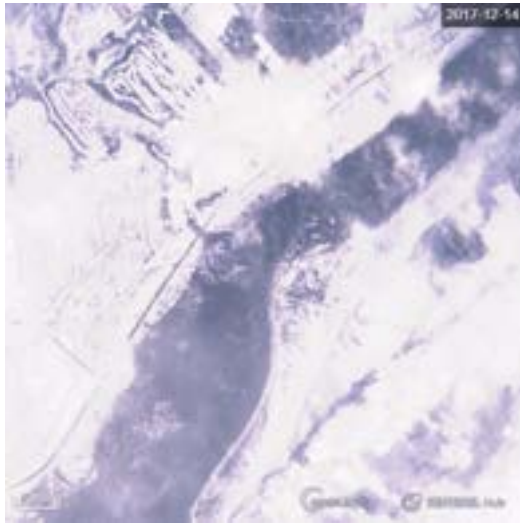


2017-03-04



Figure C-2 Images de Sentinel-2-L1C pour l'hiver 2016-2017

2017-12-14



2017-12-24



2017-12-29

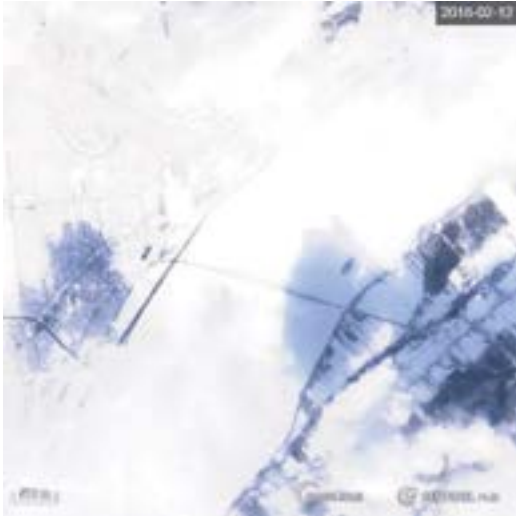


2018-02-02



Figure C-3 Images de Sentinel-2-L1C pour l'hiver 2017-2018

2018-02-12



2018-02-17



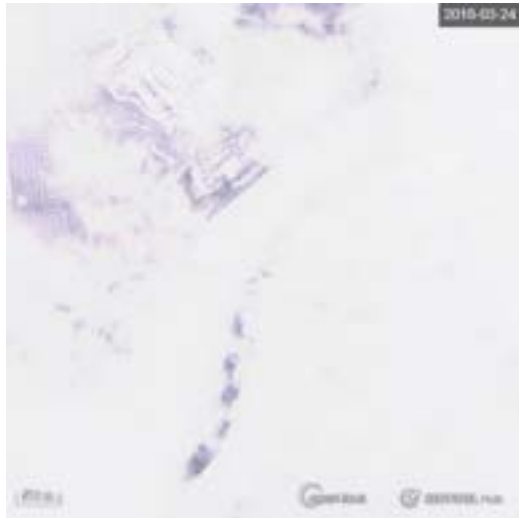
2018-02-27



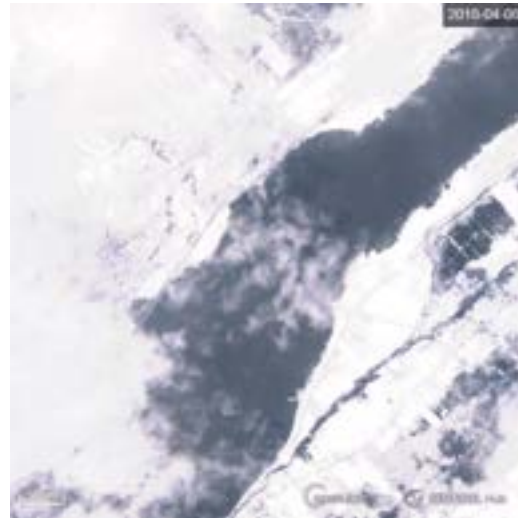
2018-03-19



2018-03-24



2018-04-08



2018-12-19



2018-12-24



2019-01-13



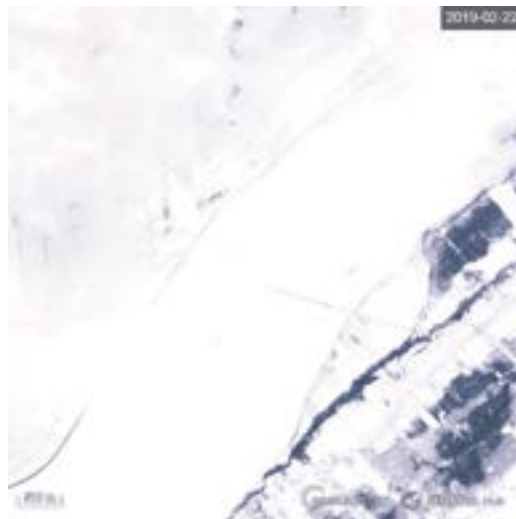
2019-01-28



2019-02-17



2019-02-22



2019-02-27



2019-03-09



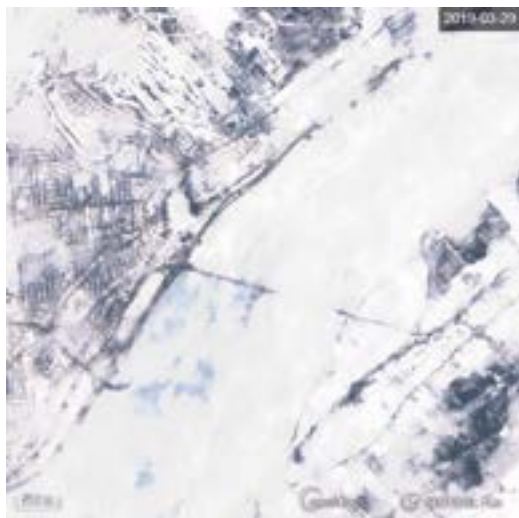
2019-03-19



2019-03-24



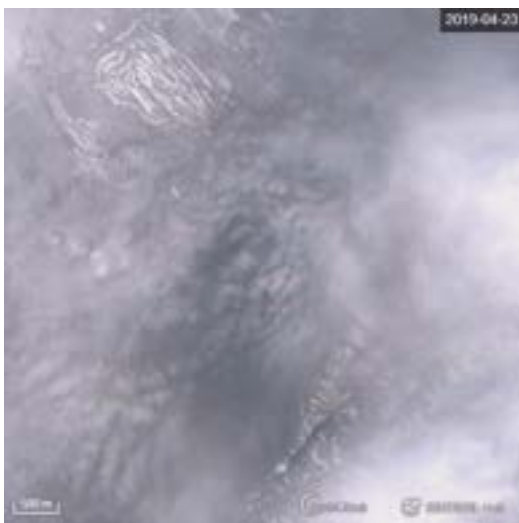
2019-03-29



2019-04-13



2019-04-23



2019-04-28

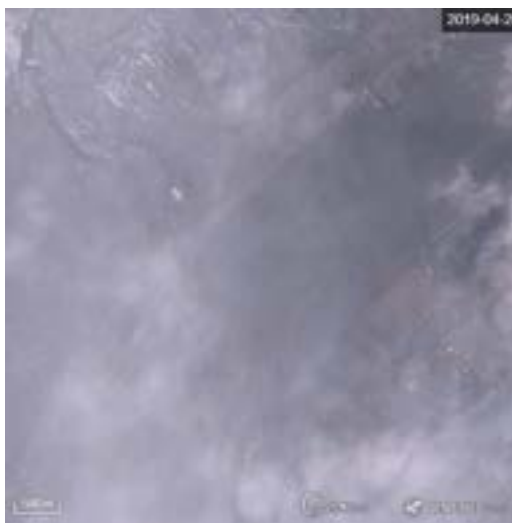


Figure C-4 Images de Sentinel-2-L1C pour l'hiver 2018-2019

2019-12-19



2019-12-24



2020-01-23



2020-02-12



2020-02-17



2020-03-08



2020-03-18



2020-03-23



2020-03-28



2020-04-12



Figure C-5 Images de Sentinel-2-L1C pour l'hiver 2019-2020



ANNEXE D
ÉPAISSEURS DE GLACE

Tableau D-1 Données d'épaisseurs de glace

Endroit		Banquise côtière en face de Beauport					
Position	22	Longitude	71 09,67 W				
Latitude	46 51,21 N	Longitude	71 09,67 W				
Date	Épaisseur de la glace (cm)	Couverture de neige (/10)	Épaisseur de neige (cm)	Date	Épaisseur de la glace (cm)	Couverture de neige (/10)	Épaisseur de neige (cm)
2/12/1983	47		0	1/1/1995	AUCUNE DONNÉE / NIL DATA		
2/20/1983	41		0	1/16/1996	49		8
2/25/1983	38		25	2/5/1996	70		8
3/4/1983	37		30	2/25/1996	71		10
1/20/1984	41		18	2/4/1997	63		25
1/27/1984	43		21	2/18/1997	65		40
2/2/1984	48		18	2/14/1998	GLACE NON SÉCURITAIRE / UNSAFE ICE		
2/9/1984	50		21	2/27/1998	GLACE NON SÉCURITAIRE / UNSAFE ICE		
2/17/1984	47		5	2/15/1999	55		10
1/11/1985	43		5	1/25/2000	30		2
1/16/1985	56		8	2/17/2000	55		10
2/23/1985	71		4	1/3/2001	GLACE NON SÉCURITAIRE / UNSAFE ICE		
3/3/1985	90		10	1/15/2001	26		
1/16/1986	51		5	2/1/2001	43		10
2/1/1986	67		18	2/15/2001	70		15
2/5/1986	66		18	3/2/2001	89		7
2/16/1986	72		14	3/15/2001	95		23
2/20/1986	65		17	1/18/2003	25	4	2
1/10/1987	UNSAFE ICE / GLACE NON SÉCURITAIRE			2/5/2003	48	8	9
1/17/1987	UNSAFE ICE / GLACE NON SÉCURITAIRE			2/14/2003	55	7	5
1/23/1987	UNSAFE ICE / GLACE NON SÉCURITAIRE			3/1/2003	69	9	7
2/2/1987	37		5	3/15/2003	78	10	20
2/11/1987	46		3	1/21/2004	36	10	8
2/26/1987	59		8	2/16/2004	61	9	4
3/7/1987	58		1	2/29/2004	68	10	7
1/11/1988	19		2	1/1/2005	UNSAFE ICE / GLACE NON SÉCURITAIRE		
1/22/1988	25		7	1/15/2005	56	9	7
1/29/1988	38		18	2/1/2005	75	9	11-20cm
2/16/1988	49		14	2/17/2005	84	10	5
2/22/1988	77		35	3/2/2005	120	10	5
3/3/1988	73		10	3/16/2005	98	10	5
3/8/1988	73		10	1/1/2006	NO ICE / PAS DE GLACE		
1/8/1989	31		5	2/1/2006	NO ICE / PAS DE GLACE		
1/12/1989	38		5	2/10/2007	45	6	0
1/22/1989	43		18	3/6/2007	57	10	20
2/2/1989	45		35	1/16/2008	28	5	4
2/17/1989	57		45	2/16/2008	55	10	50
2/24/1989	64		43	1/20/2009	63	9	22
3/3/1989	60		45	2/4/2009	85	10	25
3/11/1989	62		15	2/15/2009	75	10	couche de glace
12/29/1989	30		8	3/3/2009	90	10	40
1/8/1990	43		12	1/30/2011	27	10	2
1/16/1990	45		5	2/15/2011	29	10	12
1/27/1990	61		8	3/1/2011	45	10	11
2/4/1990	66		8	3/16/2011	79	10	5
2/14/1990	69		35	1/31/2012	27	7	5
2/20/1990	69		27	2/15/2012	45	9	5
2/27/1990	69		15	3/2/2012	72	8	20
3/3/1990	77		20	2/1/2013	35	0	0
3/8/1990	77		15	3/7/2013	45	8	7
1/26/1991	33		10	1/24/2014	61	0	
2/2/1991	34		8	2/5/2015	43	10	5
2/8/1991	32		8	2/16/2015	51	9	15
2/15/1991	43		17	3/1/2015	65	10	8
2/23/1991	48		11	3/18/2015	80	8	5
1/20/1992	GLACE NON SÉCURITAIRE / UNSAFE ICE			1/21/2016	UNSAFE ICE / GLACE NON SÉCURITAIRE		
2/5/1992	62		5	1/16/2018*	38	7	10
2/29/1992	76		20	1/30/2018*	75	10	20
3/6/1992	76		10	2/17/2018*	110	10	30
3/13/1992	74		0	3/2/2018*	110	8	5
1/7/1993	20		5	2/12/2019*	60		
1/21/1993	22		5	3/1/2019*	46	10	10
2/5/1993	45		5	3/13/2019*	60	10	31
2/20/1993	55		15	3/1/2020*	45	9	2
3/13/1993	65		10	* Données tirées de l'analyse des cartes d'observation de glaces			
1/10/1994	32		5				
1/29/1994	47		20				
2/18/1994	56		30				
3/1/1994	59		8				



ANNEXE E
AMÉNAGEMENT DES
EXTRÉMITÉS

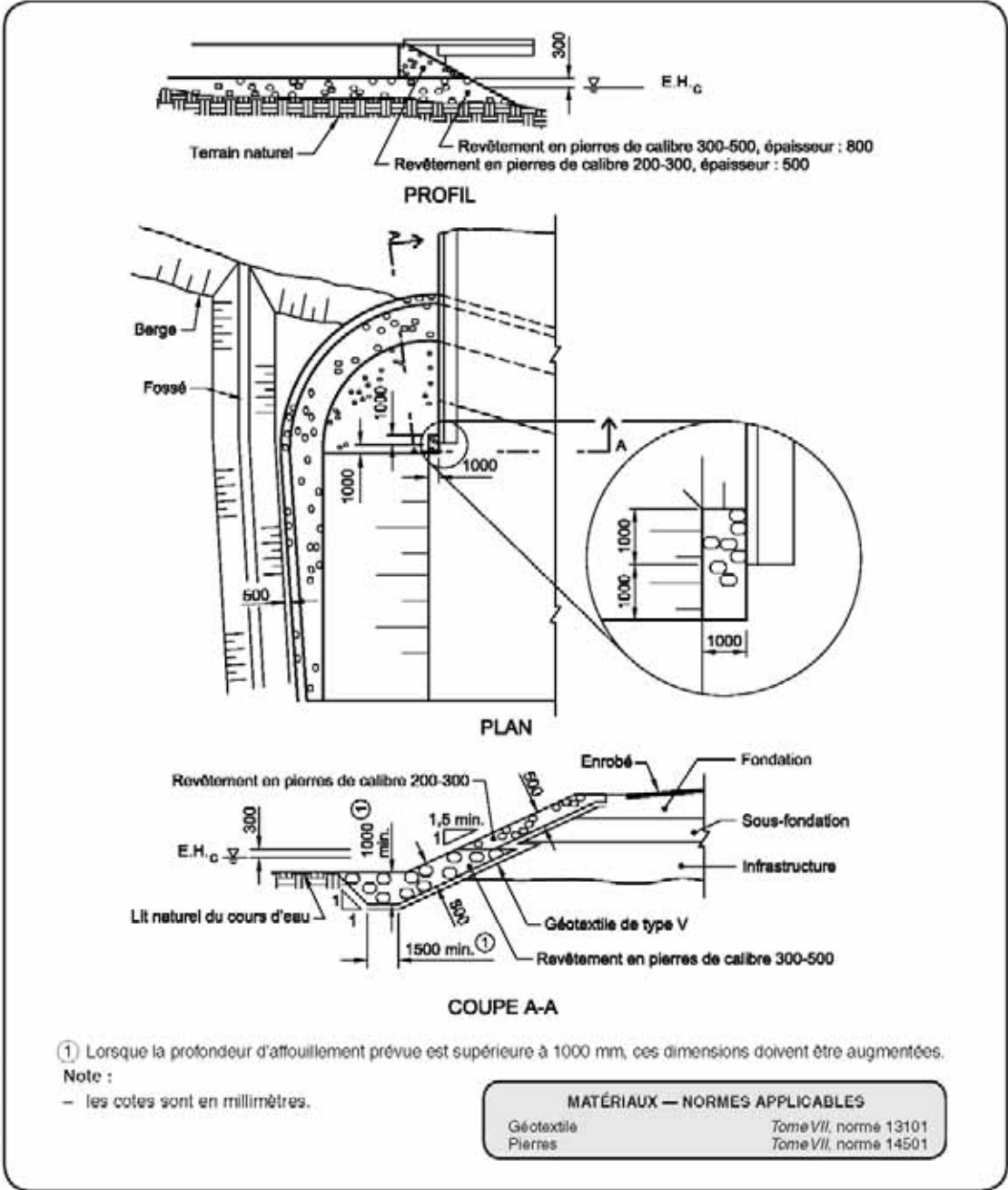


NORME

DESSIN NORMALISÉ

APPROCHE D'UN PONT SUR RIVIÈRE

Tome	III
Chapitre	2
Numéro	015
Date	2020 01 30



Contenu normalisé



Annexe 6

AVIS TECHNIQUE

IDENTIFICATION			
Dossier n° :	<u>19555</u>	Route :	<u>368</u>
Demandeur :	<u>Capitale nationale</u>	Obstacle :	<u>Fleuve St-Laurent</u>
Municipalité :	<u>Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans</u>		
Coordonnées ¹ :	Longitude :	<u>46,879</u>	Latitude : <u>-71,132</u>
Préparé par :	<u>Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ing. M. Sc.</u>	Signature	Date : <u>2021/04/16</u>
	<small>Nom en caractères d'imprimerie</small>		<small>AAAA / MM / JJ</small>
OBJET			
<p>Évaluer les impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées allongées proposées par Groupe Origine Orléans (GOO). L'allongement par rapport aux jetées proposées à l'avant-projet préliminaire consiste à prolonger la jetée sud entre le pylône P9 et l'élément A10. Les plans pour ces jetées ont été envoyés le 18 février 2021. Une note technique a été déposée par GOO le 10 mars 2021.</p>			
NOTES			
<p>Intrants</p> <p>Les intrants utilisés pour effectuer les calculs sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le fichier 3D des jetées proposées <i>159000204_IleOrleans_Jetees3D.dwg</i>¹ - La note technique <i>PIO_HYDRAU_NT01-00_Jetees_20210310.pdf</i>² - L'étude hydraulique <i>2021-03-22 P-19555 Étude hydraulique.pdf</i> <p>¹Un détail technique a été noté dans le fichier 3D. Le pied des jetées était au référentiel zéro des cartes alors que le sommet était au CGVD28. Cela a été pris en compte dans l'intégration des ouvrages au modèle.</p> <p>²En plus des intrants de la note, les commentaires sur la note technique, émis par Arup et le MTQ, ont aussi été considérés pour l'intégration des jetées dans le modèle.</p> <p>Méthode</p> <p>L'évaluation des impacts de ces jetées sur les vitesses d'écoulement et sur les niveaux d'eau a été effectuée à l'aide du modèle hydrodynamique développé par le MTQ pour le projet de reconstruction du pont de l'Île d'Orléans. Les détails du modèle sont présentés à l'étude hydraulique.</p> <p>Les jetées ont été intégrées au modèle numérique de terrain (MTN) utilisé dans le modèle hydraulique à l'aide des intrants. Le maillage du modèle avait déjà été adapté dans le secteur des jetées pour bien prendre en compte ces ouvrages temporaires modifiés sans devoir apporter de modifications.</p> <p>Les jetées ont été soumises à un cycle de marée de 14 jours, incluant une marée ayant les propriétés de la pleine mer supérieure de grande marée (PMSGM). Elles ont aussi été soumises au scénario de conception de l'étude hydraulique pour valider les impacts sur les niveaux d'eau.</p> <p>Vitesses d'écoulement</p> <p>Les figures des pages suivantes présentent les champs de vitesses maximales obtenues pour la PMSGM, au flot (figure 1) et au jusant (figure 2).</p>			

¹ À remplir dans le cas d'un dossier d'hydraulique

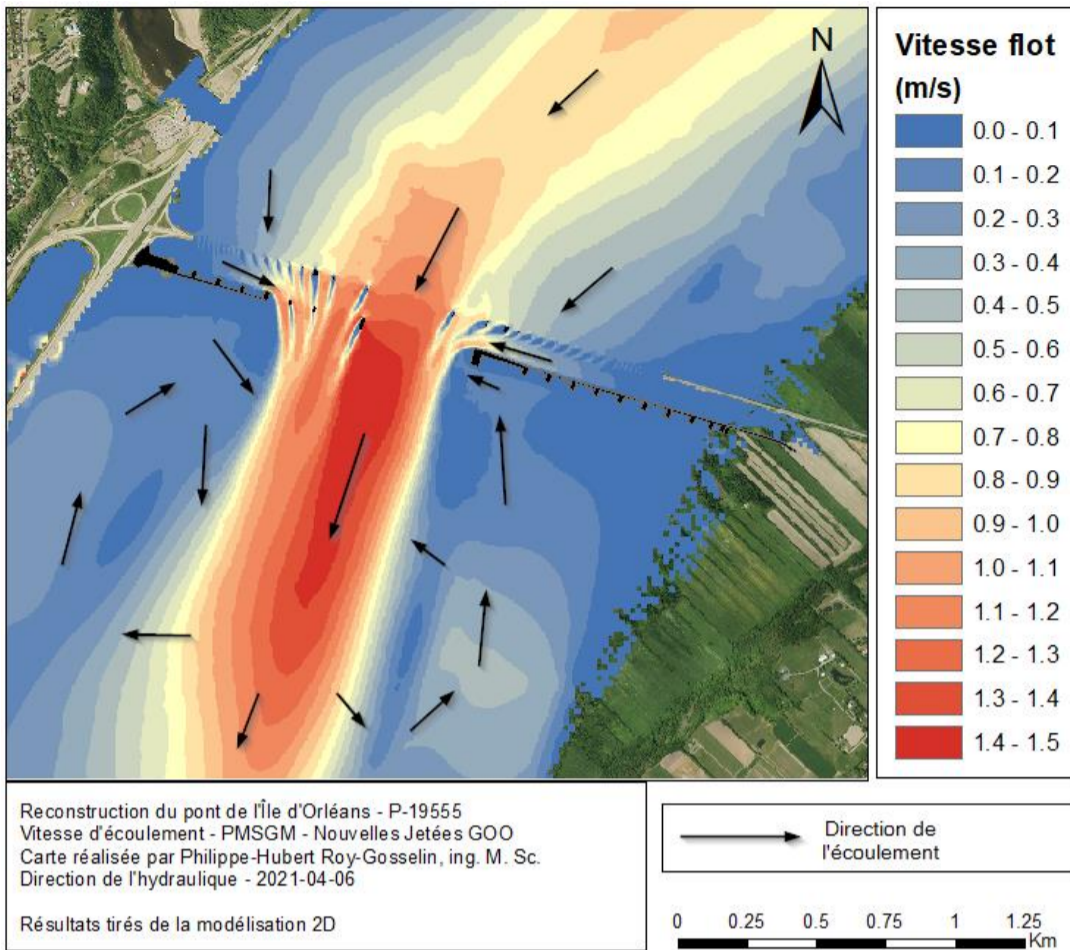


Figure 1 – Vitesses d'écoulement au flot – PMSGM – Nouvelles Jetées de GOO

L'écoulement qui arrive par le chenal de l'île d'Orléans au nord est dirigé le long des jetées puis ramené au centre du chenal. La présence de courants de retour sur les battures indique la présence de zones où l'écoulement est bien plus tranquille que dans le chenal principal. Ces phénomènes de courants de retour vont favoriser la déposition de sédiments provenant du chenal principal.

Les vitesses le long des jetées du côté nord pourraient aider à mettre en suspension des sédiments qui se seraient déposés lors du jusant.

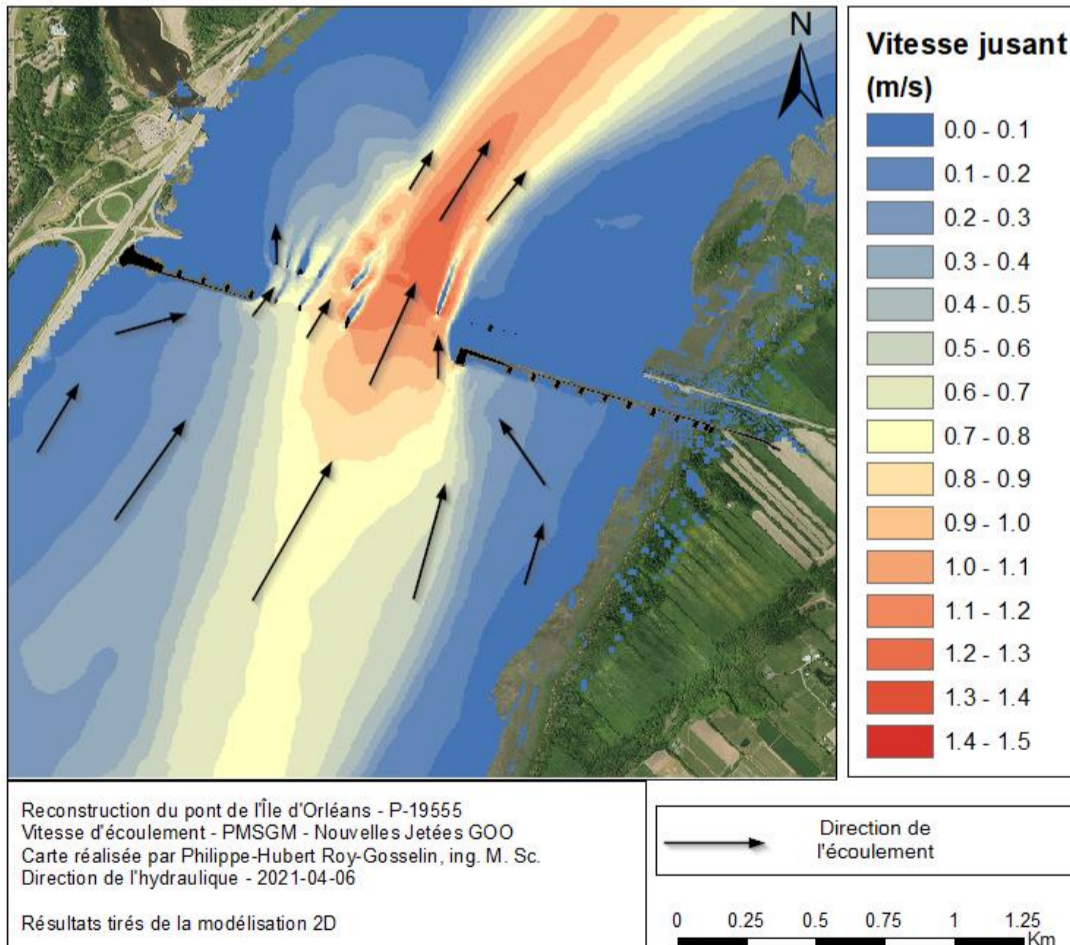


Figure 2 – Vitesses d'écoulement au jusant – PMSGM – Nouvelles Jetées de GOO

L'écoulement qui arrive de Québec au sud est un peu moins dirigé le long des jetées que pour le flot. Il est ensuite ramené au centre du chenal. Il n'y a pas les mêmes courants de retour que pour le flot. L'écoulement reste donc un peu mieux centré dans le chenal principal et il serait possible qu'un peu moins de sédiments mis en suspension dans le chenal principal viennent se déposer sur les battures. Il y aura quand même de la déposition dans les zones mortes d'écoulement.

Comme pour le flot, les vitesses d'écoulement le long des jetées (côté sud), aura le potentiel de remettre une partie des sédiments déposés lors du flot en suspension.

Les figures qui suivent montrent les vitesses d'écoulement à l'amont et à l'aval des jetées proposées pour le flot (figures 3 et 4) et pour le jusant (figures 5 et 6)

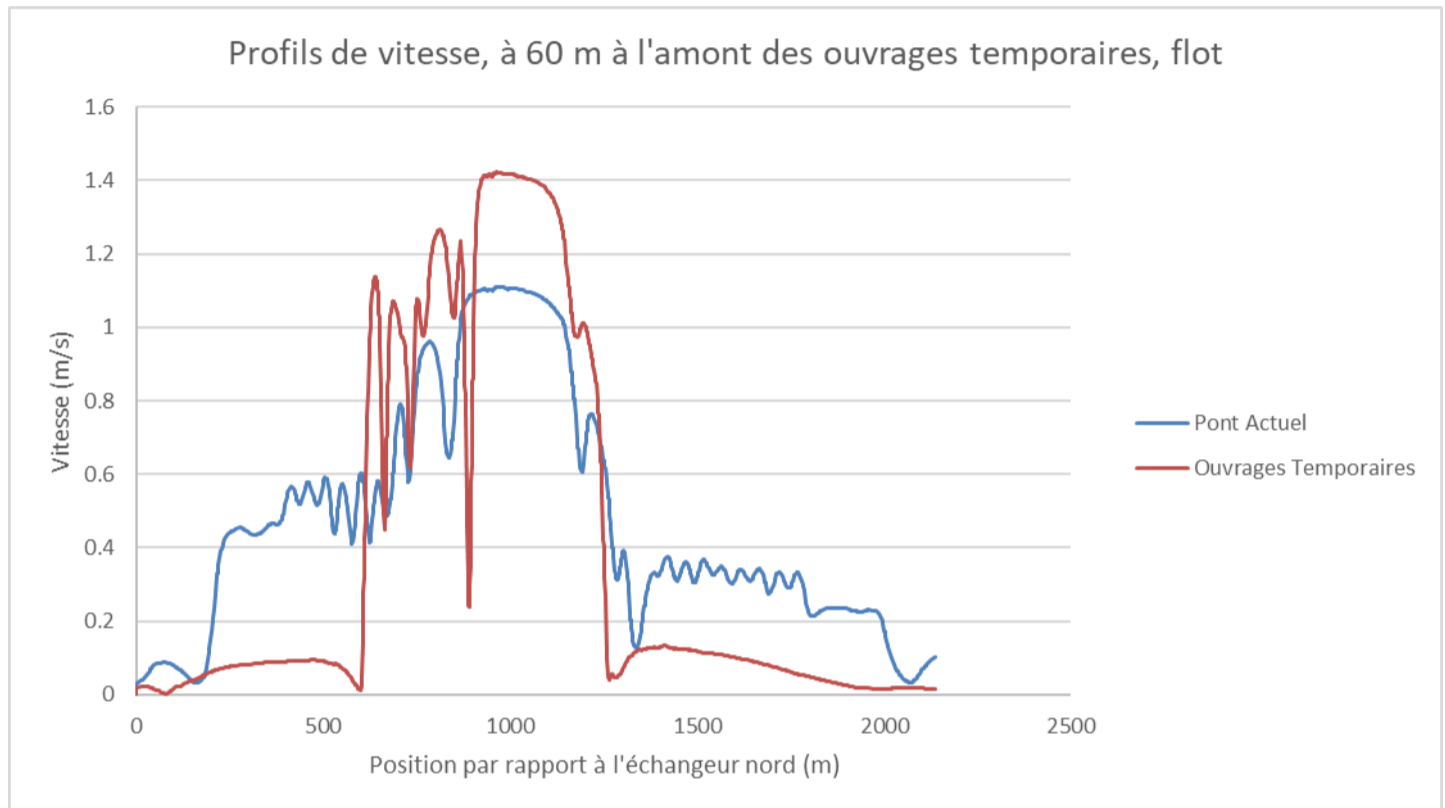


Figure 3 – Profil de vitesse, amont des jetées proposées – PMSGM – Flot

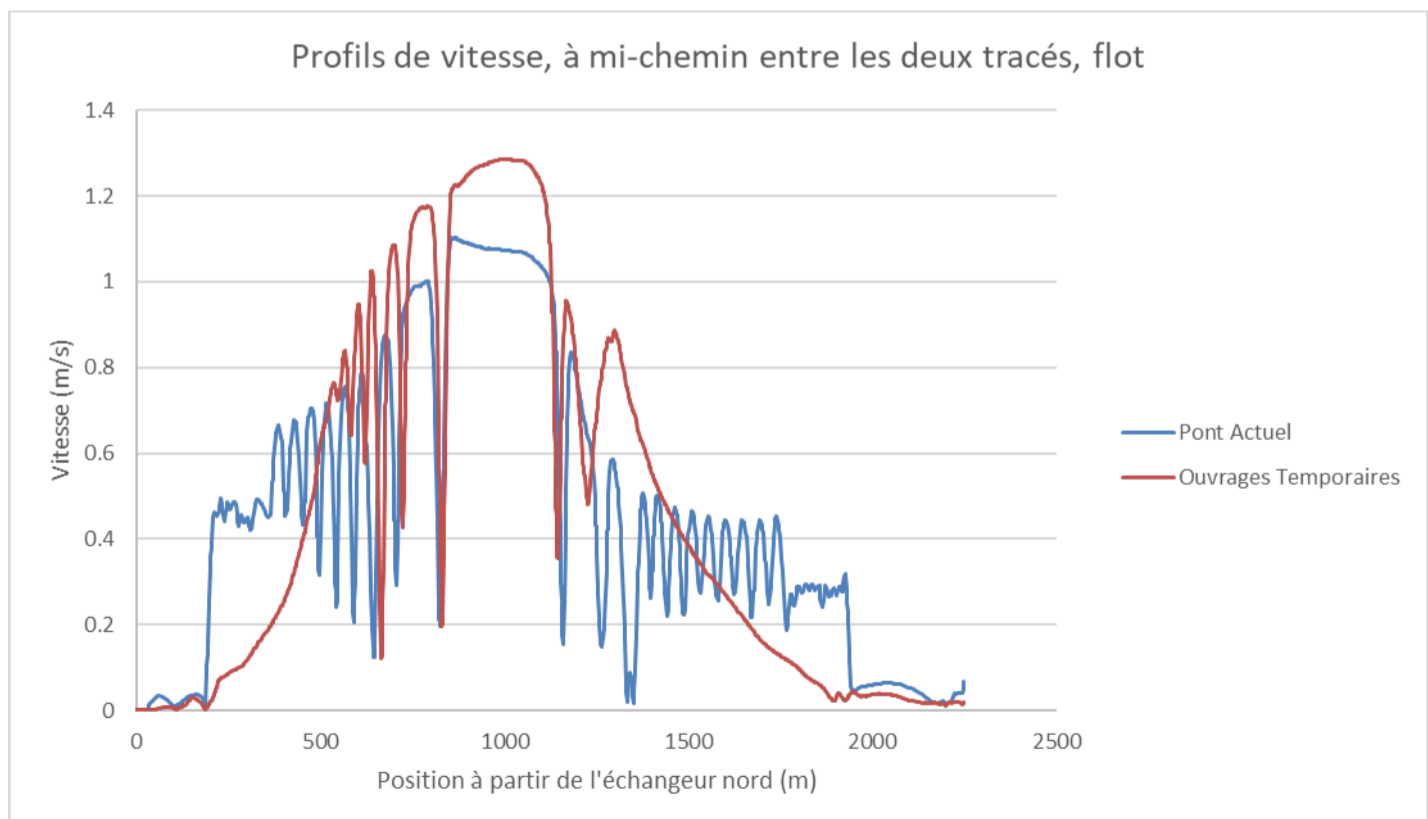


Figure 4 – Profil de vitesse, aval des jetées proposées – PMSGM – Flot

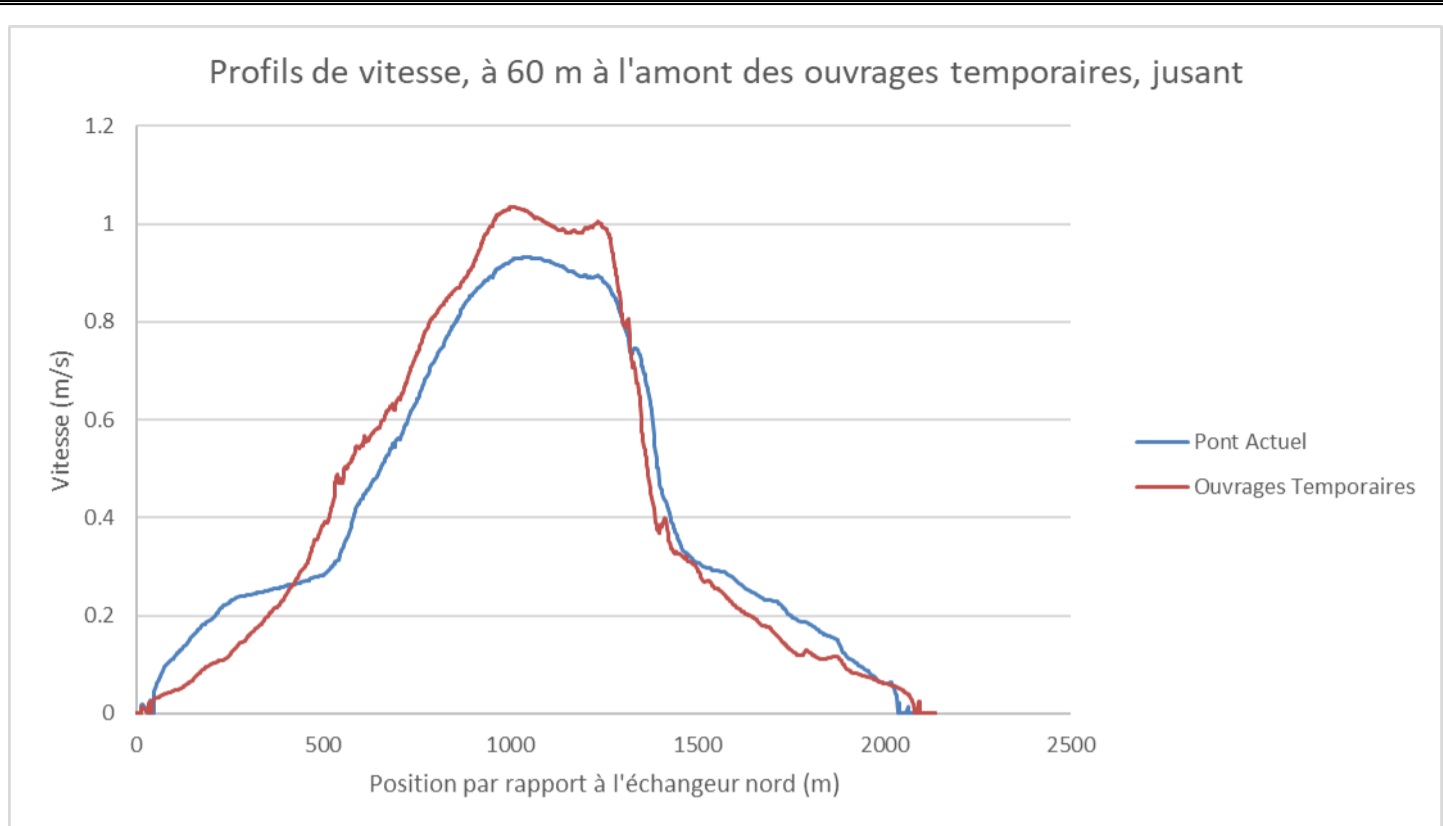


Figure 5 – Profil de vitesse, amont des jetées proposées – PMSGM - Jusant

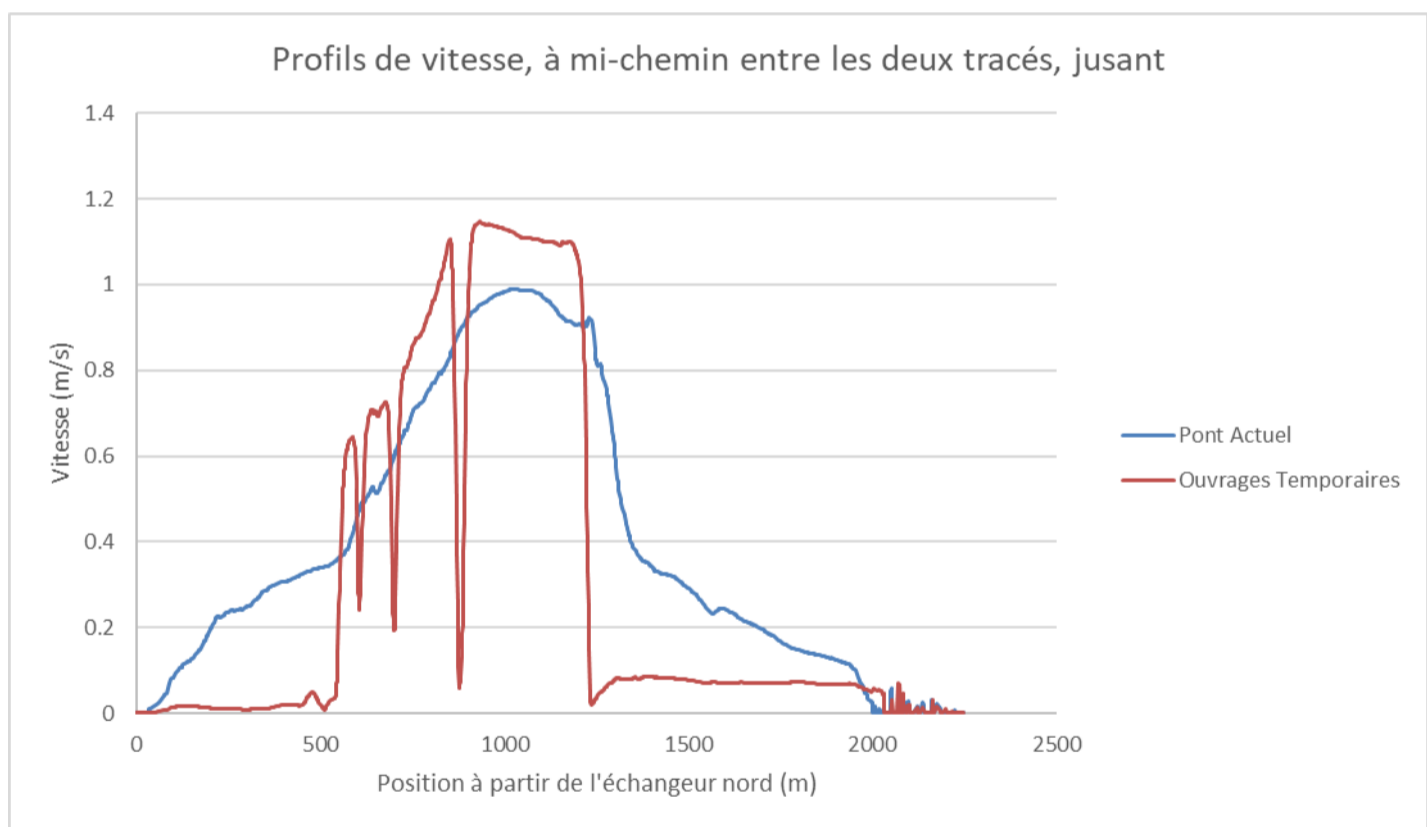


Figure 6 – Profil de vitesse, aval des jetées proposées – PMSGM – Jusant

L'augmentation des vitesses varie d'environ 0,1 m/s à 0,3 m/s dans le chenal principal à proximité des jetées pour les différents cas évalués. Un abaissement considérable, surtout à l'arrière des jetées, est observable sur les figures 3 et 6. Cette diminution varie entre 0,1 m/s et 0,8 m/s.

Les figures qui suivent montrent les variations de vitesses d'écoulement pour le flot (figure 7) et le jusant à la PMSGM (figure 8).

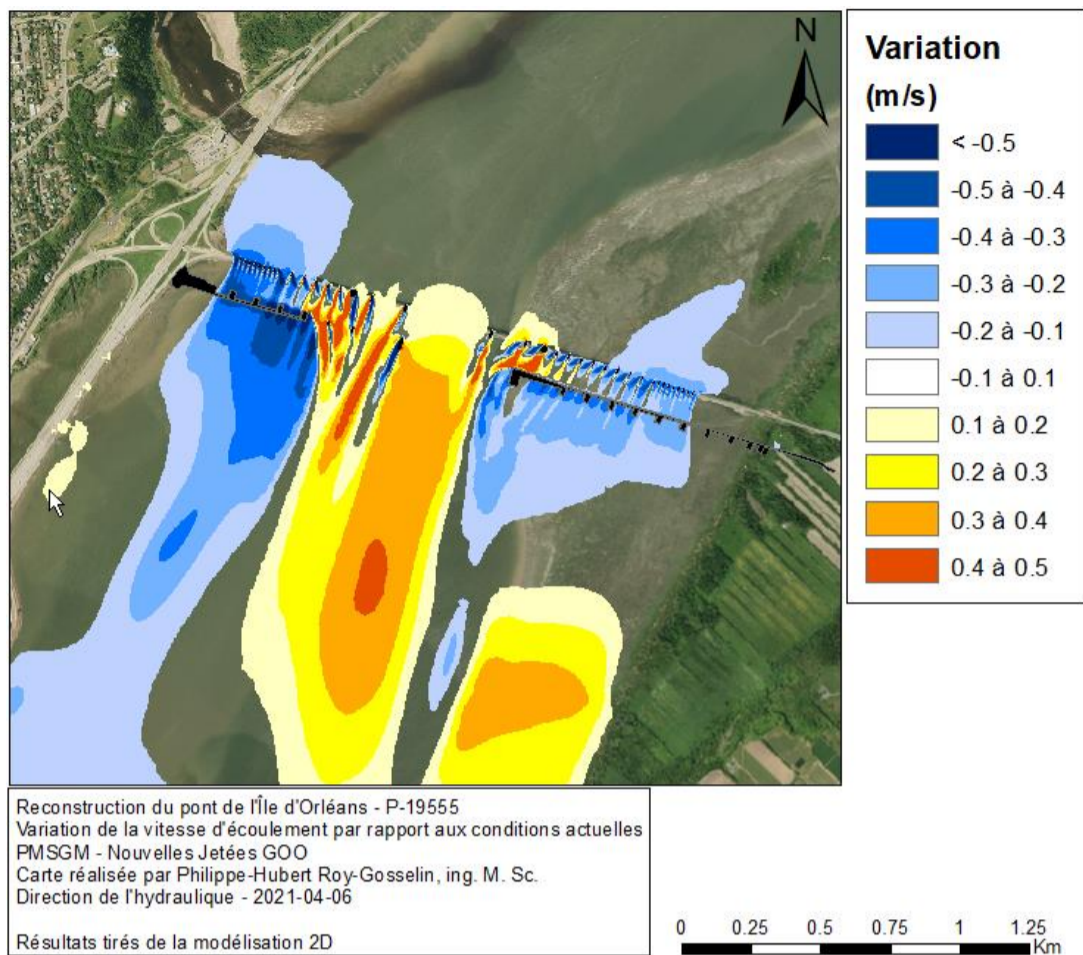


Figure 7 – Différence dans les vitesses d'écoulement PMSGM – Flot

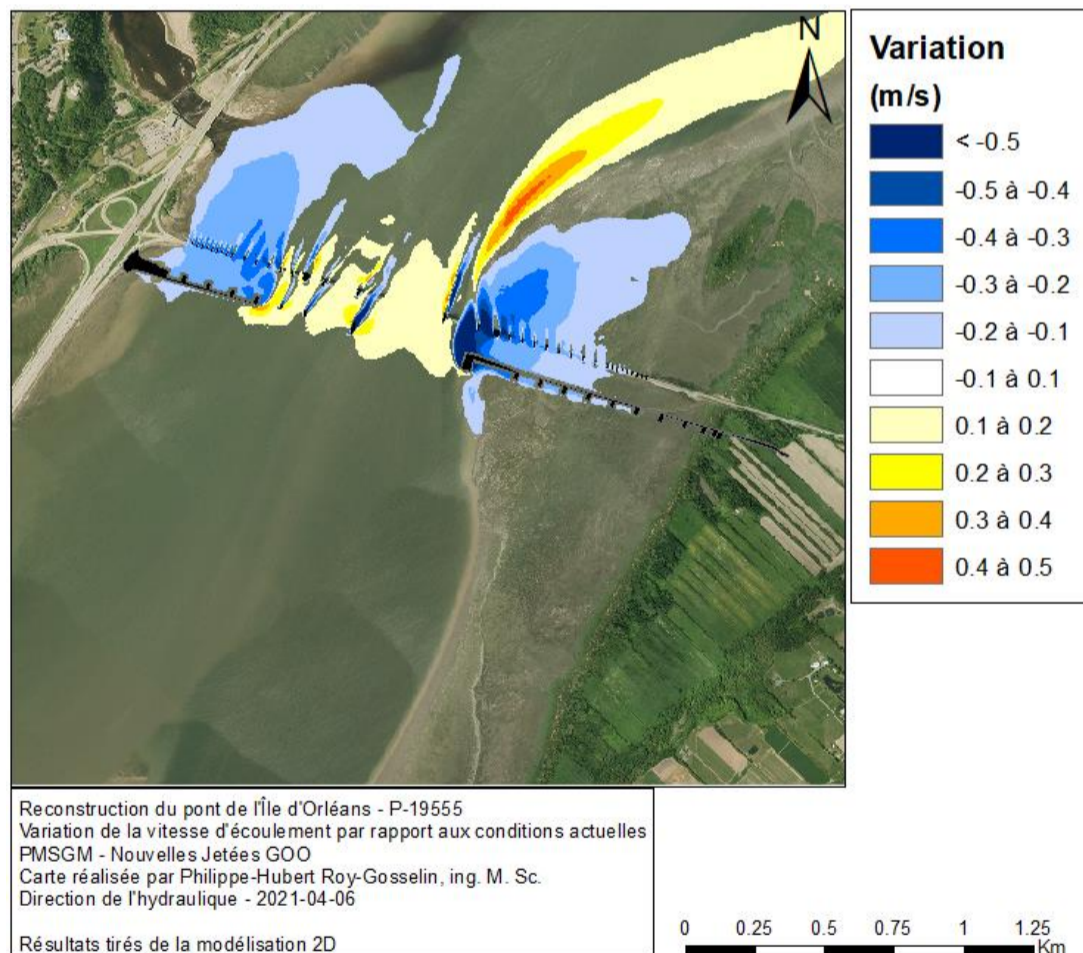


Figure 8 – Différence dans les vitesses d'écoulement PMSGM – Jusant

La variation des vitesses au flot est plus importante qu'au jusant. Elle prend aussi une plus grande distance pour se dissiper. Les figures permettent aussi d'identifier des zones avec des diminutions de vitesse qui pourraient mener à une sédimentation supplémentaire.

Niveaux d'eau

Les niveaux d'eau ont été évalués pour les conditions de conception. Le prolongement de la jetée sud fait légèrement augmenter les niveaux d'eau au flot du côté aval des jetées. Le niveau est rehaussé à 5,19m au lieu de la valeur de 5,11m évaluée pour la période de retour de conception. Cette augmentation de 8 cm reste cependant très localisée autour des jetées.

Tableau 1 – Élévation de l'eau à l'amont et à l'aval des jetées temporaires lors de la marée de conception

Emplacement	125 m aval nord	125 m aval sud	125 m amont nord	125 m amont sud
Élévation en présence du pont actuel (m)	5,10	5,08	5,08	5,07
Élévation en présence des ouvrages temporaires (m)	5,19	5,18	5,05	5,04

Constats

Au niveau de la conception hydraulique des ouvrages temporaires, les variations des vitesses d'écoulement ne sont pas majeures et n'ont pas d'impact sur les exigences présentées à l'étude hydraulique.

Des variations importantes des champs de vitesse sont cependant observables autour du pylône sud du nouveau pont. Des impacts sur la frayère dans ce secteur sont possibles.

Au niveau des risques de sédimentation, les variations dans les champs de vitesse par rapport aux jetées proposées à l'avant-projet préliminaire ne sont pas majeures. Les zones sont légèrement augmentées, mais restent dans le même ordre de grandeur.

Les niveaux d'eau ne sont pas variés significativement dans le secteur.

Il est à souligner que les conclusions et recommandations élaborées dans le cadre de cet avis technique hydraulique ne sont valides que pour la structure P-19555 et les ouvrages mentionnés dans la section *Objet* et ne pourront être utilisées pour d'autres sites, même contigus, sans avoir fait l'objet d'une étude complémentaire.

Annexe 7

AVIS TECHNIQUE

IDENTIFICATION			
Dossier n° :	<u>19555</u>	Route :	<u>368</u>
Demandeur :	<u>Capitale nationale</u>	Obstacle :	<u>Fleuve St-Laurent</u>
Municipalité :	<u>Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans</u>		
Coordonnées ¹ :	Longitude :	<u>46,879</u>	Latitude : <u>-71,132</u>
Préparé par : <u>Philippe-Hubert Roy-Gosselin, ing. M. Sc.</u>		Signature	Date : <u>2021/04/16</u>
<small>Nom en caractères d'imprimerie</small>			<small>AAAA / MM / JJ</small>
OBJET			
<p>Évaluer les impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées de déconstruction et le dragage prévus par Arup. Les concepts pour ces ouvrages sont tirés du concept à haut niveau du 30 octobre 2021.</p>			
NOTES			
<p>Intrants</p> <p>Les intrants utilisés pour effectuer les calculs sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le rapport <i>ARUP-TEC-RP-003_Volet 5_R01.pdf</i> pour l'élaboration d'un concept à haut niveau relativement au démantèlement du pont d'origine. - L'étude hydraulique <i>2021-03-22 P-19555 Étude hydraulique.pdf</i> <p>Méthode</p> <p>L'évaluation des impacts de ces jetées et du dragage sur les vitesses d'écoulement et sur les niveaux d'eau a été effectuée à l'aide du modèle hydrodynamique développé par le MTQ pour le projet de reconstruction du pont de l'Île d'Orléans. Les détails du modèle sont présentés à l'étude hydraulique.</p> <p>Les jetées et les zones draguées ont été intégrées au modèle numérique de terrain (MTN) utilisé dans le modèle hydraulique à l'aide des intrants. Le maillage du modèle avait déjà été adapté dans le secteur à l'étude pour bien prendre en compte ces ouvrages temporaires sans devoir apporter de modifications.</p> <p>Les ouvrages ont été soumis à un cycle de marée de 14 jours, incluant une marée ayant les propriétés de la pleine mer supérieure de grande marée (PMSGM). Elles ont aussi été soumises au scénario de conception de l'étude hydraulique pour valider les impacts sur les niveaux d'eau.</p> <p>Vitesses d'écoulement</p> <p>Les figures des pages suivantes présentent les champs de vitesses maximales obtenues pour la PMSGM, au flot (figure 1) et au jusant (figure 2).</p>			

¹ À remplir dans le cas d'un dossier d'hydraulique

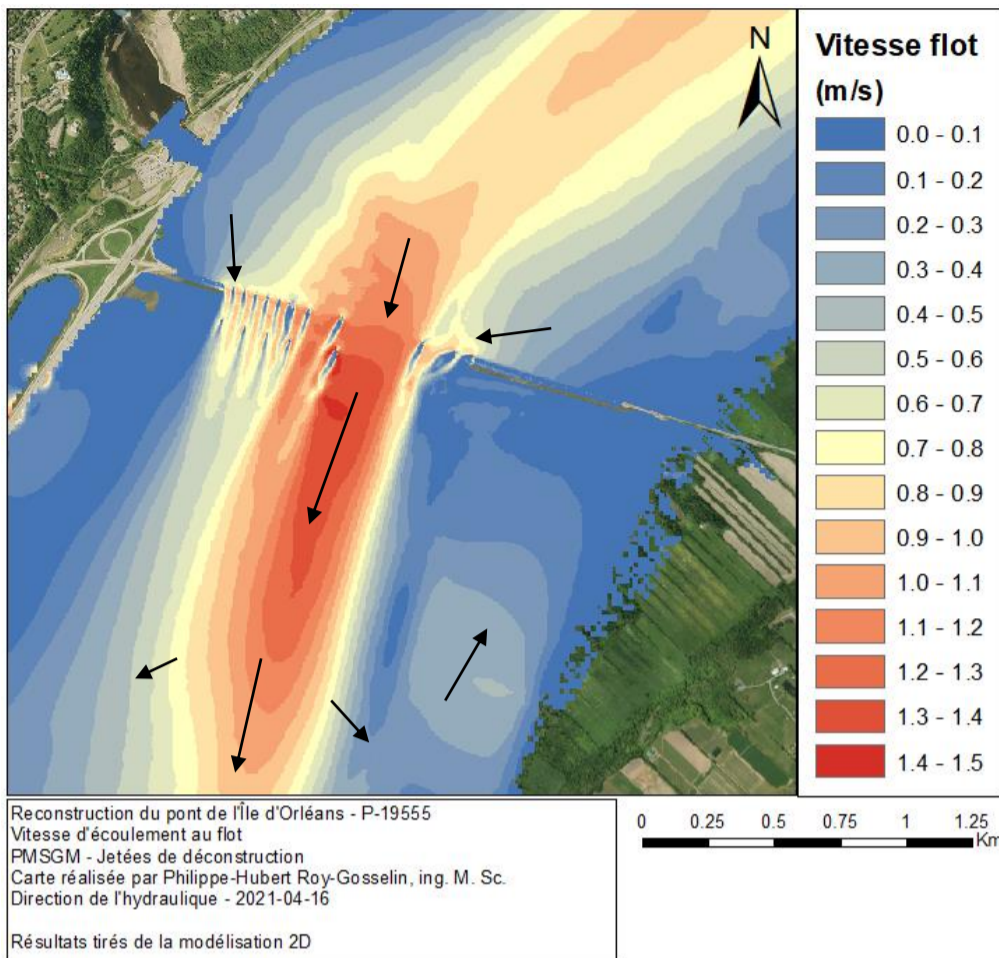


Figure 1 – Vitesses d'écoulement au flot – PMSGM – Jetées de déconstruction

L'écoulement qui arrive par le chenal de l'île d'Orléans au nord est dirigé le long de la jetée sud puis ramené au centre du chenal. La présence de courants de retour sur les battures, surtout du côté sud, indique la présence de zones où l'écoulement est bien plus tranquille que dans le chenal principal. Ces phénomènes de courants de retour vont favoriser la déposition de sédiments provenant du chenal principal.

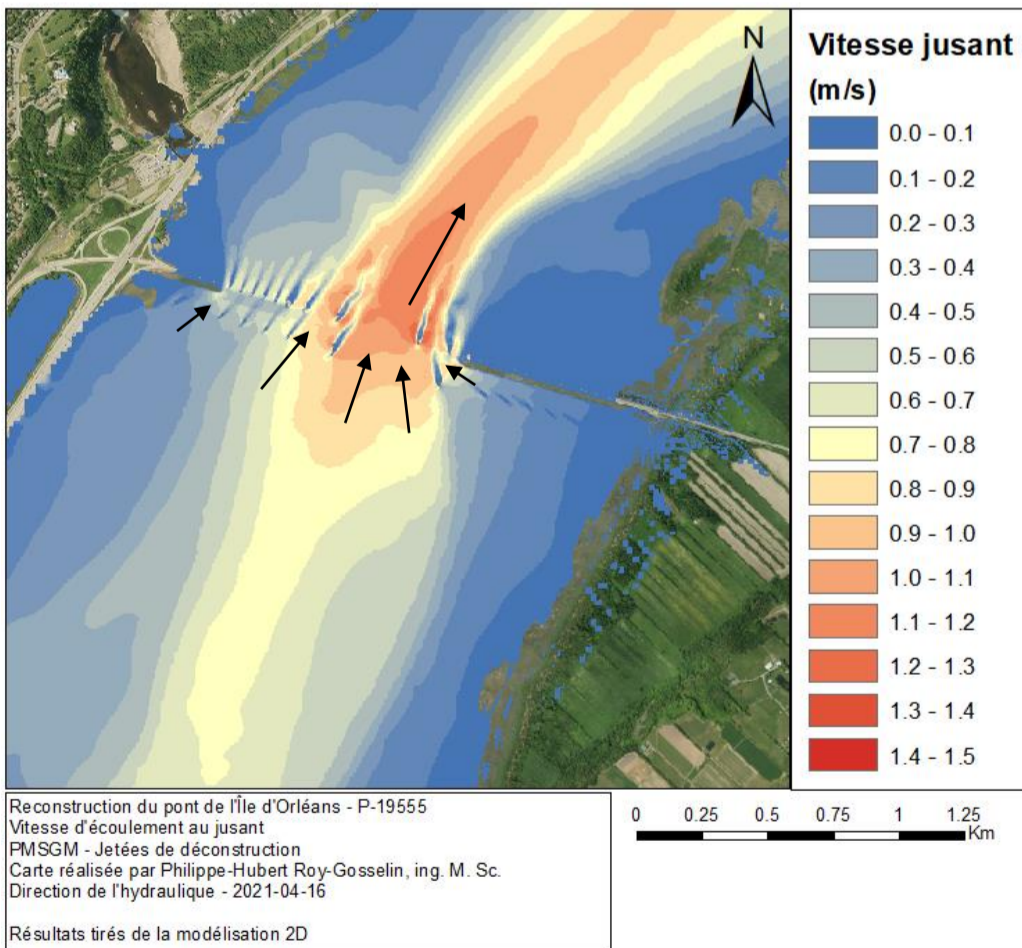


Figure 2 – Vitesses d'écoulement au jusant – PMSGM – Jetées de déconstruction

L'écoulement qui arrive de Québec au sud est ramené au centre du chenal. Il n'y a pas les mêmes courants de retour que pour le flot. L'écoulement reste donc un peu mieux centré dans le chenal

principal et il serait possible qu'un peu moins de sédiments mis en suspension dans le chenal principal viennent se déposer sur les battures. Il y aura quand même de la déposition dans les zones mortes d'écoulement.

Les figures qui suivent montrent les vitesses d'écoulement à l'amont et à l'aval des jetées proposées pour le flot (figures 3 et 4) et pour le jusant (figures 5 et 6)

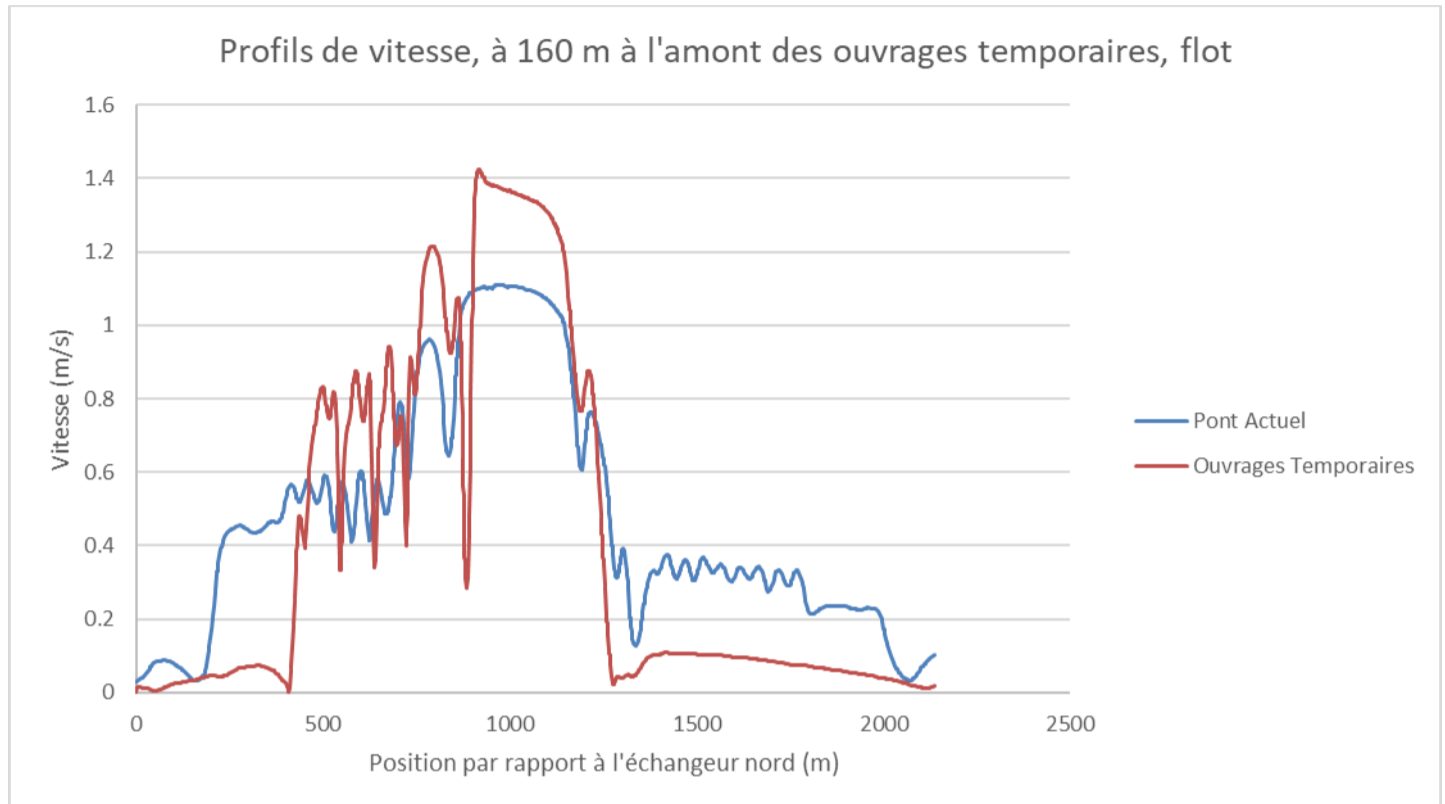


Figure 3 – Profil de vitesse, amont des jetées proposées – PMSGM – Flot

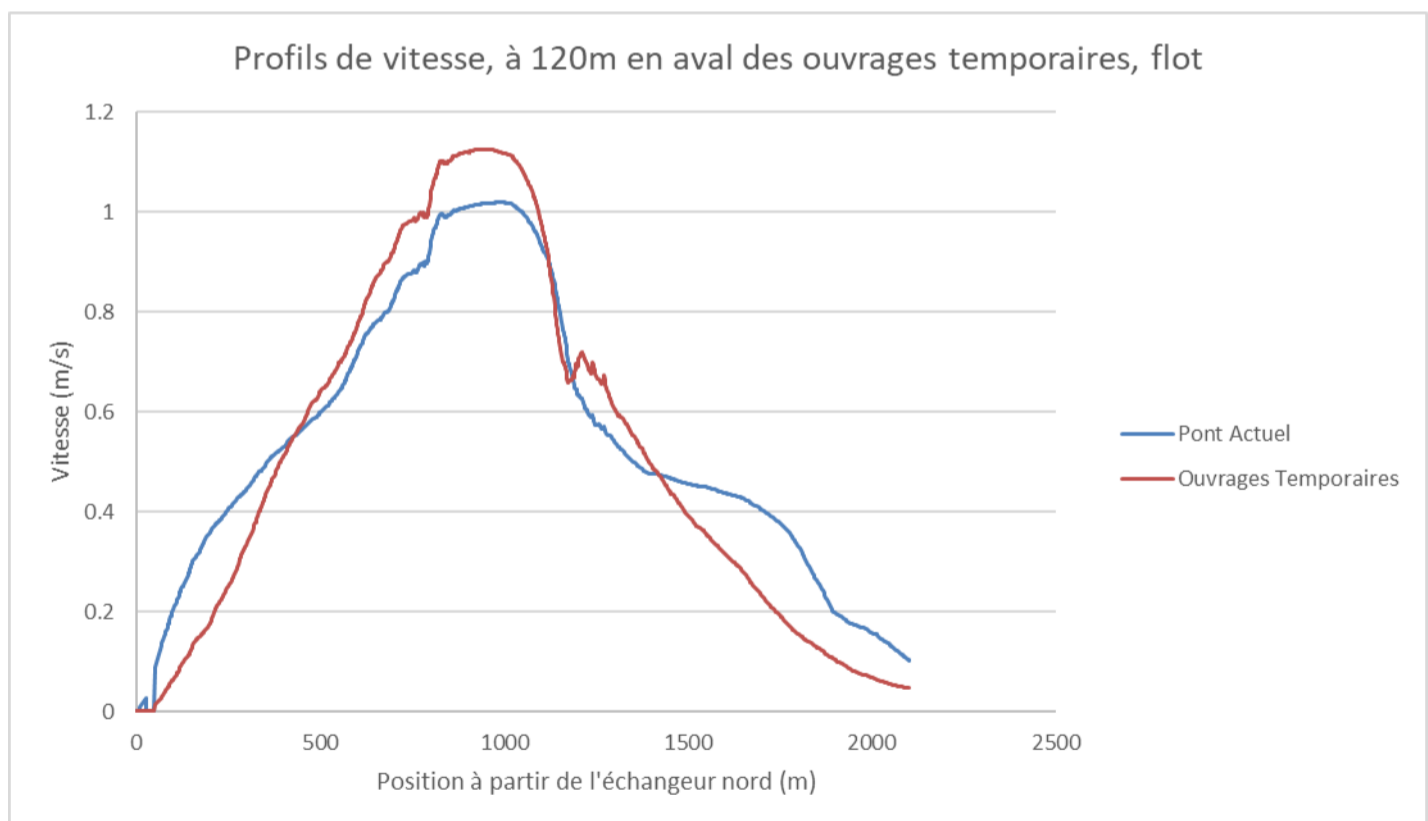


Figure 4 – Profil de vitesse, aval des jetées proposées – PMSGM – Flot

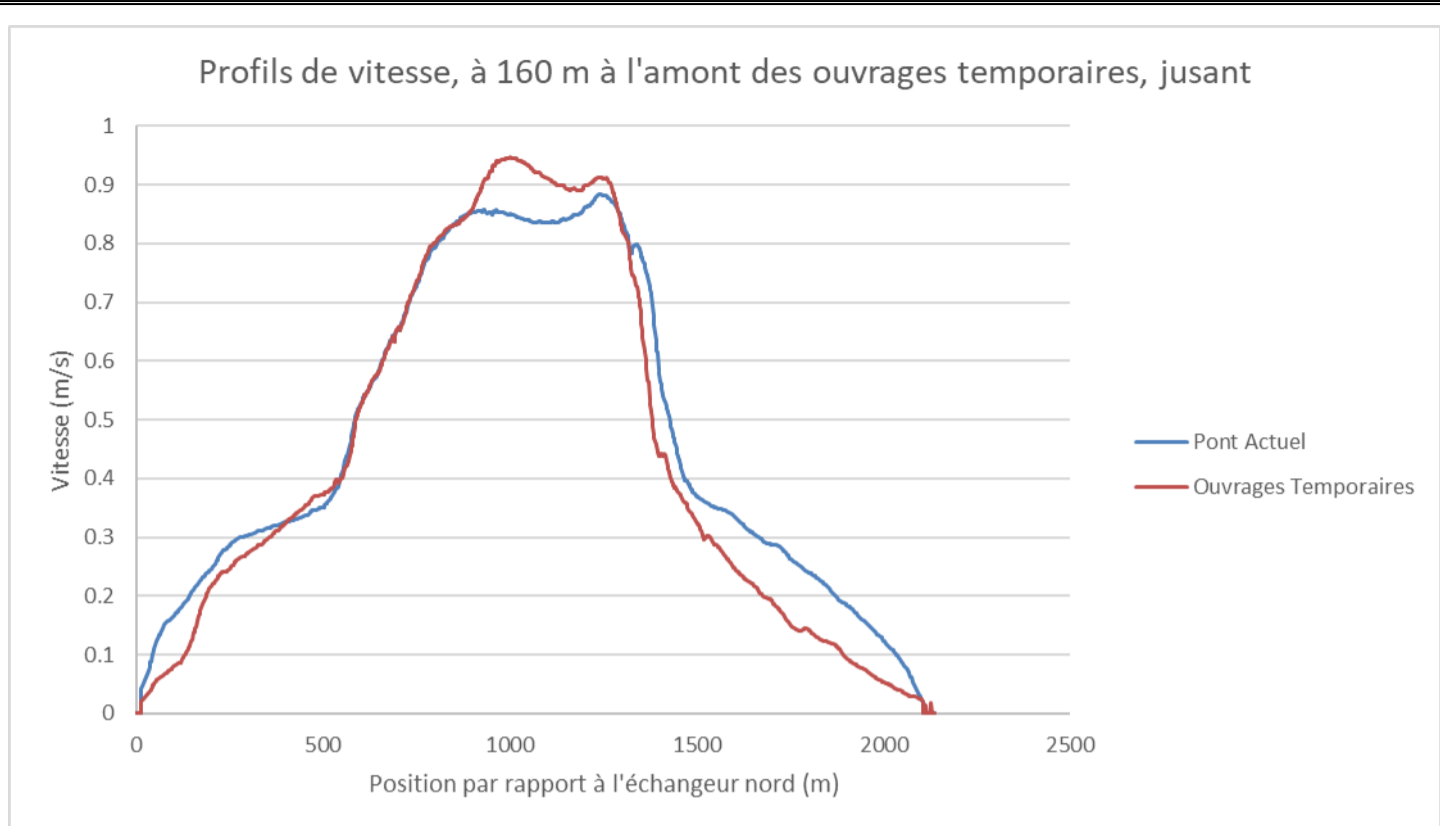


Figure 5 – Profil de vitesse, amont des jetées proposées – PMSGM - Jusant

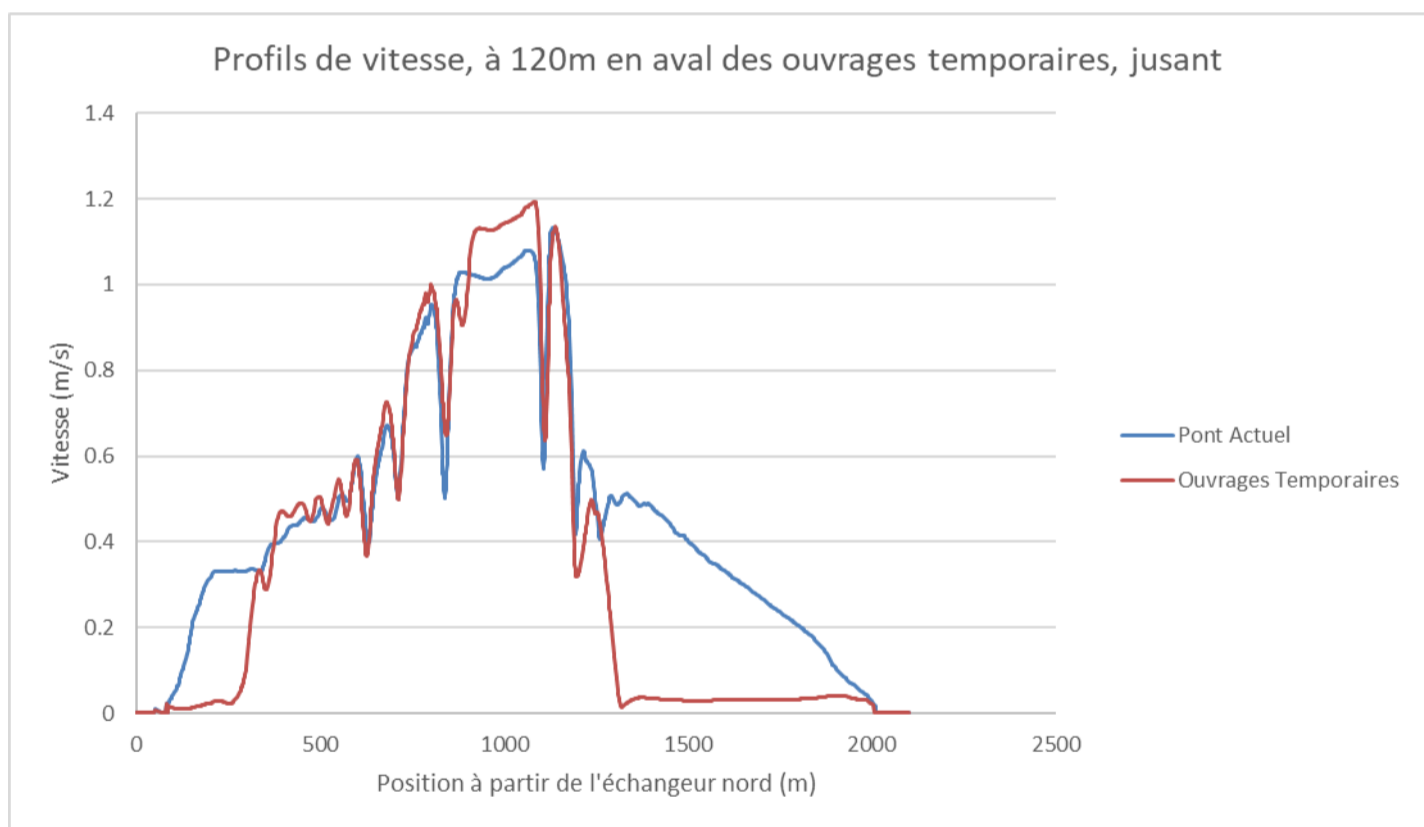


Figure 6 – Profil de vitesse, aval des jetées proposées – PMSGM – Jusant

L'augmentation des vitesses varie d'environ 0,1 m/s à 0,3 m/s dans le chenal principal à proximité des jetées pour les différents cas évalués. Un abaissement considérable, surtout vis à vis des jetées, est observable sur les figures 3 et 6. Cette diminution varie entre 0,1 m/s et 0,5 m/s.

Les figures qui suivent montrent les variations de vitesses d'écoulement pour le flot (figure 7) et le jusant à la PMSGM (figure 8).

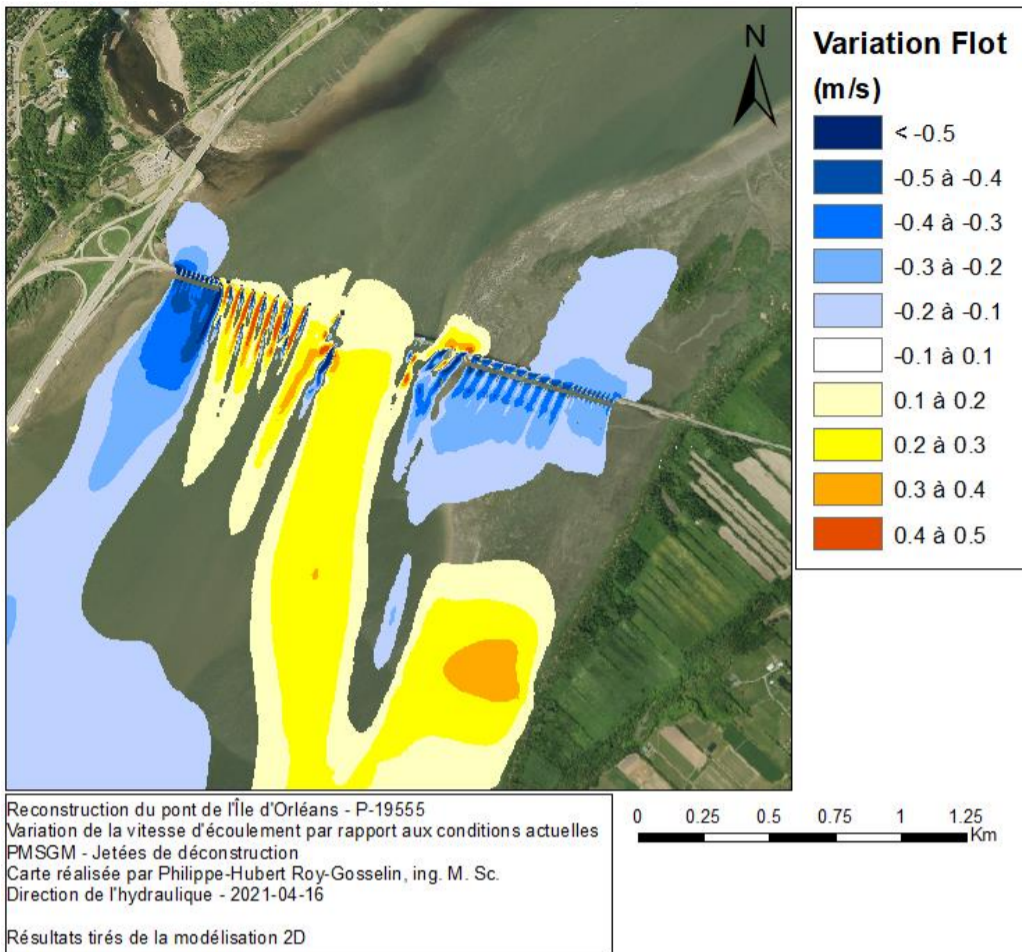


Figure 7 – Différence dans les vitesses d'écoulement PMSGM – Flot

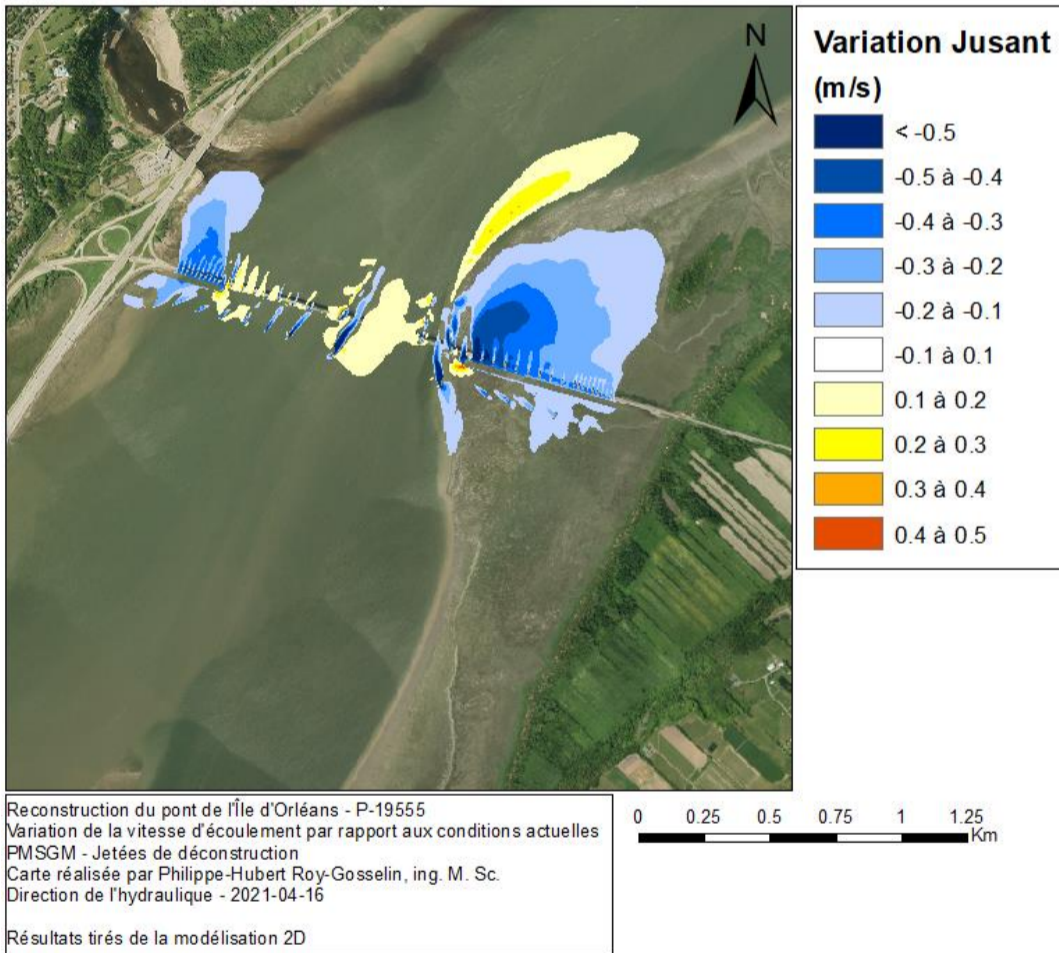


Figure 8 – Différence dans les vitesses d'écoulement PMSGM – Jusant

La variation des vitesses au flot est plus importante qu'au jusant. Elle prend aussi une plus grande distance pour se dissiper. Les figures permettent aussi d'identifier des zones avec des diminutions de vitesse qui pourraient mener à une sédimentation supplémentaire.

Niveaux d'eau

Les niveaux d'eau ont été évalués pour les conditions de conception. Les variations de niveau d'eau ne sont pas significatives (2 cm ou moins) et restent très localisées autour des jetées.

Tableau 1 – Élévation de l'eau à l'amont et à l'aval des jetées temporaires lors de la marée de conception

Emplacement	125 m aval nord	125 m aval sud	125 m amont nord	125 m amont sud
Élévation en présence du pont actuel (m)	5,10	5,08	5,08	5,07
Élévation en présence des ouvrages temporaires (m)	5,10	5,09	5,06	5,05

Constats

Au niveau de la conception hydraulique des ouvrages temporaires, les variations des vitesses d'écoulement ne sont pas majeures et n'ont pas d'impact sur les exigences présentées à l'étude hydraulique.

Au niveau des risques de sédimentation, les variations dans les champs de vitesse dévoilent des zones de part et d'autre des jetées qui auraient un potentiel de sédimentation causé par l'abaissement des vitesses d'écoulement. C'est davantage marqué du côté de la jetée au sud.

Les niveaux d'eau ne sont pas variés significativement dans le secteur.

Il est à souligner que les conclusions et recommandations élaborées dans le cadre de cet avis technique hydraulique ne sont valides que pour la structure P-19555 et les ouvrages mentionnés dans la section *Objet* et ne pourront être utilisées pour d'autres sites, même contigus, sans avoir fait l'objet d'une étude complémentaire.

Annexe 8

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : pont et raccordement

Activités	Quantités		Matériaux	Sous-Activités	Types d'émissions	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type d'équipement		Nombre d'unités pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type d'équipement		kilomètre entre fournisseur et chantier (aller-retour)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de construction	Consommation totale de l'équipement mobile (Litres)	Consommation totale de l'équipement mobile (Litres)	Échéancier Sommaire (jours)			Remarques-Hypothèses	Émissions de GES					Émissions de carbone noir											
	Q1	Q2					Qtes	unité		(Litres/100 km)	(Litres/heure)					Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers (t/an)	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route (t/an)									
																			Tonnes	Tonnes	Tonnes	téq CO ₂ eq	téq CO ₂ eq	téq CO ₂ eq	téq CO ₂ eq	téq CO ₂ eq										
3 - TRAVERSES D'APPROCHE																																				
Amélioration des sols (si requis)																																				
Fondation piliers	1 915	m	Pieux caissons	Livraison Armature	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		56		19			8 mois	160	3840		0,0521	0,00000	0,00000	0,00005	0,00087	0,05301	0,00684									
				Transport de la grue	Équipements lourds	Grue			1	35		36		13											0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446					
				Mise en place de l'Armature	Combustion de sources mobiles	Grue			1		88				384					33 813					(Temps /3 activité) fonctionnement de la grue @ 30%	90,6518	0,00372	0,00511	0,09298	1,52150	92,26625		43,59617			
				Livraison pieux caissons	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		56		19												0,0521	0,00000	0,00000	0,00005	0,00087	0,05301	0,00684				
				Transport de la grue	Équipements lourds	Grue			1	35		36		13												0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446				
				Enfoncement pieux caisson	Combustion de sources mobiles	Grue			1		88				1024					90 167						(Temps /3activité) fonctionnement de la grue @ 30%	241,7380	0,00992	0,01362	0,24796	4,05734	246,04332		116,25644		
				Bétonnage pieux caissons	Combustion de sources mobiles	Camion bétonnière (semi-remorque)	10	m³	225	35		15		1 155												2250 m³ de béton calculer lors de l'estimation.	3,0966	0,00013	0,00017	0,00318	0,05197	3,15170	0,40644			
				Transport de la pompe à béton	Équipements lourds	Pompe à béton			1	35		64		22													0,0601	0,00000	0,00000	0,00006	0,00101	0,06112	0,00788			
Semelles des piliers	3 600	m³	Armature	Livraison Armature	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		56		19			9,5 mois	190	4560		0,0521	0,00000	0,00000	0,00005	0,00087	0,05301	0,00684									
				Transport de la grue	Équipements lourds	Grue			1	35		36		13											0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446					
				Mise en place de l'Armature	Combustion de sources mobiles	Grue			1		88				456					40 153				(Temps /3 activité) fonctionnement de la grue @ 30%	107,6490	0,00442	0,00606	0,11042	1,80678	109,56617		51,77045				
				Livraison de coffrage	Combustion de sources mobiles	Fardier			4	35		56		78												0,2083	0,00001	0,00001	0,00021	0,00350	0,21202	0,02734				
			Transport de la grue	Équipements lourds	Grue			1	35		36		13												0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446					
			Mise en place du coffrage	Équipements lourds	Grue			1		88				1216		107 073								(Temps /3activité) fonctionnement de la grue @ 80%	287,0639	0,01178	0,01617	0,29445	4,81809	292,17645		138,05453				
			Bétonnage (livraison du béton)	Combustion de sources mobiles	Camion bétonnière (semi-remorque)	10	m³	360	35		15		1 848													4,9545	0,00020	0,00028	0,00508	0,08316	5,04273	0,65031				
			Transport de la pompe à béton	Équipements lourds	Pompe à béton			1	35		64		22													0,0597	0,00000	0,00000	0,00006	0,00100	0,06079	0,00784				
Piliers	3 800	m³	Armature	Livraison Armature	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		56		19			12mois	240	5760		0,0521	0,00000	0,00000	0,00005	0,00087	0,05301	0,00684									
				Transport de la grue	Équipements lourds	Grue			1	35		36		13											0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446					
				Mise en place de l'Armature	Combustion de sources mobiles	Grue			1		88				576					50 719				(Temps /3 activité) fonctionnement de la grue @ 30%	135,9776	0,00558	0,00766	0,13948	2,28225	138,9937		65,39425				
				Livraison de coffrage	Combustion de sources mobiles	Fardier			4	35		56		78												0,2083	0,00001	0,00001	0,00021	0,00350	0,21202	0,02734				
			Transport de la grue	Équipements lourds	Grue			1	35		36		13												0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446					
			Mise en place du coffrage	Équipements lourds	Grue			1		88				1536		135 251								(Temps /3activité) fonctionnement de la grue @ 80%	362,6070	0,01488	0,02042	0,37194	6,08601	369,06499		174,38467				
			Bétonnage (livraison du béton)	Combustion de sources mobiles	Camion bétonnière (semi-remorque)	10	m³	380	35		15		1 951													5,2297	0,00021	0,00029	0,00536	0,08778	5,32288	0,68644				
			Transport de la pompe à béton	Équipements lourds	Pompe à béton			1	35		64		22													0,0601	0,00000	0,00000	0,00006	0,00101	0,06112	0,00788				
Éléments de précontrainte																																				
Tablier – Éléments en acier	4 690 000	kg	Acier	Livraison éléments tablier	Combustion de sources mobiles	Fardier	29500	kg	159	35		136		7 568		19 mois	380	9120		20,2887	0,00083	0,00114	0,02081	0,34053	20,65005	2,66304										
				Transport de la grue	Combustion de sources mobiles	Fardier	2200	m²	5	35		136		226											0,6050	0,00002	0,00003	0,00062	0,01015	0,61579	0,07941					
Tablier – Éléments en béton	10 430	m²	Béton	Livraison éléments tablier	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		36		25						0,0679	0,00000	0,00000	0,00007	0,00114	0,06916	0,00892										
				Transport de la grue	Combustion de sources mobiles	Grue			2	35		88		2280		401 525					(Temps /2 activité) fonctionnement de la grue @ 50%	1076,4896	0,04417	0,06063	1,10419	18,06784	1095,66168		258,85224							
Appareils d'appui	12	Unité	App.App	Livraison des appareils d'appui	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		40		14		4,5mois	90	2160		0,0375	0,00000	0,00000	0,00004	0,00063	0,03820	0,00493										
				Transport de la grue	Combustion de sources mobiles	Grue			1	35		36		13											0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446					
Joints	1	Unité	Joint	Installation des appareils d'appui	Équipements lourds	Grue			1		88		324		28 529					76,4874	0,00314	0,00431	0,07846	1,28377	77,84965		36,78427									
				Livraison des appareils d'appui	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		40		14									0,0375	0,00000	0,00000	0,00004	0,00063	0,03820	0,00493							
Tablier (étanchéité et enrobé)	9 960	m²	pose enrobé	Transport de la grue	Combustion de sources mobiles	Grue			1	35		36		13		3	60	1440		0,0340	0,00000	0,00000	0,00003	0,00057	0,03458	0,00446										
				Installation des appareils d'appui	Équipements lourds	Grue			1		88		432		38 039										101,9832	0,00418	0,00574	0,10461	1,71169	103,79953		49,04569				
				Livraison enrobé	Combustion de sources mobiles	Camion benne (10 tonnes)	30	t	52	35		38		693												1,8588	0,00008	0,00010	0,00191	0,03120	1,89190	0,24398				
				Équipements lourds	Camion colasse (10 tonnes)	5000	L	2	35		38		26													0,0710	0,00000	0,00000	0,00007	0,00119	0,07229	0,00932				
Équipements d'accès pour inspection	84	unité	Utilisation	Équipements lourds	Équipements lourds	Nacelle			1		16		2016		31 794						85,2397	0,00350	0,00480	0,08743	1,43067	86,75781		60,73098								
				Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		14		14		10							0,0263	0,00000	0,00000	0,00003	0,00044	0,02674	0,00345							
Éclairage fonctionnel	1	Global	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5			5	100	2400		33,6320	0,00138	0,00189	0,03450	0,56448	34,23097		16,17427									
				Équipements lourds	Camion flèche			1		91		137		12 545											(Temps /7 activité) Fonctionnement camion flèche @ 40%	0,0131	0,00000	0,00000	0,00001	0,00022	0,01337	0,00172				
Système de drainage	24	unité	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5								33,6320	0,00138	0,00189	0,03450	0,56448	34,23097		16,17427								
				Équipements lourds	Camion flèche			1		91		137		12 545									0,0263	0,00000	0,00000	0,00003	0,00044	0,02674	0,00345							
Barrières (4)	520	m	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		14		10			5	100	2400		24,2817	0,00100	0,00137	0,02491	0,40755	24,71417		11,67754									
				Équipements lourds	Grue			1		88		103		9 057											(Temps /7 activité) Fonctionnement grue @ 30%											
Équipements et mobiliers architecturaux																																				
Autre : Culée	1	Global	Armature	Livraison armature	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		56		39		5	100	2400		0,1042	0,00000	0,00001	0,00011	0,00175	0,10601	0,01367										
				Mise en place armature	Équipements lourds	Grue			1		88		103		9 057										(Temps /7 activité) fonctionnement de la grue @ 30%	24,2817	0,00100	0,00137	0,02491	0,40755	24,71417		11,67754			
			Livraison de coffrage	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		56		19																							

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : pont et raccordement

Activités	Quantités		Matériaux	Sous-Activités	Types d'émissions	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type d'équipement		Nombre d'unités pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type d'équipement		kilomètre entre fournisseur et chantier (aller-retour)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de construction	Consommation totale de l'équipement mobile (Litre)	Consommation totale de l'équipement mobile (Litre)	Échéancier Sommaire (jours)			Remarques/Hypothèses	Émissions de GES						Émissions de carbone noir		
							Cites	unité		Litre/100 km	Litre/heure					Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers (t/an)	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route (t/an)	
Aménagement du stationnement pour équipement du MTQ	4 000	m ²		Livraison enrobé	Combustion de sources mobiles	Camion benne (10 roues)	30	t	21	35		38		278		4	80	1920	Hypothèse : épaisseur de 65 mm (624 tonnes)	0,7459	0,00003	0,00004	0,00077	0,01252	0,75919	0,09791		
				pose enrobé	Équipements lourds	Camion colasse (10 roues)	5000	L	1	35		38		11						Hypothèse : 4000 L de liant	0,0285	0,00000	0,00000	0,00003	0,00048	0,02903	0,00374	
					Équipements lourds	Paveuse			1			47		1152					54 504	Fonctionnement @60%	146,1252	0,00600	0,00823	0,14989	2,45257	148,72768		70,27442
					Équipements lourds	Rouleau compacteur			2			30		1152					68 796	Fonctionnement @ 60%	184,4425	0,00757	0,01039	0,18919	3,09569	187,72738		24,63943
Éclairage fonctionnel	1	Global		Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		14		10		8	160	3840		0,0263	0,00000	0,00000	0,00003	0,00044	0,02674	0,00345		
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		384		35 125				(Temps / 4 activité) Fonctionnement camion flèche @ 40%	94,1696	0,00386	0,00530	0,09659	1,58055	95,84673		45,28796	
Système de drainage	1	Global		Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5		8	160	3840		0,0131	0,00000	0,00000	0,00001	0,00022	0,01337	0,00172		
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		384		35 125				(Temps / 4 activité) Fonctionnement camion flèche @ 40%	94,1696	0,00386	0,00530	0,09659	1,58055	95,84673		45,28796	
Barrières	1	Global		Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		14		10		8	160	3840		0,0263	0,00000	0,00000	0,00003	0,00044	0,02674	0,00345		
				Mise en place	Équipements lourds	Grue			1		88		288		25 360				(Temps / 4 activité) Fonctionnement grue @ 30%	67,9888	0,00279	0,00383	0,06974	1,14113	69,19968		32,69712	
Autre : STI et signalisation	1	Global		Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5		8	160	3840		0,0131	0,00000	0,00000	0,00001	0,00022	0,01337	0,00172		
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		288		26 344				(Temps / 4 activité) Fonctionnement grue @ 30%	70,6272	0,00290	0,00398	0,07244	1,18541	71,88505		33,96597	
Équipements et mobiliers architecturaux	1	Global		Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		14		10		8	160	3840		0,0263	0,00000	0,00000	0,00003	0,00044	0,02674	0,00345		
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		768		70 250				(Temps / 3 activité) Fonctionnement camion flèche @ 40%	188,3392	0,00773	0,01061	0,19319	3,16109	191,69346		90,57592	
Aménagement paysagiste et végétalisation	1	Global		paysagement	Combustion de sources mobiles				1	35		15		5		12	240	5760	Hypothèse : 15 km aller/retour	0,0141	0,00000	0,00000	0,00001	0,00024	0,01433	0,00185		
				Plantation des végétaux	Équipements lourds	Mini-pelle			1		17		768		13 065				(Temps / 3 activité) Fonctionnement camion flèche @ 40%	35,0268	0,00144	0,00197	0,03593	0,58789	35,65058		12,47781	
					Combustion de sources mobiles	Camionnette 4 portes			1		10		384		3 763				(Temps / 3 activité) Fonctionnement camion flèche @ 20%	10,0891	0,00041	0,00057	0,01035	0,16934	10,26882		0,44707	
Enrochement ou revêtement de protection	1	Global		Livraison des matériaux	Équipements lourds	Camion benne (10 roues)			1			35		192		12	240	5760	(Temps / 3 activité) Fonctionnement camion flèche @ 10%	18,1193	0,00074	0,00102	0,01859	0,30411	18,44197		2,37828	
				mise en place	Combustion de sources mobiles	Mini-pelle			1		17		768		13 065				(Temps / 3 activité) Fonctionnement camion flèche @ 40%	35,0268	0,00144	0,00197	0,03593	0,58789	35,65058		12,47781	

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : pont et raccordement

Activités	Quantités		Matériaux	Sous-Activités	Types d'émissions	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type d'équipement		Nombre d'unités pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type d'équipement		kilomètre entre fournisseur et chantier (aller-retour)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de construction	Consommation totale de l'équipement mobile (Litre)	Consommation totale de l'équipement mobile (Litre)	Échéancier Sommaire (jours)			Remarques/Hypothèses	Émissions de GES						Émissions de carbone noir						
							Qtes	unité		Litre/100 km	Litre/hre					Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers (t/an)	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route (t/an)					
Barrières	1	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		14		10		8	240	4320	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,0263	0,00000	0,00000	0,00003	0,00044	0,02674	0,00345						
				Mise en place	Équipements lourds	Grue			1		88		259		22 824														29,42741			
Équipements de supersignalisation	1	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5		8	240	4320	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,0131	0,00000	0,00000	0,00001	0,00022	0,01337	0,00172						
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		259		23 709													30,56937				
Autre : Feux de circulation – STI – Signalisation	1	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5		8	240	4320	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,0131	0,00000	0,00000	0,00001	0,00022	0,01337	0,00172						
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		259		23 709													30,56937				
Équipements et mobiliers architecturaux	1	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		14		5		8	240	4320	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,0131	0,00000	0,00000	0,00001	0,00022	0,01337	0,00172						
				Mise en place	Équipements lourds	Camion flèche			1		91		346		31 612													40,75916				
Aménagement paysagiste et végétalisation	1	Global	-	Livraison des végétaux	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		15		5		12	240	5760	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,0141	0,00000	0,00000	0,00001	0,00024	0,01433	0,00185						
				Plantation des végétaux	Équipements lourds	Mini-pelle			1		17		768		13 065													12,47781				
Enrochement ou revêtement de protection	1	Global	-	Livraison des matériaux	Combustion de sources mobiles	Camionnette 4 portes			1			10		384		12	240	5760	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	10,0891	0,00041	0,00057	0,01035	0,16934	10,26882	0,44707						
				mise en place	Équipements lourds	Camion benne (10 roues)			1		35		192		6 758													2,37828				
Autre : Approche nord – Murs de soutènement	2 400	m ²	-	Armature	Livraison armature	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		56		39		3,5	70	1680	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,1042	0,00000	0,00001	0,00011	0,00175	0,10601	0,01367					
					Transport de la grue	Combustion de sources mobiles	Grue			1		35		36		13													0,00446			
					Mise en place de l'armature	Équipements lourds	Grue			1		88		168		14 793													19,07332			
				Coffrage	Livraison de coffrage	Combustion de sources mobiles	Fardier			1		35		56		19															0,00684	
					Mise en place du coffrage	Équipements lourds	Grue			1		88		336		29 586															38,14665	
					Bétonnage (livraison du béton)	Combustion de sources mobiles	Camion bétonnière (semi-remorque)	10	m ³	180	35		15		924																0,32516	
Autre : Échangeur A40 – Murs de soutènement	800	m ²	-	Armature	Transport de la pompe à béton	Équipements lourds	Pompe à béton			1	35		64		22		3,5	70	1680	(Temps /5 activités) fonctionnement @ 30%	0,0597	0,00000	0,00000	0,00006	0,00100	0,06079	0,00784					
					Livraison armature	Combustion de sources mobiles	Fardier			2	35		56		39														0,01367			
					Transport de la grue	Combustion de sources mobiles	Grue			1	35		36		13														0,00446			
				Coffrage	Mise en place de l'armature	Équipements lourds	Grue			1		88		168		14 793														19,07332		
					Livraison de coffrage	Combustion de sources mobiles	Fardier			1	35		56		19															0,00684		
					Mise en place du coffrage	Équipements lourds	Grue			1		88		336		29 586														38,14665		
Béton	Bétonnage (livraison du béton)	Combustion de sources mobiles	Camion bétonnière (semi-remorque)	10	m ³	80	35		15		411												0,14451									
	Transport de la pompe à béton	Équipements lourds	Pompe à béton			1	35		64		22												0,00788									
Aménagement des aires de chantiers (contingence de 3%)																								796	3	256						
																		Total (t_{éq} CO₂)						27325	111	8804						
																								36240								

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : ouvrages temporaires

Activités	Quantités	Matériaux	Sous-Activités	Types d'émissions	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type		Nombre d'unités pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type		kilomètre entre fournisseur et chantier (aller-retour)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de construction	Consommation totale de l'équipement mobile (Litre)	Consommation totale de l'équipement mobile (Litre)	Échéancier Sommaire			Remarques/hypothèses	Émissions de GES						Émissions de carbone noir			
						Qtes	unité		(Litre/100 km)	(Litre/heure)					Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route	Carbone noir émis par les navires	
															Tonnes	Tonnes	Tonnes	teq CO ₂	teq CO ₂	teq CO ₂ eq	teq CO ₂ eq	teq CO ₂ eq	teq CO ₂ eq					
1 – GÉNÉRAL																												
Espaces d'entreposage et de montage	2	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier		2	40		30		12		1	20	480	Hypothèse : fournisseur 30 km aller/retour	0,032	0,000	0,0000	0,00003	0,0005	0,033	0,0042228			
				Mise en place	Équipements lourds	Grue		1		88		120	10 566					Hypothèse durée 1 mois	28,329	0,001	0,0016	0,02906	0,4755	28,833		13,62380195		
Autres coûts (zone de poussage)	2	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier		2	40		30		12		1	20	480	Temps de fonctionnement de la grue à	0,032	0,000	0,000	0,00003	0,0005	0,033	0,0042228			
				Mise en place	Équipements lourds	Grue		1		88		120	10 566					Hypothèse : fournisseur 30 km aller/retour	28,329	0,001	0,0016	0,02906	0,4755	28,833		13,62380195		
																		Hypothèse durée 1 mois										
2 – OUVRAGE HAUBANÉ																												
Jetée (si requis)	S/O	S/O																										
Utilisation de barges	60	Barges-mois			Équipements lourds	Barge		1		42		21600	908 400	60	1200	28800	Hypothèse barge : 18' x 8' x 4'	2435,420	0,100	0,1372	2,48810	40,8762	2479				1257,783358	
Soutènement temporaire (3 palées provisoires) – batardeaux (2)	1	Global	palplanches	Livraison palplanches	Combustion par source mobiles	Fardier		2	40		177,6		71		12	240	5760		0,190	0,000	0,000	0,00020	0,0032	0,194	0,024998976			
				Enfoncement palplanche	Équipements lourds	Grue		2		88		8640	1 521 570						4079,329	0,167	0,2298	4,18432	68,4676	4152			980,9137407	
Aménagement et démantèlement d'un site de préfabrication	S/O	S/O																	0,000			0,0000	0,0000					
Autres (grues maritimes, grues à tour, surveillance)	1	Global	-	Livraison grues	Combustion par source mobiles	Fardier		2	40		30,4		12		1	20	480	Hypothèse durée 1 mois	0,033	0,000	0,000	0,00003	0,0005	0,033	0,004279104			
				Assemblage des grues	Équipements lourds	Grue		1		88		0	0						0,000	0,000	0,0000	0,00000	0,0000	0,000				
3 – TRAVÉES D'APPROCHE SUD																												
Jetée sud	176 344	m ³	Matériaux granulaires	Livraison matériaux granulaires	Combustion par source mobiles	Camion semi-remorques	30	Tonnes	16 459	40	15		101 386	2	40	960			271,816	0,011	0,02	0,27881	4,5622	276,657	35,67775			
				Mise en place des matériaux granulaires	Équipements lourds	Grosse Pelle hydraulique			2	80		960	153 600						411,802	0,017	0,0232	0,42240	6,9117	419,1			110,096587	
				Mise en place des matériaux granulaires	Équipements lourds	Bouteur			1	70		480	33 600						90,082	0,004	0,0051	0,09240	1,5119	91,7			45,5482334	
Démolition de la jetée SUD																							1 102	267,85160				
Utilisation de barges	72	Barges-mois	Matériaux construction		Équipements lourds	Barge		1		42		34560	1 453 440	72	1440	34560	Hypothèse barge : 18' x 8' x 4'	3896,673	0,160	0,2195	3,99696	65,4019	3966,1				2012,453372	
Estacade (si requis)	S/O	S/O																	0,000			0,0000	0,0000					
Soutènement temporaire – batardeaux	10	Unité	palplanches	Livraison palplanches	Combustion par source mobiles	Fardier		2	40		177,6		71		9	180	4320		0,190	0,000	0,000	0,00020	0,0032	0,194	0,024998976			
				Enfoncement palplanche	Équipements lourds	Grue		2		88		6480	1 141 178						3059,497	0,126	0,1723	3,13824	51,3507	3114,0			735,6853055	
Aménagement et démantèlement d'un site de préfabrication	1	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier		2	40		30		12		1	20	480	Hypothèse durée 1 mois	0,032	0,000	0,000	0,00003	0,0005	0,033	0,00422			
				Mise en place	Équipements lourds	Grue		1		88		120	10 566						28,329	0,001	0,0016	0,02906	0,4755	28,833			13,62380195	
4 – TRAVÉES D'APPROCHE NORD																												
Jetée nord	136 513	m ³	Matériaux granulaires	Livraison matériaux granulaires	Combustion par source mobiles	Camion semi-remorques	30	Tonnes	12 741	40	15,4		78 486	2,5	50	1200			210,421	0,009	0,01	0,21584	3,5317	214,168	27,61917911			
				Mise en place des matériaux granulaires	Équipements lourds	Grosse Pelle hydraulique			2	80		1200	192 000						514,752	0,021	0,0290	0,52800	8,6396	523,920			137,6207338	
				Mise en place des matériaux granulaires	Équipements lourds	Bouteur			1	70		600	42 000						112,602	0,005	0,0063	0,11550	1,8899	114,607			56,93529175	
Démolition de la jetée Nord																							1 194	311,04529				
Utilisation de barges	60	Barges-mois			Équipements lourds	Barge		1		42		12960	545 040	36	720	17280	Hypothèse : utiliser un facteur de 1.4 par rapport à la construction de la jetée	1461,252	0,060	0,0823	1,49886	24,5257	1487,3				754,6700146	
Estacade (si requis)	S/O	S/O																	0,000			0,0000	0,0000					
Soutènement temporaire – batardeaux	7	Unité	palplanches	Livraison palplanches	Combustion par source mobiles	Fardier		2	40		177,6		71		6	120	2880		0,190	0,000	0,000	0,00020	0,0032	0,194	0,024998976			
				Enfoncement palplanche	Équipements lourds	Grue		2		88		2880	507 190						1359,776	0,056	0,0766	1,39477	22,8225	1384,0			326,9712469	
Aménagement et démantèlement d'un site de préfabrication	1	Global	-	Livraison matériaux	Combustion de sources mobiles	Fardier		2	40		30		12		1	20	480	Hypothèse durée 1 mois	0,032	0,000	0,000	0,00003	0,0005	0,033	0,00422			
				Mise en place	Équipements lourds	Grue		1		88		120	10 566						28,329	0,001	0,0016	0,02906	0,4755	28,833			13,62380195	

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : localisation

Point initial : PONT DE L'ÎLE D'ORLÉANS, BEAUPORT, QC, CANADA

BÉTON							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Entreprises L.T. Itée	589 Avenue Joseph-Giffard, Québec, Québec G1C 1N1, Canada	7,2	8	7,33	8,66667	8	9
Entreprises L.T. Itée	1209 Rue Wilbrod Robert, Québec, QC, Canada	7	10				
Unibéton / div. Ciment Québec	3725 Rue Saint-Henri, Beauport, Québec, Québec G1E 2T4, Canada	7,8	8				
Les Entreprises G. Pouliot Itée.	1000 Rue Jean Marchand, Lévis, QC, Canada	52	40				

Pompe à BÉTON							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Pompage provincial	1054 Boulevard Bastien Québec, QC G2K 1E6	16,6	13	31,825	25	32	25
Pompage excel	195, rue Copenhague St-Augustin-de Desmaures (Qc) Canada G3A 2V1	36,5	30				
Pompage industriel	1794 Rue Bresse, Quebec City, Quebec G2G 2P2	24,4	21				
Pompage bélanger	806 Rue du Ferblantier, Pintendre, QC G6C 1W1	49,8	36				

Grues J L R Inc							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Grues J L R Inc	1400 Rue du Grand Tronc, Québec, QC G1N 4H8	19,8	18	17,5	16	18	16
Guay inc	1160 Rue Bouvier, Québec, QC G2K 1L9	15,2	14				

Carières et Sablières									
No.	Fournisseur	Adresse	Type	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
458	Sablière DJL	Chemin du pont-à-mathias	Sablière	13,7	14	14,85	15	15	15
459	Carrière LT ou carrière l'Ange-Gardien	Chemin lucien-lefrancois	Carrière	11	11				
425	Carrière Charlesbourg	1975, boulevard louis-XIV	Carrière	13,3	13				
139	Carrière Unibéton	3725 rue Saint-Henri	Carrière	7,7	8				
201	Carrière Unibéton	8410 boulevard Pierre-Bertrand	Sablière et carrière	17	18				
424	Carrière P.E.B(lac St-Charles)	16012 boulevard de la colline	Sablière et carrière	26,4	26				

LES CENTRALES D'ENROBAGE									
No.	Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)	
24	Les Entreprises L.T. Itée.	400, rue Desrochers, Québec	17	15	18,43	15,29	19,00	16,00	
29	Pavage U.C.P. inc.	8400, boulevard Pierre-Bertrand, Québec	17	15					
30	Les Entreprises P.E.B. Itée	16012, boulevard de la Colline, Québec	26	25					
83	Inter-Cité Construction Itée	1629, boulevard Jean-Talon Ouest, Québec	17,8	16					
142	Construction DJL inc.	6040, boulevard Sainte-Anne, L'Ange-Gardien	5,1	4					
178	Construction et Pavage Portneuf inc.	253, rue de Rotterdam, Saint-Augustin-de-Desmaures	39,1	25					
208	Les Entreprises L.T. Itée.	1209, rue Wilbrod-Robert, Québec	7	7					

Pieux							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Pétrifond	8320 Boul St-Laurent, Montréal, QC H2P 2M3	265	158	176,90	106,50	177,00	107,00
Camille Blais & Fils Ltée	1430 Rang du Coteau S, Saint-Pierre-de-la-Rivière-du-Sud, QC G0R 4B0	88,8	55				

Armature							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Acier AGF	595, avenue Newton Québec (Québec) Canada G1P 4C4	20,4	16	27,75	20,00	28,00	20,00
Ferrailleur du Québec	165 de Liverpool, C.p. 153 St-Augustin-de-Desmaures, Québec, Canada G3A 1V9	35,1	24				

Appareils d'appui							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Canam-ponts	1445, rue du Grand-Tronc Québec (Québec) G1N 4G1	19,8	16	19,80	16,00	20,00	16,00

Location nacelle							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Lou-Tec Québec	816 Rue Arduin, Québec, QC G1C 7M9	6,3	7	6,30	7,00	7,00	7,00

Fabrication des dalles de tablier							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Béton préfabriqué du Lac, usine Préfab de	1354 2ième rue, Ste-Marie-de-Beauce, G6E 1G8	67,4	44	67,40	44,00	68,00	44,00

Sout-traitant Électrique							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Ondel	415, Rue Adanac, Beauport, Québec G1C 6B9	6,3	7	6,30	7,00	7,00	7,00

Sout-traitant Acier							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Beauce Atlas	600, 1re avenue du Parc-Industriel Sainte-Marie QC G6E 1B5	67,6	42	58,03	47,33	59,00	48,00
Canam	114-6700, rue, Boulevard Pierre-Bertrand, Québec, QC G2J 0B4	43,4	44				
Stellaire	100 Rue des Grands Lacs, Saint-Augustin-de-Desmaures, QC G3A 2K1	63,1	56				

Pompe béton							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Pompage provincial inc.	1054 Boulevard Bastien, Quebec City, Quebec G2K 1E6	16,6	14	30,27	23,67	31,00	24,00
Pompage industriel	1794 Rue Bresse, Quebec City, Quebec G2G 2P2	24,4	21				
Pompage bélanger	806 Rue du Ferblantier, Pintendre, QC G6C 1W1	49,8	36				

Fournisseur Hauban							
Fournisseur	Adresse	Distance du chantier à l'usine (km)	Durée du voyage du chantier à l'usine (minute)	Moyenne distance (km)	Moyenne durée (minute)	Arrondi distance (km)	Arrondi Durée (minute)
Canadian bbr inc.	3450 Midland Ave. Scarborough M1V 4V4, Ontario Eastern Canada	795	468	795,00	468,00	795,00	468,00

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : Équipement

GRUE								
Modèle			Flèche (pi)	Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Moyenne Consommation (L/H)	Référence
CAMION À FLÈCHE	Terex RS70100	35 tonnes	100	330	18,33	69	91	https://www.gruesguay.com/equipements/location/#%7B%22category%22%3A%22cranes%22%2C%22craneType%22%3A%22%22%2C%22craneTonnage%22%3A%22%22%2C%22accessoryType%22%3A%22%22%2C%22accessorySubCategory%22%3A%22%22%7D
	National 18142	40 tonnes	142	425	23,61	89		
	Manitex 45110S	45 tonnes	110	550	30,56	116		
CONVENTIONNELLE SUR CHENILLES	Link-Belt LS518	150 tonnes	300	245	13,61	52	88	
	American 9299	165 tonnes	290	335	18,61	70		
	Manitowoc 14000	220 tonnes	292	340	18,89	71		
	Manitowoc 999	275 tonnes	290	400	22,22	84		
	Manitowoc 2250	300 tonnes	330	500	27,78	105		
	Manitowoc MLC300	330 tonnes	393	500	27,78	105		
	Manitowoc 16000 Série III	440 tonnes	393	500	27,78	105		
Terex-Demag CC2800-1	700 tonnes	452	530	29,44	111			
TOUT-TERRAIN	Grove GMK5165-2	165 tonnes	197	503	27,94	106	98	
	Demag AC435 (97K CTP)	180 tonnes	164	447	24,83	94		
	Grove GMK6250-L	250 tonnes	236	177	9,83	37		
	Grove GMK6400	450 tonnes	197	551	30,61	116		
	Demag TEREX AC500-2	600 tonnes	27 à 292	653	36,28	137		

Nacelle						
Modèle		Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Moyenne Consommation (L/H)	Référence
GENIE ZX-135/70 (135 pi)		75	4,17	16	16	file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Genie_Z135-70_Spec_Tech.pdf
1250AJP (125pi)		75	4,17	16		file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Ultra-Boom-Lifts-Brochure.pdf
GENIE SX-180 (180 pi)		75	4,17	16		file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Genie-SX-180-Specifications-2.pdf

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : Équipement

Autres Équipements						
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Remarque	Référence
Rouleau compacteur	CAT CB16	142	7,89	30		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/compactors.html?page=2
Bouteur chenillé	Jonh Deere 850L	350	19,44	74		https://www.deere.ca/fr/bouteurs/
Grosse Pelle hydraulique	CAT 352	423	23,50	89		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/excavators/large.html
Petite Pelle hydraulique	CAT313	80,9	4,49	17		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/excavators/small.html
Niveleuse	CAT 160 / 160 AWD	221	12,28	46		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/motor-graders.html
Paveuse	CAT AP1000F	225	12,50	47	Plage de pose standard 3,0 à 6,0 m	https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/asphalt-pavers.html
Véhicules légers (essence)	Camionnette 4 portes			10		https://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/evc08/pdf/evc08.pdf
Camions moyens (diesel)				26		
Barge 18' x 8' x 4'		200	11,11	42		
Barge 80' x 50' (4 nacelles 125 à 180 pi)		666	37,00	140		https://www.groupeocean.com/services/location-barge-travail-et-equipements-maritimes/
Barge 250' x 72' x 16'		3000	166,67	631		
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/100km)	Remarque	Référence
Camions lourds (diesel)				35	Capacité benne : 16 tonnes	http://www.yrpaquette.com/page-d-exemple/
Camion Épandeur à liant				35	Capacité du réservoir 5 000 litres de liant	https://www.michaudville.com/equipements/camion-a-collasse-mauldin-2012/
Camion à eau				35	Capacité du réservoir 2 000 litres d'eau	https://www.michaudville.com/equipements/camion-a-collasse-mauldin-2012/
Bétonnière (4 roues motrices sur 6)				35	Capacité : 6m ³	
Bétonnière (4 roues motrices sur 8)				35	Capacité : 8m ³	http://www.toupie-beton.net/article/capacite-10
Bétonnière (Semi-remorque, avec 2 essieux)				35	Capacité : 10m ³	
Pompe à béton				35		
Fardier				35	Capacité charge 29500 kg (30t)	https://ethiermt.com/equipements/

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : FE diesel

Facteur d'émission pour les équipements mobiles

Équation 2 du guide de quantification des émissions de GES

Constantes nécessaires pour le calcul des émissions en vertu du RDOCECA		
Sources ¹	Unités	Facteur d'émission
Facteur d'émission de CO2	kg CO2 -/ 1	2,681
Facteur d'émission de CH4	g CH4 -/ 1	0,11
Facteur d'émission de N2O	g N2O -/ 1	0,151
Potentiel de Réchauffement Planétaire CH4		25
Potentiel de Réchauffement Planétaire N2O		298

¹ <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/guide-quantification/guide-quantification-ges.pdf>

Tableau 3. Potentiel de réchauffement planétaire des différents GES (4e rapport du GIEC)

Type de GES	Quantité (tonnes métriques)	Potentiel de réchauffement planétaire (sans unités)	Équivalent dioxyde de carbone (t éq. CO ₂)
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1	1	1
Méthane (CH ₄)	1	25	25
Oxyde nitreux (N ₂ O)	1	298	298
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	1	22 800	22 800
Trifluorure d'Azote (NF ₃)	1	17 200	17 200
Hydrofluorocarbures (HFC)	1	Peut varier de 12 à presque 15 000	Variable, selon les molécules considérées ¹¹
Perfluorocarbures (PFC)	1	Peut varier de 7 000 à près de 18 000	Variable, selon les molécules considérées

Tableau 4. Facteurs d'émission associés aux équipements mobiles de combustion, en équivalent CO₂

Équipements mobiles ou combustible	g CO ₂ /litre	g CH ₄ /litre	g N ₂ O/litre	g éq. CO ₂ /litre	Référence
Essence pour automobile	2307	0,14	0,022	2317	*
Carburants diesel	2681	0,11	0,151	2729	*
Propane	1515	0,64	0,028	1539	*
Véhicules hors route à essence	2307	10,61	0,013	2576	*
Véhicules hors route au diesel	2681	0,073	0,022	2689	*
Véhicules au gaz naturel	1,9	0,009	0,00006	2,143	*, ***
Essence d'aviation	2365	2,2	0,23	2489	*
Carburacteur	2560	0,029	0,071	2582	*
Trains alimentés au diesel	2681	0,15	1	2983	*
Bateaux à essence	2307	0,22	0,063	2331	*
Navires à moteur diesel	2681	0,25	0,072	2709	*
Navires au mazout léger	2753	0,26	0,073	2781	*
Navires au mazout lourd	3156	0,29	0,082	3188	*

Calcul émissions GES et carbone noir - construction - FE -carbone noir

Émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières

Équation 42. Émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières (niveau 1)

$$E_{CN} = \sum_i (Q_i \times FE_{i,CE} \times 0,001)$$

Où :

E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières, en kilogrammes par an;
 i = Type de carburant;
 Q_i = Quantité de carburant du type « i » consommée annuellement;
 $FE_{i,CE}$ = Facteur d'émission associé au CE pour le type de carburant « i », en grammes par litre de carburant;
 0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Facteur d'émission du carbone élémentaire (CE)

Combustible	Polluant	Facteur d'émission	Unités
Diesel	CE	0,391	g/l
Essence	CE	0,132	g/l

Potentiel de réchauffement planétaire du carbone noir par rapport au CO2 (PRP)

PRP (carbone noir)	900
--------------------	-----

Intrants de l'équation 43

Intrants de l'équation 43	Donnée	Remarque
Facteur de charge de l'équipement	1	on suppose que l'équipement fonctionne à pleine capacité (capacité nominale)
Facteur d'émission de PM10		valeurs tirées du tableau 30 du guide de quantification des émissions de GES du MELCC
PM2.5/PM10	0,97	
FS_{CN}	0,771241	

Émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles hors routes

Équation 43. Émissions annuelles de carbone noir attribuable aux sources mobiles hors route (niveau 1)

$$E_{CN} = \sum_i \left(t_i \times P \times FC \times FE_{i,PM10} \times \frac{PM_{2,5}}{PM_{10}} \times FS_{CN} \right) \times 0,001$$

Où :

E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux sources mobiles hors route;
 i = Type de source mobile hors-route;
 t_i = Temps d'utilisation par année de la source mobile hors-route i , exprimé en heures par année;
 P = Puissance de la source mobile, en kW;
 FC = facteur de charge de l'équipement⁷⁰;
 $FE_{i,PM10}$ = Facteur d'émission de particules de diamètre inférieur à 10 microns pour le type de source mobile i , en grammes par kW, par heure⁷¹;
 $PM_{2,5}/PM_{10}$ = fraction de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns par rapport au total des particules = 0,97⁷²

⁷⁰ Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-compression-ignition, USEPA 2008, Appendix A, tableau A4 et appendix C, tableau C2.

⁷¹ Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-compression-ignition, USEPA 2008, Appendix A, tableaux A1 à A4 et appendix C, tableau C2.

⁷² Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-compression-ignition, USEPA 2008, Page 25.

FS_{CN} = Facteur de spéciation à appliquer pour convertir les $PM_{2,5}$ en carbone noir pour le carburant diesel = 0,771241;⁷³
 0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Calcul de niveau 1 des émissions de carbone noir attribuables aux navires

Équation 45. Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux navires (niveau 1)

$$E_{CN} = \sum_i (Q_i \times FE_{i,PM2,5} \times FS_{i,CN/PM2,5}) \times 0,001$$

Où :

E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux navires, en kilogrammes par an;
 i = Type de carburant (c.-à-d. diesel ou mélange de carburants résiduels);
 Q_i = Quantité de carburant marin du type « i » consommée annuellement, en litres;
 $FE_{i,PM2,5}$ = Facteur d'émission de $PM_{2,5}$ associé au type de carburant « i », en $g_{PM2,5}/l$;
 $FS_{i,CN/PM2,5}$ = Facteur de spéciation à appliquer pour convertir les $PM_{2,5}$ en carbone noir pour le type de carburant « i »;
 0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Combustible	Polluant	Facteur d'émission	Unités
Diesel	Fei,PM2.5	1,998	g/l

Intrants de l'équation 45	Donnée utilisée	Remarque
FS_{CN}	0,77	valeurs tirées du tableau 31 du guide de quantification des émissions de GES du MELCC

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : Équipements et puissance

GRUE											
Modèle			Flèche (pi)	Puissance moteur (HP)	Puissance (kW)	Puissance (kW)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Moyenne Consommation (L/H)	Référence	Facteur d'émission PM10 (FE _{PM10}) en (g/kWh)
CAMION À FLÈCHE	Terex RS70100	35 tonnes	100	330	246	324	18,33	69	91	https://www.gruesguay.com/equipements/location/#%7B%22category%22%3A%22cranes%22%2C%22craneType%22%3A%22%22%2C%22craneTonnage%22%3A%22%22%2C%22accessoryType%22%3A%22%22%2C%22accessorySubCategory%22%3A%22%22%7D	0,54
	National 18142	40 tonnes	142	425	317		23,61	89			0,54
	Manitex 45110S	45 tonnes	110	550	410		30,56	116			0,54
CONVENTIONNELLE SUR CHENILLES	Link-Belt LS518	150 tonnes	300	245	183	312	13,61	52	88		0,54
	American 9299	165 tonnes	290	335	250		18,61	70			0,54
	Manitowoc 14000	220 tonnes	292	340	254		18,89	71			0,54
	Manitowoc 999	275 tonnes	290	400	298		22,22	84			0,54
	Manitowoc 2250	300 tonnes	330	500	373		27,78	105			0,54
	Manitowoc MLC300	330 tonnes	393	500	373		27,78	105			0,54
	Manitowoc 16000 Série III	440 tonnes	393	500	373		27,78	105			0,54
	Terex-Demag CC2800-1	700 tonnes	452	530	395		29,44	111			0,54
TOUT-TERRAIN	Grove GMK5165-2	165 tonnes	197	503	375	348	27,94	106	98		0,54
	Demag AC435 (97K CTP)	180 tonnes	164	447	333		24,83	94		0,54	
	Grove GMK6250-L	250 tonnes	236	177	132		9,83	37		0,54	
	Grove GMK6400	450 tonnes	197	551	411		30,61	116		0,54	
	Demag TEREX AC500-2	600 tonnes	27 à 292	653	487		36,28	137		0,54	

Nacelle									
Modèle			Puissance moteur (HP)	Puissance (kW)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Moyenne Consommation (L/H)	Référence	Facteur d'émission PM10 (FE _{PM10}) en (g/kWh)
GENIE ZX-135/70 (135 pi)			75	56	4,17	16	16	file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Genie_Z135-70_Spec_Tech.pdf	0,8
1250AJP (125pi)			75	56	4,17	16		file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Ultra-Boom-Lifts-Brochure.pdf	0,8
GENIE SX-180 (180 pi)			75	56	4,17	16		file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Genie-SX-180-Specifications-2.pdf	0,8

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la construction : Équipements et puissance

Autres Équipements								
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)	Puissance (kW)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Remarque	Référence	Facteur d'émission PM10 (FE _{PM10}) en (g/kWh)
Rouleau compacteur	CAT CB16	142	106	7,89	30		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipme/nt/compactors.html?page=3	0,3
Bouteur chenillé	Jonh Deere 850L	350	261	19,44	74		https://www.deere.ca/fr/bouteurs/	0,54
Grosse Pelle hydraulique	CAT 352	423	315	23,50	89		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipme/nt/excavators/large-excavators.html	0,54
Petite Pelle hydraulique	CAT313	80,9	60	4,49	17		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipme/nt/excavators/small-excavators/102645.html	0,4
Niveleuse	CAT 160 / 160 AWD	221	165	12,28	46		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipme/nt/motor-graders.html	0,54
Paveuse	CAT AP1000F	225	168	12,50	47	Plage de pose stantard 3,0 à 6,0 m	https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipme/nt/asphalt-pavers.html	0,54
Véhicules légers (essence)	Camionnette 4 portes	310	231		10		https://oee.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/ev-c08/pdf/evc08.pdf https://www.auto123.com/fr/essais-rouliers/essai-	0,54
Camions moyens (diesel)		370	276		26	camion à benne, camion bétonnier, camion colasse, Fardier et pompe à béton		0,54
Barge 18' x 8' x 4'		200	149	11,11	42		https://www.groupeocean.com/services/location-barge-travail-et-equipements-maritimes/	0,54
Barge 80' x 50' (4 nacelles 125 à 180 pi)		666	497	37,00	140			0,54
Barge 250' x 72' x 16'		3000	2237	166,67	631			0,54
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)		Consommation (GPH)	Consommation (L/100km)	Remarque	Référence	
Camions lourds (diesel)		455	339		35	Capacité benne : 16 tonnes	http://www.vrpaquette.com/page-4-exemple/	0,54
Camion Épandeur à liant		405	302		35	Capacité du réservoir 5 000 litres de liant	https://www.michaudville.com/equipements/camion-a-collasse-maudin-2012/ https://www.autotrader.ca/heavy-trucks/mber-	0,54
Camion à eau		350	261		35	Capacité du réservoir 2 000 litres d'eau	https://www.michaudville.com/equipements/camion-a-collasse-maudin-2012/	0,54
Bétonnière (4 roues motrices sur 6)		450	336		35	Capacité : 6m³	http://www.toupie-beton.net/article/capacite-10 https://www.bauction.gc.ca/camions-b%C3%A9tonn%C3%A8re?keywords=&category	0,54
Bétonnière (4 roues motrices sur 8)		450	336		35	Capacité : 8m³		0,54
Bétonnière (Semi-remorque, avec 2 essieux)		450	336		35	Capacité : 10m³		0,54
Pompe à béton		450	336		35			0,54
Fardier (considéré comme un camion lourd)		455	339		35	Capacité charge 29500 kg (30t)	https://ethiemilt.com/equipements/	0,54

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la déconstruction pont existant

Activités	Quantité	Matériaux	Sous-Activités	Type d'émission	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type d'équipement		Nombre d'unités/voyages pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type d'équipement		Distance parcourue aller (km)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de déconstruction	Consommation totale (Litres)	Échancier Sommaire			Remarques/Hypothèses	Émissions de GES				Émissions de carbone noir				
						Ctes	unité		(Litres/100 km)	(Litres/heure)				Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq. tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers (t/an)	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route (t/an)			
1- Mobilisation																										
Construction de jetée provisoire nord (piles 1 à 10)	92 206	t	Remblai	Livraison de remblais	Équipements lourds	Camion	20	t	4610	35	10		32 457			46	1104		87,0159	0,0036	0,0049	88,5656	11,4214			
Construction de jetée provisoire sud (piles 21 à 39)	191 204	t	Remblai	Livraison de remblais	Équipements lourds	Camion	20	t	9560	35	12		80765			96	2304		216,5298	0,0089	0,0122	220,3862	28,4211			
Dragage d'un chenal provisoire dans le fleuve (piles 10 à 17 et pile 21)	39 840	t	Remblai	Dragage	Équipements lourds	Drague mécanique (pelle rotative continue)	1000	t/j	1	89			85 048			50	1200		228,0138	0,0094	0,0128	232,0747		137,6207		
			Remblai	Transport de matériel de dragage vers chantier3 (stockage provisoire)	Équipements lourds	barge	3500	t	11	631	9			8 619					LES BARGES DU SAINT-LAURENT - gilles jobidon	23,1078	0,0009	0,0013	23,5194		11,9341	
2- Déconstruction du pont suspendu																										
2-1 Tablier (de 17 à 20)																										
Retrait des services de garde corps et des panneaux de supports de trottoirs et de chaussées du tablier	1 471	t		Retrait des services publics et garde-corps	Équipements lourds								65 909			20	480		176,7033	0,0073	0,0100	179,8503		84,9800		
				Retrait des panneaux de trottoirs	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1,0		137			148 296			45	1 080	Hypothèse: la grue fonctionne 24h/j	397,5824	0,0163	0,0224	404,6632		191,2050	
				Retrait des panneaux de chaussée	Équipements lourds										148 296			45	1 080		397,5824	0,0163	0,0224	404,6632		191,2050
				Transport du chantier (1 et2) vers site de recyclage (5 et 6)	Équipements lourds	Camion	20	t	74	35			38,5		1 993					Pour la distance parcourue, la moyenne a été retenue	5,3435	0,0002	0,0003	5,4386	0,7014	
Découpe du tablier	960	t		Travaux de découpes	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1,0	137			435 002			132	3 168	Hypothèse: la grue fonctionne 24h/j	1166,2416	0,0479	0,0657	1187,0121		560,8679		
				Transport du chantier 4 vers le site de recyclage 6	Équipements lourds	Camion	20	t	48	35		22		743						1,9925	0,0001	0,0001	2,0280	0,2615		
2-2 Système de suspension																										
Déconstruction des deux câbles principaux (piles 11 à 16, 17 à 20 et 21 à 29)	376	t	acier	Retrait des deux câbles et découpe	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1,00		137		296593			90	2160	Hypothèse: la grue fonctionne 24h/j	795,1648	0,0326	0,0448	809,3265		382,4100		
				Transport du chantier 4 vers le site de recyclage 6	Équipements lourds	Camion	20	t	19	35		22		291							0,7806	0,0000	0,0000	0,7945	0,1025	
2-3 Pylônes 18 et 19																										
Travaux préliminaires			acier	Échafaudages et câbles provisoires	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t			137		197728			60	1440	Hypothèse: la grue fonctionne 24h/j	530,1098	0,0218	0,0299	539,5510		254,9400		
Déconstruction de la structure métallique des pylônes	591	t	acier	Découpe des pylônes en 4 tronçons	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1,00		137		131819			40	960	Hypothèse: la grue fonctionne 24h/j	353,4066	0,0145	0,0199	359,7007		169,9600		
				Transport du chantier 4 vers le site de recyclage 6	Équipements lourds	Camion	20	t	29,55	35		22		458							1,2270	0,0001	0,0001	1,2489	0,1611	
Découpe de l'élément de fondation des pylônes	6687,6	t	béton	Découpe de la fondation en blocs	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1		137		421821			128	3072	Hypothèse: la grue fonctionne 24h/j	1130,9010	0,0464	0,0637	1151,0421		543,8719		
				Transport du chantier 4 vers le site de recyclage 5	Équipements lourds	Camion	20	t	334	35		23		5414						on suppose que le total de béton et granite du tableau 5 représente le poids des 4 fondations (2 pour les pylônes et 2 pour pile 17 et pile 20)	14,5157	0,0006	0,0008	14,7742	1,9053	
2-4 Piles de rive 17 et 20																										
Déconstruction des piles 17 et 20	6687,6	t	béton et granite	Découpe des deux piles en blocs	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1		137		435002			132	3168	on suppose que le total de béton et granite du tableau 5 représente le poids des 4 fondations (2 pour les pylônes et 2 pour pile 17 et pile 20)	1166,2416	0,0479	0,0657	1187,0121		560,8679		
				Transport du chantier 4 vers le site de recyclage 5	Équipements lourds	Camion	20	t	334	35		23		5414							14,5157	0,0006	0,0008	14,7742	1,9053	
				Travaux d'excavation	Équipements lourds	Drague mécanique (pelle rotative continue)	1000	t/j	0,522	89					1114			0,522	12,528		2,9875	0,0001	0,0002	3,0407		1,4368
Excavation dans le fleuve	488	t	Remblai	Transport de remblai vers le site 8	Équipements lourds	Camion	20	t	26,1	35		28	514						1,3793	0,0001	0,0001	1,4039	0,1810			
				Matériaux d'apport de remblai du site 8 vers port	Équipements lourds	Camion	20	t	24,4	35		28		481						Site 7 (remblai non contaminé et 8 remblai potentiellement contaminé). Hypothèse: remblai potentiellement contaminé lors site 8	1,2895	0,0001	0,0001	1,3125	0,1693	
2-5 Massifs d'ancrage 16 et 21																										
Démolition du massif d'ancrage 16	6960	t	béton	Démolition de la partie centrale	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1		137		49432			360			132,5275	0,0054	0,0075	134,8877		63,7350		
				Découpe de l'enceinte externe en 16 tronçons	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1		137			49432				360			132,5275	0,0054	0,0075	134,8877		63,7350
				Transport du chantier 4 vers le site de recyclage 5	Équipements lourds	Camion	20	t	348	35		23		5635				360			15,1069	0,0006	0,0009	15,3760	1,9829	
	403	t	Remblai	Excavation dans le fleuve	Équipements lourds	Excavatrice (pelle hydraulique)				89			32021			360				85,8486	0,0035	0,0048	87,3775		41,2862	
				Transport de remblai vers le site 8	Équipements lourds	Camion	20	t	20	35		28		397			360				1,0649	0,0000	0,0001	1,0838	0,1398	
				Matériaux d'apport de remblai du site 8 vers port	Équipements lourds	Camion	20	t	23	35		28		456			360				1,2234	0,0001	0,0001	1,2452	0,1606	
Démolition du massif d'ancrage 21	6960	t	béton	Démolition de la partie centrale	Équipements lourds	Grue sur jetée provisoire sud					137		58220			424			156,0879	0,0064	0,0088	158,8678		75,0657		
				Découpe de l'enceinte externe en 24 tronçons	Équipements lourds	Grue sur jetée provisoire sud							137		58220			424			156,0879	0,0064	0,0088	158,8678		75,0657
				Transport du chantier 2 vers le site de recyclage 5	Équipements lourds	Camion	20	t	348	35		38		9310			424				24,9593	0,0010	0,0014	25,4038	3,2781	
	403	t	Remblai	Excavation dans le fleuve	Équipements lourds	Excavatrice (pelle hydraulique)				89			37714			424				101,1105	0,0041	0,0057	102,9113		48,6260	
				transport de remblai vers le site 8	Équipements lourds	Camion	20	t	20,15	35		28		397			424				1,0649	0,0000	0,0001	1,0838	0,1398	
				Matériaux d'apport de remblai du site 8 vers port	Équipements lourds	Camion	166	t	3	35		40		79			424			Hypothèse: Remorque modulaire G-modul 4 lignes d'essieux	0,2106	0,0000	0,0000	0,2143	0,0276	

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la déconstruction pont existant

Activités	Quantité	Matériaux	Sous-Activités	Type d'émission	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type d'équipement		Nombre d'unités/voyages pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type d'équipement		Distance parcourue aller (km)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de déconstruction	Consommation totale (Litre)	Échéancier Sommaire			Remarques/Hypothèses	Émissions de GES				Émissions de carbone noir			
						Qtes	unité		(Litre/100 km)	(Litre/hre)				Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq. tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers (van)	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route (van)		
3- Déconstruction des approches en treillis																									
3-1 Tablier																									
Déconstruction de la dalle en béton Nord et sud	1936,8	t	Béton	Découpe de la dalle en béton	Équipements lourds	Matériel de coupe							0	224		Matériel électrique	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000					
				Transports des panneaux et entretoises vers chantier 2	Équipements lourds	Camion	20	t	97	35	6	409	224		1,0967	0,0000	0,0001	1,1162	0,1439						
				Transports du chantier 1 et 2 vers sites 5 et 6	Équipements lourds	Camion	20	t	97	35	40	2727			7,3111	0,0003	0,0004	7,4413	0,9596						
Retrait de la structure métallique nord (piles 10 à 17 et sud piles 20 et 21)	570	t	acier	Retrait des travées d'approche en treillis nord et la travée 72 m sud	Équipements lourds	Grue sur barge	650	t	1	137			251115	127	1828,8	Hypothèse : 60 % du temps pour le retrait	673,2395	0,0276	0,0379	685,2297		323,7738			
				Transport des travées par barge vers chantier 4	Équipements lourds	barge	3500	t	1	631		769315			1219,2	Hypothèse : 40 % du temps pour le transport	2062,5341	0,0846	0,1162	2099,2673		1065,2046			
Retrait de la structure métallique sud (piles 21 à 29)	794,5	t	acier	Retrait des travées de l'approche sud	Équipements lourds	Grue sur jette provisoire	650	t	1	137			90955	69	662,4		243,8505	0,0100	0,0137	248,1934		117,2724			
				Transport des travées vers chantier 2	Équipements lourds	Remorque modulaire	60	t	13	15,81	1	7854			496,8	Fiche_Circulation_chantier_web.pdf	21,0577	0,0009	0,0012	21,4327		2,7640			
				Transport du chantier 2 au site 6	Équipements lourds	Camion	20	t	40	35	40	1119			496,8	69 jours pour réaliser 3 activités	2,9991	0,0001	0,0002	3,0525		0,3937			
3-2 Piles 11 à 16																									
Découpe des piles (approche nord)	1200	t	remblai	Excavation dans le fleuve	Équipements lourds	Excavatrice (pelle hydraulique)				89			37 714		424					101,1105	0,0041	0,0057	102,9113		48,6260
				Découpe des piles en blocs	Équipements lourds	Grue sur barge				137		349 320	106	2 544							936,5274	0,0384	0,0527	953,2067	
	7 031	t	béton	Transport vers le chantier 4	Équipements lourds	Barge	3500	t	2	631	12		2028			LES BARGES DU SAINT-LAURENT - gilles jobidon	5,4371	0,0002	0,0003	5,5339		2,8080			
				Transport du chantier 4 au site 5	Équipements lourds	Camion	20	t	352	35	23	5692							15,2600	0,0006	0,0009	15,5317		2,0030	
3-3 Piles 21 à 29																									
Découpe des piles (approche sud)	1732	t	remblai	Excavation dans le fleuve	Équipements lourds	Excavatrice (pelle hydraulique)				89			37 714		424	Hypothèse: la durée d'excavation est estimée à 424 h				101,1105	0,0041	0,0057	102,9113		48,6260
				Découpe des piles en blocs	Équipements lourds	Grue sur jette provisoire				137		626 140	190	4 560							1678,6812	0,0689	0,0945	1708,5781	
	9 141	t	béton	Transport vers le chantier 2	Équipements lourds	Remorque modulaire autonome	60	t	152	15,81	1		482			Fiche_Circulation_chantier_web.pdf	1,2915	0,0001	0,0001	1,3145		0,1695			
				Transport du chantier 2 au site 5	Équipements lourds	Camion	20	t	457	35	38	12227							32,7806	0,0013	0,0018	33,3644		4,3027	
4- Déconstruction des approches en béton																									
4-1 Piles 1 à 10																									
Découpe des travées nord (1 à 10)	3 274	t	béton	Travaux de découpe en poutres	Équipements lourds	Grue sur jette provisoire				137			124 569		907					333,9692	0,0137	0,0188	339,9171		160,6122
				Transport vers le chantier 1	Équipements lourds	Remorque modulaire autonome	60	t	55	15,81	6	4 781			63	302	Fiche_Circulation_chantier_web.pdf	12,8177	0,0005	0,0007	13,0460		1,6824		
				Transport du chantier 1 au site 5	Équipements lourds	Camion	20	t	164	35	36	4149								11,1233	0,0005	0,0006	11,3214		1,4600
Déconstruction des piles nord (1 à 10)	4936,8	t	béton et granite	Travaux de découpe en poutres	Équipements lourds	Grue sur jette provisoire				137			300 547		2 189					805,7670	0,0331	0,0454	820,1175		387,5088
				Transport vers le chantier 1	Équipements lourds	Remorque modulaire autonome	60	t	82	15,81	6	11 535			152	730	Fiche_Circulation_chantier_web.pdf	30,9253	0,0013	0,0017	31,4760		4,0592		
				Transport du chantier 1 au site 5	Équipements lourds	Camion	20	t	247	35	36	6256							16,7721	0,0007	0,0009	17,0708		2,2015	
4-2 Piles 30 à 39																									
Découpe des travées sud (1 à 10)	3 274	t	béton	Travaux de découpe en poutres	Équipements lourds	Grue sur jette provisoire				137			124 569		907					333,9692	0,0137	0,0188	339,9171		160,6122
				Transport vers le chantier 2	Équipements lourds	Remorque modulaire autonome	60	t	55	15,81	1	4 781			63	302	Fiche_Circulation_chantier_web.pdf	12,8177	0,0005	0,0007	13,0460		1,6824		
				Transport du chantier 2 au site 5	Équipements lourds	Camion	20	t	164	35	38	4379								11,7413	0,0005	0,0007	11,9504		1,5411
Déconstruction des piles nord (1 à 10)	3611,4	t	béton et granite	Travaux de découpe en poutres	Équipements lourds	Grue sur jette provisoire				137			300 547		2 189					805,7670	0,0331	0,0454	820,1175		387,5088
				Transport vers le chantier 2	Équipements lourds	Remorque modulaire autonome	60	t	60	15,81	1	11 535			152	730	Fiche_Circulation_chantier_web.pdf	30,9253	0,0013	0,0017	31,4760		4,0592		
				Transport du chantier 2 au site 5	Équipements lourds	Camion	20	t	181	35	38	4831							12,9509	0,0005	0,0007	13,1815		1,6999	

Tableau de calcul – bilan GES et carbone noir pour la déconstruction pont existant

Activités	Quantité	Matériaux	Sous-Activités	Type d'émission	Type d'équipement utilisé	Capacité pour chaque type d'équipement		Nombre d'unités/voyages pour chaque type d'équipement	Consommation de carburant pour chaque type d'équipement		Distance parcourue aller (km)	Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de déconstruction	Consommation totale (Litre)	Échéancier Sommaire			Remarques/Hypothèses	Émissions de GES				Émissions de carbone noir			
						Qtes	unité		(Litre/100 km)	(Litre/hre)				Mois	Nombre de jours	Nombre d'heures		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ eq. tot	Carbone noir émis par les équipements mobiles routiers (t/an)	Carbone noir émis par les équipements mobiles hors route (t/an)		
5- Déconstruction des culées 1 et 39, jetées et remblais																									
Déconstruction des culées et jetées permanents	103916	t	remblai	Démolition des culées	Équipements lourds	Engins de démolition (forage par pelle, Engins de terrassement (ex. pelle mécanique))				89			106 737		50	1 200		286,1619	0,0117	0,0161	291,2584		137,6207		
				Démolition des jetées	Équipements lourds	Engins de terrassement (ex. pelle mécanique)				46					27 883		50	600		74,7539	0,0031	0,0042	76,0852		35,9506
				Retrait des remblais	Équipements lourds	Engins de terrassement (ex. pelle mécanique)				46					27 883			600		74,7539	0,0031	0,0042	76,0852		35,9506
				Transport de matériaux vers le site 8	Équipements lourds	Camion			t	5 196	35		28		102420					274,5870	0,0113	0,0155	279,4773	36,0415	
5- Déconstruction des ouvrages temporaires nord et sud																									
Jetées, structure de chaussée temporaires et remise en place de matériel de dragage	283410	t	remblai	Travaux de terrassement des jetées	Équipements lourds	Engins de terrassement (ex. pelle mécanique)				46			158 374		142	3 408		424,6020	0,0174	0,0239	432,1641		204,1992		
				retrait des structures temporaires sur barge	Équipements lourds	barge				631					151440		10	240	Hypothèse: 10 j pour la remise en état des aires de chantiers et 10j pour la remise en place des matériaux de dragage	406,0106	0,0167	0,0229	413,2416		209,6859
				Remise en place des matériaux de dragages	Équipements lourds	pelle mécanique				89					21 347		10	240		57,2324	0,0023	0,0032	58,2517		27,5241
				Transport de remblai de jetée vers site 7 (remblai non contaminé)	Équipements lourds	camion			t	14 171	35		9		89784					240,7117	0,0099	0,0136	244,9987	31,5951	
				Transport de remblai de dragage du chantier 3 vers le pont	Équipements lourds	barge			t	11		631	9		8619,53					23,1090	0,0009	0,0013	23,5205		11,9347
LES BARGES DU SAINT-LAURENT - gilles jbidon																									
Aménagement des aires de chantiers (contingence de 3%)																									
											Somme des GES et carbone noir (t _{éq} CO ₂)				18541		152		8324						
											GRAND TOTAL (t _{éq} CO ₂)						27018								

Calcul émissions GES et carbone noir - déconstruction - Localisation

Sites de recyclage de matériaux de déconstruction (Pont- Site)			
Numéro de site	Adresse	Spécialisation	Distance Site-Pont (km)
Site 5	AIM ÉcoCentre, 220 Rue de Rotterdam, Saint-Augustin-de-Desmaures, QC G3A 1T4	Béton, béton armé, enrobé, granite, bois, et matériaux divers	40
Site 6	AIM ÉcoCentre, 3459 Rue de Vulcain, Lévis, QC G6W 7X6	Acier de construction (y compris traitement de la contamination au plomb)	40
Site 7	Ancienne carrière de ciment de Saint-Laurent, Quartier 5-2, AC G1C 3K4	Accrédité comme centre régional de traitement de sols contaminés	9
Site 8	15989 Boulevard de la Colline, Québec, QC G3G 3A7		28

Distances fournisseurs- pont	
	Distance fournisseur-pont (km)
Fournisseurs de remblai (nord)	10
Fournisseurs de remblai (sud)	12

Distance depuis les aires de chantier			
Distance par la route (km)	Aire de chantier 1	Aire de chantier 2	Aire de chantier 4
Site 5	36	38	23
Site 6	39	41	22
Site 7	4,5	6,9	NA
Site 8	27	29	NA
Distance par le fleuve	Aire de chantier 3	Aire de chantier 4	
Pont	9	12	
	Aire de chantier 2		
	1		
	Aire de chantier 1		
6			

Calcul émissions GES et carbone noir - déconstruction - Équipements

GRUE						
Modèle		Flèche (pi)	Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Référence
Demag TEREX AC500-2	600 tonnes	27 à 292	653	36,28	137	Location - Grues Guay

Autres Équipements						
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Remarque	Référence
Grosse Pelle hydraulique	CAT 352	423	23,50	89		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/excavators/large-excavators.html
Niveleuse	CAT 160 / 160 AWD	221	12,28	46		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment/motor-graders.html
Barge 250' x 72' x 16'		3000	166,67	631	similaire à la barge utilisée pour la démolition	la barge indiqué dans le rapport d'ARUP (barge de 90m*30m)
Remorque modulaire autopropulsée	SPMT600-360 avec unité hydraulique	72,5		15,81	puissance moteur= 54kw	transporteur-modulaires-enerpac-spt.pdf https://www.lexissecuritiesmosaic.com/gateway/FedReg/nonrdmdl2010_420r10018.pdf
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)	Consommation (GPH)	Consommation (L/100km)	Remarque	Référence
Camions lourds (diesel)				35	Capacité benne : 16 tonnes	http://www.yrpaquette.com/page-d-exemple/

Guide à l'intention de l'initiateur de projet (préliminaire) MELCC, janvier 2021, Annexe 2, tableau 2.1.

(les numéros indiqués dans la colonne "A" réfère aux sections du guide de quantification du MELCC pour connaître la méthode de calcul)

PHASE DE CONSTRUCTION

Émissions de combustion de sources fixes

- 3.1** Équipement divers (génératrices, unité de préparation de béton)
- Types d'équipement utilisés
 - Nombre d'unités pour chaque type d'équipement
 - Consommation de carburant pour chaque type d'équipement (Litre/heure)
 - Durée d'utilisation de chaque type d'équipement pendant la phase de construction

Émissions de combustion de sources mobiles

- 3.2** Transport de matériaux de construction et,
- 3.2** Transport de déblais ou remblais
- Types de véhicules utilisés
 - Nombre d'unités pour chaque type de véhicule
 - Consommation de carburant (Litre/100 km) pour chaque type de véhicule
 - Distance parcourue par jour pour chaque type de véhicule (du fournisseur de matériel au chantier ou du chantier au site de réception de remblais ou sols)
 - Nombre de jour en utilisation pour la durée de la phase de construction
- Données alternatives: volume total de matériaux/déblais/remblais gérés pendant la construction et volume que peut transporter chaque type de véhicule
- utilisé. Ces données permettraient de calculer un nombre de voyages total pour chaque type de véhicule de transport.
- 3.2** Équipements lourds (machinerie, véhicules lourds sur le site, barges)
- Types d'équipement lourd utilisés
 - Nombre d'unités pour chaque type d'équipement lourd
 - Consommation de carburant (Litre/100 km ou Litre/heure) pour chaque type d'équipement lourd
 - Distance parcourue, ou durée d'utilisation, par jour pour chaque type d'équipement lourd
 - Nombre de jour en utilisation pour la durée de la phase de construction

Autres émissions

- 3.9** Déboisement
- Superficie de déboisement requis pour le projet (ex.: pour la construction de rampes d'accès)
- 3.3** Utilisation d'énergie électrique (si une alimentation directe du réseau est aménagée)
- Énergie consommée en kWh

Facteur d'émission pour les équipements mobiles

Équation 2 du guide de quantification des émissions de GES

Constantes nécessaires pour le calcul des émissions en vertu du RDOCECA

Sources ¹	Unités	Facteur d'émission
Facteur d'émission de CO ₂	kg CO ₂ / l	2,681
Facteur d'émission de CH ₄	g CH ₄ -/ l	0,11
Facteur d'émission de N ₂ O	g N ₂ O -/ l	0,151
Potentiel de Réchauffement Planétaire CH ₄		25
Potentiel de Réchauffement Planétaire N ₂ O		298

¹ <https://www.environnement.gouv.qc.ca/changements/ges/guide-quantification/guide-quantification-ges.pdf>

Tableau 3. Potentiel de réchauffement planétaire des différents GES (4e rapport du GIEC)

Type de GES	Quantité (tonnes métriques)	Potentiel de réchauffement planétaire (sans unités)	Équivalent dioxyde de carbone (t éq. CO ₂)
Dioxyde de carbone (CO ₂)	1	1	1
Méthane (CH ₄)	1	25	25
Oxyde nitreux (N ₂ O)	1	298	298
Hexafluorure de soufre (SF ₆)	1	22 800	22 800
Trifluorure d'Azote (NF ₃)	1	17 200	17 200
Hydrofluorocarbures (HFC)	1	Peut varier de 12 à presque 15 000	Variable, selon les molécules considérées ¹¹
Perfluorocarbures (PFC)	1	Peut varier de 7 000 à près de 18 000	Variable, selon les molécules considérées

Tableau 4. Facteurs d'émission associés aux équipements mobiles de combustion, en équivalent CO₂

Équipements mobiles ou combustible	g CO ₂ /litre	g CH ₄ /litre	g N ₂ O/litre	g éq. CO ₂ /litre	Référence
Essence pour automobile	2307	0,14	0,022	2317	*
Carburants diesel	2681	0,11	0,151	2729	*
Propane	1515	0,64	0,028	1539	*
Véhicules hors route à essence	2307	10,61	0,013	2576	*
Véhicules hors route au diesel	2681	0,073	0,022	2689	*
Véhicules au gaz naturel	1,9	0,009	0,00006	2,143	*, ***
Essence d'aviation	2365	2,2	0,23	2489	*
Carburéacteur	2560	0,029	0,071	2582	*
Trains alimentés au diesel	2681	0,15	1	2983	*
Bateaux à essence	2307	0,22	0,063	2331	*
Navires à moteur diesel	2681	0,25	0,072	2709	*
Navires au mazout léger	2753	0,26	0,073	2781	*
Navires au mazout lourd	3156	0,29	0,082	3188	*

Calcul émissions GES et carbone noir - construction - FE -carbone noir

Émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières

Équation 42. Émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières (niveau 1)

$$E_{CN} = \sum_i (Q_i \times FE_{i,CE} \times 0,001)$$

Où :

E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux sources mobiles routières, en kilogrammes par an;
 i = Type de carburant;
 Q_i = Quantité de carburant du type « i » consommée annuellement;
 $FE_{i,CE}$ = Facteur d'émission associé au CE pour le type de carburant « i », en grammes par litre de carburant;
 0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Facteur d'émission du carbone élémentaire (CE)

Combustible	Polluant	Facteur d'émission	Unités
Diesel	CE	0,391	g/l
Essence	CE	0,132	g/l

Potentiel de réchauffement planétaire du carbone noir par rapport au CO2 (PRP)

PRP (carbone noir)	900
--------------------	-----

Intrants de l'équation 43

Intrants de l'équation 43	Donnée	Remarque
Facteur de charge de l'équipement	1	on suppose que l'équipement fonctionne à pleine capacité (capacité nominale)
Facteur d'émission de PM10		valeurs tirées du tableau 30 du guide de quantification des émissions de GES du MELCC
PM2.5/PM10	0,97	
FS_{CN}	0,771241	

Émissions de carbone noir attribuables aux sources mobiles hors routes

Équation 43. Émissions annuelles de carbone noir attribuable aux sources mobiles hors route (niveau 1)

$$E_{CN} = \sum_i \left(t_i \times P \times FC \times FE_{i,PM10} \times \frac{PM_{2,5}}{PM_{10}} \times FS_{CN} \right) \times 0,001$$

Où :

E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux sources mobiles hors route;
 i = Type de source mobile hors-route;
 t_i = Temps d'utilisation par année de la source mobile hors-route i , exprimé en heures par année;
 P = Puissance de la source mobile, en kW;
 FC = facteur de charge de l'équipement⁷⁰;
 $FE_{i,PM10}$ = Facteur d'émission de particules de diamètre inférieur à 10 microns pour le type de source mobile i , en grammes par kW, par heure⁷¹;
 $PM_{2,5}/PM_{10}$ = fraction de particules de diamètre inférieur à 2,5 microns par rapport au total des particules = 0,97⁷²

⁷⁰ Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-compression-ignition, USEPA 2008, Appendix A, tableau A4 et appendix C, tableau C2.

⁷¹ Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-compression-ignition, USEPA 2008, Appendix A, tableaux A1 à A4 et appendix C, tableau C2.

⁷² Exhaust and Crankcase Emission Factors for Nonroad Engine Modeling-compression-ignition, USEPA 2008, Page 25.

FS_{CN} = Facteur de spéciation à appliquer pour convertir les $PM_{2,5}$ en carbone noir pour le carburant diesel = 0,771241;⁷³
 0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Calcul de niveau 1 des émissions de carbone noir attribuables aux navires

Équation 45. Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux navires (niveau 1)

$$E_{CN} = \sum_i (Q_i \times FE_{i,PM2,5} \times FS_{i,CN/PM2,5}) \times 0,001$$

Où :

E_{CN} = Émissions annuelles de carbone noir attribuables aux navires, en kilogrammes par an;
 i = Type de carburant (c.-à-d. diesel ou mélange de carburants résiduels);
 Q_i = Quantité de carburant marin du type « i » consommée annuellement, en litres;
 $FE_{i,PM2,5}$ = Facteur d'émission de $PM_{2,5}$ associé au type de carburant « i », en $g_{PM2,5}/l$;
 $FS_{i,CN/PM2,5}$ = Facteur de spéciation à appliquer pour convertir les $PM_{2,5}$ en carbone noir pour le type de carburant « i »;
 0,001 = Facteur de conversion de grammes à kilogrammes.

Combustible	Polluant	Facteur d'émission	Unités
Diesel	Fei,PM2.5	1,998	g/l

Intrants de l'équation 45	Donnée utilisée	Remarque
FS_{CN}	0,77	valeurs tirées du tableau 31 du guide de quantification des émissions de GES du MELCC

Calcul émissions GES et carbone noir - construction - Équipements et puissance

GRUE

Modèle			Flèche (pi)	Puissance moteur (HP)	Puissance (kW)	Puissance (kW)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Moyenne Consommation (L/H)	Référence	Facteur d'émission PM10 (FE _{PM10}) en (g/kWh)
CAMION À FLÈCHE	Terex RS70100	35 tonnes	100	330	246	324	18,33	69	91	https://www.gruesguay.com/equipements/location/#%7B%22category%22%3A%22cranes%22%2C%22craneType%22%3A%22%2C%22craneTonnage%22%3A%22%2C%22accessoryType%22%3A%22%2C%22accessorySubCategory%22%3A%22%22%7D	0,54
	National 18142	40 tonnes	142	425	317		23,61	89			0,54
	Manitex 45110S	45 tonnes	110	550	410		30,56	116			0,54
CONVENTIONNELLE SUR CHENILLES	Link-Belt LS518	150 tonnes	300	245	183	312	13,61	52	88		0,54
	American 9299	165 tonnes	290	335	250		18,61	70			0,54
	Manitowoc 14000	220 tonnes	292	340	254		18,89	71			0,54
	Manitowoc 999	275 tonnes	290	400	298		22,22	84			0,54
	Manitowoc 2250	300 tonnes	330	500	373		27,78	105			0,54
	Manitowoc MLC300	330 tonnes	393	500	373		27,78	105			0,54
	Manitowoc 16000 Série III	440 tonnes	393	500	373		27,78	105			0,54
TOUT-TERRAIN	Terex-Demag CC2800-1	700 tonnes	452	530	395	348	29,44	111	98		0,54
	Grove GMK5165-2	165 tonnes	197	503	375		27,94	106			0,54
	Demag AC435 (97K CTP)	180 tonnes	164	447	333		24,83	94		0,54	
	Grove GMK6250-L	250 tonnes	236	177	132		9,83	37		0,54	
	Grove GMK6400	450 tonnes	197	551	411		30,61	116		0,54	
Demag TEREX AC500-2	600 tonnes	27 à 292	653	487	36,28	137	0,54				

Nacelle

Modèle	Puissance moteur (HP)	Puissance (kW)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Moyenne Consommation (L/H)	Référence	Facteur d'émission PM10 (FE _{PM10}) en (g/kWh)
GENIE ZX-135/70 (135 pi)	75	56	4,17	16	16	file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Genie_Z135-70_Spec_Tech.pdf	0,8
1250AJP (125pi)	75	56	4,17	16		file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Ultra-Boom-Lifts-Brochure.pdf	0,8
GENIE SX-180 (180 pi)	75	56	4,17	16		file:///C:/Users/mafontaine/Downloads/Genie-SX-180-Specifications-2.pdf	0,8

Autres Équipements

Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)	Puissance (kW)	Consommation (GPH)	Consommation (L/H)	Remarque	Référence	Facteur d'émission PM10 (FE _{PM10}) en (g/kWh)
Rouleau compacteur	CAT CB16	142	106	7,89	30		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment	0,3
Bouteur chenillé	Jonh Deere 850L	350	261	19,44	74		https://www.deere.ca/fr/bouteurs/	0,54
Grosse Pelle hydraulique	CAT 352	423	315	23,50	89		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment	0,54
Petite Pelle hydraulique	CAT313	80,9	60	4,49	17		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment	0,4
Niveleuse	CAT 160 / 160 AWD	221	165	12,28	46		https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment	0,54
Paveuse	CAT AP1000F	225	168	12,50	47	Plage de pose standard 3,0 à 6,0 m	https://www.cat.com/fr_US/products/new/equipment	0,54
Véhicules légers (essence)	Camionnette 4 portes	310	231		10		https://oec.nrcan.gc.ca/publications/statistiques/evc0	0,54
Camions moyens (diesel)		370	276		26	camion à benne, camion bétonnier.		0,54
Barge 18' x 8' x 4'		200	149	11,11	42		https://www.grocpocean.com/services/location-	0,54
Barge 80' x 50' (4 nacelles 125 à 180 pi)		666	497	37,00	140			0,54
Barge 250' x 72' x 16'		3000	2237	166,67	631			0,54
Modèle	Modèle possible	Puissance moteur (HP)		Consommation (GPH)	Consommation (L/100km)	Remarque	Référence	
Camions lourds (diesel)		455	339		35	Capacité benne : 16 tonnes	http://www.yrpaquette.com/page-d-exemple/	0,54
Camion Épandeur à liant		405	302		35	Capacité du réservoir 5 000 litres de liant	https://www.michaudville.com/equipements/camions/	0,54
Camion à eau		350	261		35	Capacité du réservoir 2 000 litres d'eau	https://www.michaudville.com/equipements/camions/	0,54
Bétonnière (4 roues motrices sur 6)		450	336		35	Capacité : 6m³	http://www.toupi.e-beton.net/article/c	0,54
Bétonnière (4 roues motrices sur 8)		450	336		35	Capacité : 8m³		0,54
Bétonnière (Semi-remorque, avec 2 essieux)		450	336		35	Capacité : 10m³		0,54
Pompe à béton		450	336		35			0,54
Fardier (considéré comme un camion lourd)		455	339		35	Capacité charge 29500 kg (30t)	https://ethiermlt.com/equipements/	0,54

Poids = 26 tonnes

Poids = 32 tonnes

Poids = 38 tonnes

Annexe 9

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-01

Secteur :

Limite du projet PIO

Localisation :

Nouvel étang quadrant NE, Québec (46°52'56,90"N; 71° 8'50,79"O)

Propriétaire :

MTQ



Interventions

Environ 9 832 m² (Sera encore optimisé aux P&D)

Possible bonification avec l'intégration de l'étang du Moulin (à l'étude)

- Creusage dans le remblai initial de l'autoroute, d'un nouvel étang en plaine alluviale sous la PMSMM dans le quadrant NE (approche nord)
- Aménagements de mares et d'îlots entourés d'étiérs.
- Ponceau à l'émissaire avec possibilité d'un seuil aménagé, permettant le renouvellement régulier ($\geq 40\%$) de l'eau à marée haute et la conservation de l'eau à marée basse $> 20-30$ cm, en plus de la profondeur creusée du lit.
- À l'étude : seuil entre l'étang du Moulin et le nouvel étang pouvant être enlevé et permettant de bonifier les superficies accessibles pour les poissons

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Recherche de projets de compensation

Fonctions et espèces visées	<ul style="list-style-type: none">• Le chenal nord de l'île d'Orléans abrite une frayère de baret dûment identifiée. Plusieurs espèces fraient aussi dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency, dont principalement l'esturgeon jaune, le baret, des catostomidés et trois petites espèces de percidés. Le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'amont de l'estuaire Montmorency abritent un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel utilisé sporadiquement, mais on y observe une forte abondance de jeunes de l'année. Le chenal renferme des aires d'alevinage pour les larves et jeunes de l'année de l'aloise savoureuse, du bar rayé (2 espèces à statut), de plusieurs autres espèces d'intérêt sportif tels les dorés jaune et noir, la perchade, le baret, qui y est très abondant ainsi que d'autres espèces : fondule barré, cyprinidés, meuniers, chevaliers, petites espèces de percidés et épinoches. Il renferme également des habitats de croissance des juvéniles de l'esturgeon jaune, du bar rayé, et des autres espèces sus mentionnées. Des adultes de toutes ces espèces et de l'éperlan arc-en-ciel, du fondule barré, des meuniers, des esturgeons jaune et noir, de la barbut de rivière et de deux espèces de dorés sont aussi présents dans ce secteur.• L'étang dans l'emprise de l'autoroute permettra la création d'un milieu propice à l'alevinage de plusieurs de ces espèces. Cet étang offrira également un milieu de croissance et de fraie pour les cyprinidés, les fondules et les épinoches. Finalement les juvéniles de clupéidés, de catostomidés, de percidés, de centrarchidés et de moronidés pourront y retrouver un milieu de croissance et d'alimentation. À noter qu'une abondance de juvéniles de bars rayés, au moins aussi importante que dans l'étang de la Côte, est attendue dans le nouvel étang.
Contraintes de réalisation	<ul style="list-style-type: none">• Aucune contrainte spécifiquement pour le nouvel étang n'est anticipée. Cependant, une étude hydraulique sera requise pour la conception des composantes techniques de l'aménagement, notamment pour assurer le maintien des profondeurs visées dans chaque partie de l'étang jusqu'à l'entrée amont du nouveau ponceau sous l'autoroute (ex : dimensions et cote du seuil à mettre en place, le cas échéant).• <i>Dans l'éventualité où la bonification de cette avenue avec l'intégration de l'étang du Moulin qui appartient à la SEPAQ se concrétise, l'obtention d'une servitude pourrait être nécessaire</i>
Pertinence	<ul style="list-style-type: none">• Fonction d'alevinage (diverses espèces) et de croissance (petites espèces)• Enlèvement de structures anthropiques (gain net important)• Habitat semblable aux superficies touchées sous la PMSMM• Compensation pour empreinte permanente du projet• Mise en valeur des rives par des aménagements paysagers prévus contre les EVEC

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-02

Secteur : Limite du projet PIO	Localisation : Pont de l'île d'Orléans existant (46°52'51.34"N ; 71° 8'29.69"O)	Propriétaire : MTQ (4 270 035) et domaine hydrique de l'État
Interventions Gain : 2 776 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Arasement des piles en dessous du lit du fleuve (le concept à haut niveau suppose un arasement à 500 mm sous le lit du fleuve), sauf pour les piles 18 et 19 où l'on conserve la base jusqu'à une profondeur géodésique de -5,78 m CGVD28. La possibilité d'araser les deux pylônes jusqu'au lit est à l'étude. • Remise en état du littoral. • Possible optimisation de l'habitat à l'aval de la pile 16 (voir PIO-06). 	
Fonctions et espèces visées	<ul style="list-style-type: none"> • Le chenal nord de l'île d'Orléans abrite une frayère à barets dûment identifiée. Plusieurs espèces fraient aussi dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency, dont principalement l'esturgeon jaune, le baret, des catostomidés et trois petites espèces de percidés. Le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'amont de l'estuaire Montmorency abritent un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel utilisé sporadiquement, mais on y observe une forte abondance de jeunes de l'année. Le chenal renferme des aires d'alevinage pour les larves et jeunes de l'année de l'aloise savoureuse, du bar rayé (2 espèces à statut), de plusieurs autres espèces d'intérêt sportif tels les dorés jaune et noir, la perchaude, le baret, qui y est très abondant ainsi que d'autres espèces : fondule barré, cyprinidés, meuniers, chevaliers, petites espèces de percidés et épinoches. Il renferme également des habitats de croissance des juvéniles de l'esturgeon jaune, du bar rayé, et des autres espèces sus mentionnées. Des adultes de toutes ces espèces et de l'éperlan arc-en-ciel, du fondule barré, des meuniers, des esturgeons jaune et noir, de la barbue de rivière et de deux espèces de dorés sont aussi présents dans ce secteur. 	
Contraintes de réalisation	<ul style="list-style-type: none"> • Aucune contrainte. 	
Pertinence	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération d'habitats aquatiques perdus dans les années 1930. • Habitat essentiel du bar rayé • Fonctions de reproduction et d'alevinage (dans la frayère à barets et dans l'herbier HB) • Enlèvement de structures anthropiques • Habitat semblable aux superficies touchées sous la PMSMM • Proximité géographique avec le projet à compenser 	

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-03

Secteur :

Limite du projet PIO

Localisation : Pont de l'île d'Orléans existant (46°52'35.74"N ; 71° 7'11.57"O)

Propriétaire :

Domaine hydrique de l'État



Interventions

Gain : 7 000 m²

- Anciens remblais devant être enlevés (cela inclut la jetée permanente de l'approche derrière la culée)
- Remise en état du littoral avec du remblai/déblai à partir de matériaux meubles locaux

Fonctions et espèces visées

- Le chenal nord de l'île d'Orléans abrite une frayère à baretts dûment identifiée. Plusieurs espèces fraient aussi dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency, dont principalement l'esturgeon jaune, le baret, des catostomidés et trois petites espèces de percidés. Le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'amont de l'estuaire Montmorency abritent un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel utilisé sporadiquement, mais on y observe une forte abondance de jeunes de l'année. Le chenal renferme des aires d'alevinage pour les larves et jeunes de l'année de l'aloose savoureuse, du bar rayé (2 espèces à statut), de plusieurs autres espèces d'intérêt sportif tels les dorés jaune et noir, la perchaude, le baret, qui y est très abondant ainsi que d'autres espèces : fondule barré, cyprinidés, meuniers, chevaliers, petites espèces de percidés et épinoches. Il renferme également des habitats de croissance des juvéniles de l'esturgeon jaune, du bar rayé, et des autres espèces sus mentionnées. Des adultes de toutes ces espèces et de l'éperlan arc-en-ciel, du fondule barré, des meuniers, des esturgeons jaune et noir, de la barbue de rivière et de deux espèces de dorés sont aussi présents dans ce secteur.

Contraintes de réalisation

- Mise en place d'un belvédère, faisant partie du projet Constellation de la MRC, sur une partie du remblai existant sous la PMSMM, retirant ainsi environ 1 000 m² de la superficie totale potentiellement gagnée.

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

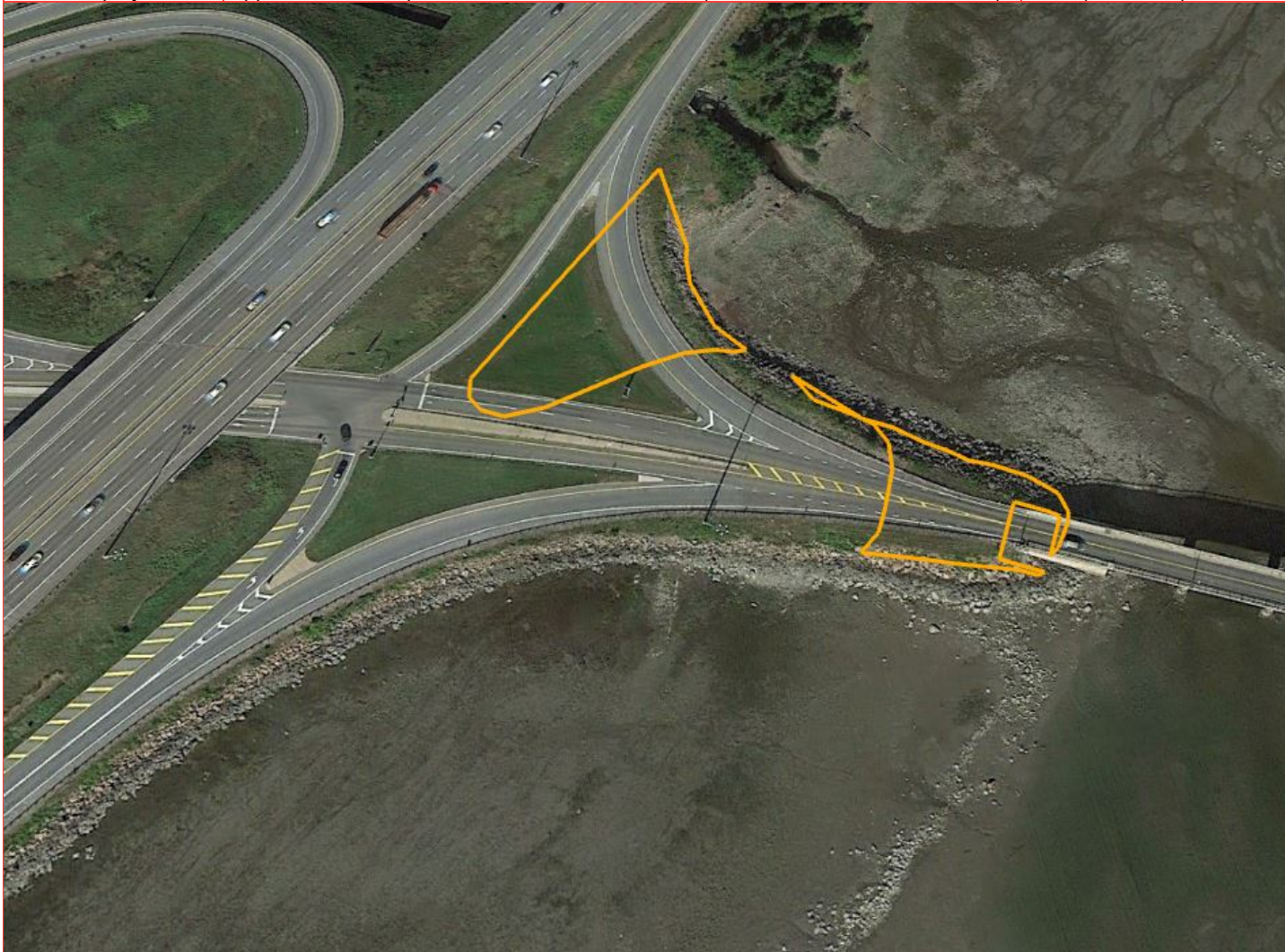
Recherche de projets de compensation

Pertinence	<ul style="list-style-type: none">• Récupération d'habitats aquatiques perdus dans les années 1930.• Habitat essentiel du bar rayé• Fonctions de reproduction et d'alevinage rétablies suite à la restauration locale de l'herbier HB• Enlèvement de structures anthropiques• Habitat semblable aux superficies touchées sous la PMSMM• Proximité géographique avec le projet à compenser
-------------------	--

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-04

Secteur : Limite du projet PIO	Localisation : Approche nord du pont de l'île d'Orléans existant (46°52'53.32"N ; 71° 8'41.60"O)	Propriétaire : MTQ (4 270 035)
--	--	--



Interventions Gain : 3 000 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Anciens remblais d'accès au pont devant être enlevés. • Remise en état du littoral avec du remblai/déblai à partir de matériaux meubles locaux.
Fonctions et espèces visées	<ul style="list-style-type: none"> • Le chenal nord de l'île d'Orléans abrite une frayère à baretts dûment identifiée. Plusieurs espèces fraient aussi dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency, dont principalement l'esturgeon jaune, le baret, des catostomidés et trois petites espèces de percidés. Le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'amont de l'estuaire Montmorency abritent un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel utilisé sporadiquement, mais on y observe une forte abondance de jeunes de l'année. Le chenal renferme des aires d'alevinage pour les larves et jeunes de l'année de l'aloise savoureuse, du bar rayé (2 espèces à statut), de plusieurs autres espèces d'intérêt sportif tels les dorés jaune et noir, la perchaude, le baret, qui y est très abondant ainsi que d'autres espèces : fondule barré, cyprinidés, meuniers, chevaliers, petites espèces de percidés et épinoches. Il renferme également des habitats de croissance des juvéniles de l'esturgeon jaune, du bar rayé, et des autres espèces sus mentionnées. Des adultes de toutes ces espèces et de l'éperlan arc-en-ciel, du fondule barré, des meuniers, des esturgeons jaune et noir, de la barbutte de rivière et de deux espèces de dorés sont aussi présents dans ce secteur.

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent

Recherche de projets de compensation

Contraintes de réalisation	<ul style="list-style-type: none">• Mise en place d'un belvédère sur une partie du remblai existant sous la PMSMM, retirant ainsi environ 1 000 m² de la superficie totale potentiellement gagnée.
Pertinence	<ul style="list-style-type: none">• Récupération d'habitats aquatiques perdus dans les années 1930• Habitat essentiel du bar rayé• Fonctions de reproduction et d'alevinage rétablies suite à la restauration locale de l'herbier HA• Enlèvement de structures anthropiques• Habitat semblable aux superficies touchées sous la PMSMM• Proximité géographique avec le projet à compenser

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-05-Nord

Secteur : Limite du projet PIO	Localisation : Anciens quais et jetées au nord de l'approche nord du pont de l'île d'Orléans existant (46°52'55.9"N ; 71° 8'39.39"O)	Propriétaire : Domaine hydrique de l'État
--	--	---



Interventions Gains : 05C : 3 500 m ² 05D : 1 675 m ² 05E : 1 375 m ² 05F : 2 550 m ² Total > 9 100 m ²	<ul style="list-style-type: none"> • Anciens quais et jetées devant être enlevés. • Remise en état du littoral avec du remblai/déblai à partir de matériaux meubles locaux.
Fonctions et espèces visées	<ul style="list-style-type: none"> • Le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'estuaire Montmorency abritent un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel utilisé sporadiquement, mais on y observe une forte abondance de jeunes de l'année. Plusieurs autres espèces fraient dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency, dont principalement l'esturgeon jaune, le baret, des catostomidés et trois petites espèces de percidés. Ce site est tout juste à l'embouchure de l'émissaire de l'étang du Moulin, potentiellement aussi utilisé par plusieurs juvéniles et petites espèces de poissons. Le chenal renferme des aires d'alevinage pour les larves et jeunes de l'année de l'aloise savoureuse, du bar rayé, et de plusieurs autres espèces d'intérêt sportif tels les dorés jaune et noir, la perchaude, le baret, qui y est très abondant ainsi que d'autres espèces. Il renferme également des habitats de croissance des juvéniles de l'esturgeon jaune, du bar rayé, et des autres espèces sus mentionnées. Des adultes de toutes ces espèces et de l'éperlan arc-en-ciel, du fondule barré, des meuniers, l'esturgeon jaune, la barbue de rivière et les deux espèces de dorés sont aussi présents dans ce secteur.
Contraintes de réalisation	<ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation préalable du milieu et de son habitat du poisson. • Demande autorisation potentielle à Transports Canada)
Pertinence	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération d'habitats aquatiques perdus dans les années 1930 • Habitat essentiel du bar rayé • Fonctions de reproduction et d'alevinage rétablies suite à la restauration locale de l'herbier HA • Enlèvement de structures anthropiques • Habitat semblable aux superficies touchées sous la PMSMM • Proximité géographique avec le projet à compenser

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-05-Sud

Secteur :
Limite du projet PIO

Localisation :
Anciens quais et jetées au sud de l'approche nord du pont de l'île d'Orléans existant (46°52'51.3"N; 71° 08'42.84"O)

Propriétaire :
Domaine hydrique de l'État



Interventions

Gains :

05A : 1 925 m²

05B : 775 m²

Total : > 2 700 m²

- Anciens quais et jetées devant être enlevées.
- Remise en état du littoral avec du remblai/déblai à partir de matériaux meubles locaux.

Fonctions et espèces visées

- Le secteur du pont de l'île d'Orléans et l'estuaire Montmorency abritent un site de fraie pour l'éperlan arc-en-ciel utilisé sporadiquement, mais on y observe une forte abondance de jeunes de l'année. Plusieurs autres espèces fraient dans la frayère multispécifique de la rivière Montmorency, dont principalement l'esturgeon jaune, le baret, des catostomidés et trois petites espèces de percidés. Ce site est tout juste à l'embouchure de l'émissaire de l'étang du Moulin, potentiellement aussi utilisé par plusieurs juvéniles et petites espèces de poissons. Le chenal renferme des aires d'alevinage pour les larves et jeunes de l'année de l'aloise savoureuse, du bar rayé, et de plusieurs autres espèces d'intérêt sportif tels les dorés jaune et noir, la perchaude, le baret, qui y est très abondant ainsi que d'autres espèces. Il renferme également des habitats de croissance des juvéniles de l'esturgeon jaune, du bar rayé, et des autres espèces sus mentionnées. Des adultes de toutes ces espèces et de l'éperlan arc-en-ciel, du fondule barré, des meuniers, l'esturgeon jaune, la barbue de rivière et les deux espèces de dorés sont aussi présents dans ce secteur.

Contraintes de réalisation

- Caractérisation préalable du milieu et de son habitat du poisson.
- Demande autorisation potentielle à Transports Canada)

Pertinence

- Récupération d'habitats aquatiques perdus dans les années 1930
- Habitat essentiel du bar rayé
- Fonctions de reproduction et d'alevinage rétablies suite à la restauration locale de l'herbier HA
- Enlèvement de structures anthropiques
- Habitat semblable aux superficies touchées sous la PMSMM
- Proximité géographique avec le projet à compenser

Projet de construction du pont à haubans pour relier l'île d'Orléans à la rive nord du fleuve Saint-Laurent
Recherche de projets de compensation

PIO-06

Secteur :
Limite du projet PIO

Localisation :
Estuaire de la rivière Montmorency immédiatement en aval du dépôt sédimentaire de la pile 16 du pont actuel
(46°52'52.82"N ; 71° 08'14.16"O)

Propriétaire :
Domaine hydrique de l'État



Interventions

Gains :

À déterminer avec étude hydraulique.
Total actuel environ 12 000 m²

- Conservation d'une partie de la pile 16 pour éviter l'érosion du haut-fond
- Élargissement au besoin de la structure (pile) pour permettre une optimisation de l'habitat en augmentant la superficie du dépôt sédimentaire

Fonctions et espèces visées

- Aire de stabulation préfraie pour les esturgeons jaunes et habitat pour l'obovarie olivâtre, deux espèces à statut précaire, dont la mulette est même en péril. La présence d'un banc de sable offre un refuge derrière à l'égard du courant et d'autres conditions physiques du fleuve. C'est pour cette raison que la fosse tout juste en aval représente un habitat adéquat pour la stabulation des géniteurs en attente du moment de leur activité de reproduction sur la frayère de l'estuaire de la rivière Montmorency. Par ailleurs, le haut-fond constitue un habitat propice pour les organismes benthiques qui affectionnent les substrats mous et qui sont à la base de l'alimentation des esturgeons jaunes, notamment les juvéniles. Des habitats semblables, c'est-à-dire les hauts fonds formant des dunes sous-marines et leurs alentours immédiats, sont utilisés de façon préférentielle par l'obovarie olivâtre et l'esturgeon jaune (poisson-hôte de l'obovarie) dans la rivière des Outaouais (A. Martel, communication personnelle).

Contraintes de réalisation

- Caractérisation préalable du milieu incluant une étude hydraulique
- Contrainte de sécurité à la navigation (Transports Canada)

Pertinence

- Habitat essentiel du bar rayé
- Protection de l'habitat utilisé par des espèces à statut
- Fonctions de stabulation et d'alimentation des esturgeons jaunes
- Habitat pour l'obovarie olivâtre (mulette protégée par Loi sur les espèces en péril)
- Habitat en plus grande profondeur pour compensation des pertes de profondeurs similaires
- Proximité géographique avec le projet à compenser

Annexe 10

Projet de reconstruction du pont de l'île d'Orléans (3220-02-002)

Demandes d'engagements et d'informations complémentaires

Zone agricole

QC-1 Une décision de la Commission de protection du territoire agricole (CPTAQ) pourrait être requise dans le cadre du projet puisque, d'après les informations fournies dans l'étude d'impact, le projet nécessiterait l'acquisition permanente d'une parcelle située en zone agricole. L'initiateur doit confirmer si des démarches ont été entamées auprès de la CPTAQ, ou expliquer pourquoi ce n'est pas requis. Rappelons que la décision de la CPTAQ est nécessaire avant que le gouvernement puisse prendre sa décision quant à la réalisation du projet conformément à l'article 97 de la Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles (chapitre P-41.1). À noter qu'un délai de 30 jours suivant la décision de la CPTAQ est prévu durant lequel cette dernière pourrait être contestée. Le gouvernement pourra se prononcer uniquement à la suite de cette période.

Milieux humides et hydriques

QC-2 La caractérisation des milieux humides fournie dans l'étude d'impact est incomplète, notamment en ce qui concerne la caractérisation des sols permettant d'identifier la présence de sols hydromorphes. Ceci peut avoir une influence sur la délimitation des milieux humides et sur la classification des stations d'inventaire en milieu terrestre. Ainsi, afin de répondre aux exigences de l'article 46.0.3 de la Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2) (LQE), l'initiateur doit s'engager à compléter la caractérisation des milieux humides conformément aux recommandations du guide d'identification et de délimitation des milieux humides du Québec méridional (2015) et à la déposer dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle en vertu de l'article 22 de la LQE.

QC-3 À la carte 7 de l'annexe D (étude du milieu récepteur), l'identification de la bande riveraine de 10 m n'apparaît pas pour une partie de la ligne des hautes eaux (LHE) identifiée près de l'approche du pont actuel du côté de l'île-d'Orléans. L'initiateur doit corriger cette information et fournir une nouvelle version de la carte, ainsi qu'une mise-à-jour de toutes les superficies de milieux humides et hydriques (littoral, rives et plaines inondables) affectées de façon permanente ou temporaire par le projet, le cas échéant.

QC-4 En lien avec la section 2.1.2.1 qui concerne la géométrie routière, l'initiateur doit expliquer quelles sont les alternatives analysées pour éviter et sinon minimiser les empiètements des nouvelles bretelles de l'autoroute 40 dans le littoral du fleuve Saint-Laurent et sa rive. Il doit justifier le choix retenu.

QC-5 À la section 2.1.2.2 (p. 56), il est prévu que l'aire de services aménagée du côté de l'Île-d'Orléans et qui servira de zone de chantier soit aménagée en remblai à la limite du milieu humide MH2. Bien que l'initiateur indique avoir minimisé les empiètements, le milieu humide se trouvera complètement enclavé entre l'aire de service, la route 368, la nouvelle route d'accès au pont et l'aire de stationnement, sans connectivité aux milieux naturels et agricoles adjacents. La proximité de ces structures routières pourrait favoriser la dégradation du milieu humide par la présence de structures drainantes, l'apport de neiges usées et d'eau de ruissellement. L'intégration au paysage (p. 84) ne constitue pas un argument suffisant pour justifier la configuration de l'aire de service telle que présentée dans l'étude d'impact.

L'initiateur doit proposer des modifications à sa conception et expliquer son application de la séquence d'éviter-minimiser-compenser. S'il peut justifier qu'il s'agit de la conception optimale, soit de moindre impact sur le MH2, il doit démontrer de quelle façon il assurera le maintien de l'intégrité du milieu humide.

QC-6 Les superficies de milieux humides et hydriques affectés de façon temporaire et permanente par le projet ne sont pas clairement indiquées dans l'étude d'impact. En effet, il est difficile de faire correspondre les superficies associées aux différentes activités du projet dans les tableaux et le texte. Par exemple, les activités des tableaux 5-5 et 5-6 ne sont pas regroupées de la même façon, ce qui rend difficile la comparaison des superficies indiquées. De plus, les superficies associées aux structures du pont actuel qui seront laissées en place ne sont pas indiquées.

- A. L'initiateur doit s'engager à utiliser les cotes d'inondation déterminées par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) en 1986 et intégrées au schéma d'aménagement et de développement (SAD) de la MRC de l'Île-d'Orléans et au règlement de zonage de la Municipalité de Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans depuis plusieurs années pour établir les empiètements permanents et temporaires dans les milieux humides et hydriques. Ces cotes sont établies à 5,02 pour la cote de récurrence de 20 ans et à 5,19 m pour la cote de récurrence de 100 ans.
- B. L'initiateur doit déposer un tableau synthèse, lequel doit regrouper les superficies associées à toutes les activités qui ont des impacts sur les milieux humides et hydriques, et ce, pour chaque type de milieu défini à l'article 46.0.2 de la LQE (littoral, rive, plaines inondables et milieux humides isolés) et pour toutes les phases du projet (construction, déconstruction, exploitation). Ce tableau devra également inclure les superficies associées aux différentes structures qui seront retirées.
- C. L'initiateur doit également déposer une carte présentant une échelle adéquate illustrant tous les empiètements prévus dans les milieux humides et hydriques. Les figures qui illustrent notamment les aires de chantier, les

aires de déboisement et les jetées temporaires doivent inclure les éléments de la description du milieu naturel à une échelle qui permet d'identifier de façon claire et sans ambiguïté.

QC-7 L'initiateur doit fournir les superficies de milieux humides et hydriques maximales en littoral et en rive qui pourraient être affectées de façon permanente dans le cadre du projet. Cette information est requise pour compléter l'analyse environnementale du projet. En effet, dans le cadre de la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement, le gouvernement détermine si une contribution financière est exigible en vertu de l'article 46.0.11 de la LQE et si le paiement peut être remplacé en tout ou en partie, par l'exécution de travaux visant la création ou la restauration de milieux humides et hydriques. À la section 7 de l'étude d'impact, l'initiateur présente son programme de compensation préliminaire et affirme qu'il devra compenser certaines pertes par une contribution financière (p.426). L'initiateur pourrait être tenu de compenser financièrement pour l'ensemble des pertes de milieux humides et hydriques occasionnées par son projet, lesquelles seront validées lors des demandes d'autorisation qui seront déposées en vertu de l'article 22 de la LQE.

- A. L'initiateur doit ainsi s'engager à déposer, lors de chaque demande d'autorisation, le bilan final des pertes réelles liées à l'activité faisant l'objet de la demande et comportant des travaux en milieux humides et hydriques, et ce, selon les plans et devis qui seront fournis à ce moment.
- B. L'initiateur doit prévoir et informer le MELCC dès maintenant de ses intentions de compensation pour chacun des milieux humides et hydriques, que ce soit par compensation financière ou par la réalisation de travaux.

Remise en état

QC-8 Afin d'assurer une remise en état des lieux à la suite du retrait des structures temporaires, ainsi que des piles et des approches de l'ancien pont, et ce, en fonction des types d'habitats présents actuellement, l'initiateur doit s'engager à déposer les états de références détaillés de chacun des secteurs dans le cadre de la première demande d'autorisation visant des travaux dans ces secteurs.

QC-9 L'initiateur prévoit épandre une couche de gravier de 1 m d'épaisseur sous les couches structurales des jetées et prévoit laisser en place du gravier lors du démantèlement des jetées temporaires. Toutefois, afin de considérer une remise en état acceptable, celle-ci doit se rapprocher de l'état de référence initial. Ainsi, le matériel exogène devrait être retiré jusqu'au substrat naturel.

- A. L'initiateur doit s'engager en ce sens ou évaluer d'autres méthodes de remise en état des secteurs affectés par les jetées temporaires, telle que la mise en place de matelas ou membrane de protection sur le lit du

fleuve. L'initiateur doit confirmer dès maintenant ses intentions. Si l'option de proposer d'autres méthodes de remise en état est retenue, l'initiateur doit s'engager à déposer des précisions quant à celles-ci lors du dépôt des demandes d'autorisations visant ces activités.

QC-10 À la section 2.1.3.3, il est indiqué qu'il est possible que le dragage des sédiments qui se seront accumulés de chaque côté des jetées soit nécessaire. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à déposer au MELCC les résultats du suivi des effets hydrosédimentaires réalisés ainsi que son programme de remise en état lors de la demande d'autorisation visant les travaux de remise en état. Ces travaux devront être approuvés par le MELCC.

QC-11 À la section 2.2.2.4, il est indiqué que les matériaux issus du dragage seront acheminés par barge sur la rive pour entreposage provisoire puis remis en place à la fin des travaux afin de reconstituer le lit du fleuve. Par ailleurs, à la section 2.3.3.1 « Préconstruction - Gestion des sols et sédiments contaminés » (p.76), l'initiateur mentionne que les sédiments qui seront excavés ne seront pas rejetés en eau libre et qu'une caractérisation des sédiments à la suite de leur excavation sera effectuée afin de déterminer le mode de gestion conformément à la Grille de gestion des sols excavés du « Guide d'intervention du MELCC » et aux règlements relatifs aux sols contaminés.

Certaines informations présentées dans l'étude d'impact semblent parfois contradictoires ou doivent être ajustées. Ainsi, l'initiateur doit :

- A. S'engager à respecter le « [Guide d'intervention – Protection de sols et réhabilitation des terrains contaminés du MELCC](#) ». Rappelons qu'afin d'établir la nature et le niveau de contamination des sédiments, de même que leur mode de gestion, la caractérisation des sédiments doit se faire *in situ*. L'échantillonnage des sédiments en pile n'est pas permis. Aucun mélange ou aucune dilution de sol (sédiments) ayant pour effet de les disposer de façon moins contraignante n'est permis (article 5 du Règlement sur le stockage et les centres de transfert de sols contaminés (RSCTSC)). La gestion de ce matériel doit donc être déterminée en fonction du résultat de la caractérisation du matériel en place et non les résultats obtenus sur un matériel remanié et asséché;
- B. Localiser le(s) site(s) d'entreposage et s'engager à ségréger, lors du stockage ou de l'assèchement, les sols (sédiments) en fonction de leur niveau de contamination;
- C. S'engager à réaliser une caractérisation physico-chimique des sédiments de la zone à draguer préalablement à chaque opération de dragage et à déposer avec chaque demande d'autorisation visant des travaux de dragage, un rapport présentant les résultats ainsi que le mode de gestion des sédiments établi à partir de ces résultats.
- D. La remise en place des sols (sédiments) dans le milieu aquatique (zones profondes) n'est pas souhaitable. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à inclure dans son suivi des effets hydrosédimentaires les aires de dragage et s'engager à préciser sa démarche de remise en état pour ces zones dans le

cadre du programme de suivi environnemental final qui sera déposé dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle.

QC-12 La présence d'ouvrages temporaires (estimés à environ 117 000 m² incluant la construction du nouveau pont et déconstruction du pont actuel) est prévue pendant une durée minimale de sept à huit ans. L'emprise de ces ouvrages temporaires va rendre les habitats indisponibles, modifier les conditions hydrauliques et le bilan sédimentaire. Le MELCC préconise que la séquence de mise en place alternée des jetées temporaires soit favorisée puisque de cette manière, les habitats redeviennent disponibles plus rapidement et l'impact s'avère moindre sur ceux-ci. Toutefois, le MELCC pourrait considérer ces jetées comme permanentes si elles s'avéraient en place sur des durées de six à huit ans et sur des superficies totalisant 117 000 m².

- A. L'initiateur doit s'engager à prévoir la séquence des travaux afin que les jetées temporaires ne soient pas en place simultanément pour diminuer l'impact de ces dernières sur le milieu environnant. Dans l'impossibilité de prévoir une telle séquence, l'initiateur doit le justifier.

QC-13 Dans le cadre de la déconstruction du pont actuel, l'initiateur prévoit laisser en place une partie des approches de ce pont afin de les convertir en belvédère. Ces structures sont situées dans le littoral, dans des milieux humides isolés, dans la rive et les plaines inondables du fleuve.

Le MELCC est d'avis que la démolition du pont actuel permettrait potentiellement de restituer des milieux et habitats perdus et serait en phase avec les dispositions de la LQE qui visent notamment la protection des milieux humides et hydriques. De plus, le belvédère ferait partie d'un projet de la Municipalité régionale de comté de L'Île-d'Orléans nommé « Constellations » qui pour le moment n'est pas confirmé. L'initiateur pourrait démanteler l'entièreté des structures du pont actuel qui sont situées en littoral et effectuer la remise en état de ces zones et remettre en état les milieux humides et hydriques présentement fractionnés par la route. Ces superficies pourraient alors permettre de contrebalancer les pertes de milieux humides et hydriques associées à la construction du nouveau pont.

- A. L'initiateur doit s'engager à retirer les jetées du pont actuel et les portions de routes sous la LHE du côté de l'Île-d'Orléans. Ces étapes doivent aussi être intégrées à l'échéancier prévu (tableau 2-4). S'il n'est pas en mesure de prendre cet engagement, l'initiateur doit le justifier.
- B. Évaluer les gains environnementaux et hydrodynamiques qui pourraient être faits en retirant cette structure (belvédère prévu au nord-est).

QC-14 À la section 2.2.1, l'initiateur prévoit l'arasement des piles de l'ancien pont jusqu'à un niveau de 500 mm sous le lit du fleuve, à l'exception des fondations des pylônes qui pourraient être arasées jusqu'à un niveau de 4 m sous le zéro des cartes.

- A. L'initiateur doit s'engager à l'arasement de toutes les piles (incluant la partie de la fondation du massif d'ancrage nord) et les fondations des pylônes jusqu'à un niveau de 500 mm sous le lit du fleuve. Dans le cas contraire, l'initiateur doit expliquer son choix de les laisser en place.
- B. S'il est impossible d'arasement toutes les piles et les fondations des pylônes, l'initiateur doit comparer l'élévation de 4 m sous le zéro des cartes par rapport à celle du « thalweg » et s'engager à fournir, dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle, une caractérisation des impacts hydrodynamiques de l'arasement de ces structures à cette élévation en considérant la présence du futur pont et prévoir, le cas échéant, les mesures d'atténuation nécessaires.

Habitat du poisson

QC-15 L'initiateur propose la création d'un nouvel étang dans son projet préliminaire de compensation pour l'atteinte aux milieux humides et hydriques. La remise en état de cette section du fleuve doit viser la création d'habitats présents naturellement.

- A. L'initiateur doit s'engager à créer une zone intertidale sans seuil, afin d'assurer la pérennité de cet habitat.
- B. Le MELCC sait que des suivis ont eu lieu dans des habitats similaires, entre autres, dans l'Étang de la Côte. Afin de pouvoir évaluer justement la valeur du nouvel étang à créer, l'initiateur doit fournir ces résultats de suivis ichtyologiques dès maintenant afin de pouvoir attribuer une valeur de compensation valable pour la création de ce nouvel étang.

QC-16 À la section 5.2.3, il est indiqué que la mise en place des ouvrages temporaires entraînera une modification locale de la dynamique hydrosédimentaire. L'envergure des ouvrages temporaires permet de croire que les modifications induites sur les conditions hydrologiques pourraient se répercuter jusque dans le secteur du fleuve, situé entre l'embouchure de la rivière Saint-Charles et de la Baie de Beauport. Puisque ce secteur abrite une frayère à bar rayé et d'alose savoureuse, il importe que les modifications ne perturbent pas sa fonction. La fraie de ces espèces étant pélagique, la dynamique des courants doit permettre aux œufs et aux jeunes larves de se maintenir dans la colonne d'eau, et ce, tout au long de la période de reproduction, d'incubation et de dérive larvaire.

- A. L'initiateur doit fournir une modélisation permettant d'évaluer l'impact hydraulique sur les frayères et autres habitats sensibles du secteur situé à proximité de la Baie de Beauport et utilisés par de nombreuses espèces. L'initiateur doit préciser quelles mesures d'atténuation seront mise en place pour minimiser ces impacts, le cas échéant.

Suivis

QC-17 À la section 9.2.2.3, l'initiateur propose un programme de suivi. Ce dernier vise plusieurs activités, telles que l'état de référence des milieux humides et hydriques affectés par le projet, le suivi en période de construction et en post-construction ainsi que la restauration et la remise en état de ces milieux.

L'initiateur doit s'engager à y inclure un suivi de la dispersion des matières en suspension (MES) pendant les travaux (construction, démantèlement des jetées, déconstruction des piles et des semelles, dragage, etc.). Il doit également préciser les mesures d'atténuation qu'il mettra en place afin de limiter la dispersion des MES durant les travaux et les actions qu'il prendra en cas de dépassement.

Enfin, l'initiateur doit s'engager à déposer, dans le cadre de la première demande d'autorisation, la version finale du programme de suivi, lequel devra préciser notamment les modalités relatives à la méthodologie, aux paramètres de suivi ainsi qu'au dépôt des rapports de suivi.

QC-18 Dans un même ordre d'idées, il est indiqué que le programme de suivi de la variation des élévations verticales de l'estran sera fait sous la cote de la pleine mer supérieure marée moyenne (PMSMM).

- A. L'initiateur doit s'engager à effectuer ce suivi en-dessous de la LHE.
- B. À la dernière puce du suivi (p. 457), il est indiqué qu'il sera fait durant une période couvrant au moins deux périodes de vives-eaux et une période dénommée f. L'initiateur doit clarifier ce que signifie cette période.

QC-19 Aux sections 9.2.2 et 9.2.3, l'initiateur présente son programme de suivi des milieux humides et hydriques affectés par le projet. Or, le programme proposé ne couvre pas l'ensemble de ces milieux. L'initiateur ne précise pas de mesure de suivi pour les milieux humides isolés, les rives, les plaines inondables et le littoral entre la LHE et la PMSMM.

L'initiateur doit s'engager à élaborer un programme de suivi pour l'ensemble des milieux humides et hydriques affecté par les activités du projet. Les détails du programme de suivi, ainsi que les mesures qui seront mises en place afin de s'assurer de rétablir la couverture végétale (herbiers) et le caractère naturel des milieux humides et hydriques (remise en état) devront être fournies lors du dépôt des demandes d'autorisations ministérielles en vertu de l'article 22 de la LQE affectant ces milieux.

Mesures d'atténuation

QC-20 Aux sections 5.1.5.1 et 6.1.5.1, l'initiateur présente les mesures d'atténuation proposées pour diminuer les impacts résiduels des activités du projet sur les milieux

humides et hydriques. Ces mesures sont d'ordre général. L'initiateur doit s'engager à présenter, lors du dépôt des demandes d'autorisation en vertu de l'article 22 de la LQE pour les activités s'inscrivant dans ces milieux, les mesures d'atténuation concrètes et spécifiques qui seront mises en place et qui sont adaptées à chacune des activités du projet ainsi qu'un échéancier de mise en place de ces mesures.

QC-21 L'initiateur doit préciser les mesures prévues pour la récupération des matériaux issus de la déconstruction et quelles sont les mesures de réductions des émissions de gaz à effet de serre (GES) qui peuvent y être associées (ex. : transport évité vers les dépôts de matériaux secs, etc.).

Drainage des eaux pluviales

QC-22 L'initiateur doit s'engager à ce que le système de gestion des eaux de ruissellement (page 86 et tableau 4-1 p.121) soit conçu de manière à ce que son système de drainage des égouts pluviaux se rejette directement dans le fleuve, sans transiter par les étangs de la côte et du Moulin ni dans le nouvel étang qui sera aménagé comme projet de compensation.

QC-23 Dans un même ordre d'idées, l'initiateur indique que l'utilisation de sels de déglacage pourrait modifier la qualité de l'habitat du poisson (p. 166 de l'étude d'impact). Le rejet au fleuve sans traitement d'eau contaminée par des sels de déglacage n'est pas acceptable pour le MELCC. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à mettre en place des mesures afin d'éviter le rejet au fleuve d'eau contaminée par des sels de déglacage. Ces mesures devront être présentées dans le cadre de la première demande d'autorisation.

Aire de travail /chantier

QC-24 À la section 2.1.3.1 Pré-construction, l'initiateur identifie approximativement les zones de chantier prévues de part et d'autre du fleuve et indique que les aires précises seront identifiées par l'entrepreneur. Comme ces zones de chantier font partie intégrante du projet, l'initiateur doit identifier leurs superficies maximales et leurs localisations, puis s'engager à ce que ces aires de chantier soient situées à l'extérieur du littoral du fleuve Saint-Laurent ou bien dans des remblais déjà existants ou prévus.

QC-25 Selon ce qui est indiqué dans l'étude d'impact, trois usines temporaires (assemblage et à béton) seront localisées dans les milieux humides et hydriques.

- A. L'initiateur doit justifier son choix de construire de telles usines en milieux humides et hydriques et démontrer qu'aucune autre solution ne peut être envisagée (localisation en milieu terrestre, approvisionnement à partir d'une usine existante, etc.).
- B. Dans le cas où l'initiateur maintient la localisation proposée de ces usines, il doit fournir :

- les informations sur tous les types d'activités qui pourraient s'y dérouler et les mesures qui seront mises en place afin d'éviter ou intervenir en cas d'accident ou de déversement;
- un plan à l'échelle incluant la localisation, les dimensions et les accès prévus aux usines.

Hydraulique

QC-26 Le MELCC est d'avis que la méthode utilisée pour calculer les niveaux d'eau du fleuve pour différentes récurrences respecte les règles de l'art pour la conception des ouvrages. Cependant, la période de données hydrométriques choisie par l'initiateur pour en faire l'analyse statistique qui est de 1979-2020 limite la prise en compte du rehaussement des niveaux d'eau observé particulièrement depuis les vingt dernières années. Cela peut expliquer entre autres pourquoi les résultats obtenus par l'initiateur pour les récurrences 20 ans et 100 ans sont inférieurs aux cotes de crues actuellement en vigueur.

Ainsi, par principe de précaution, l'initiateur doit présenter une analyse statistique avec une période de données plus contemporaine, donc un peu plus courte, permettant de tenir compte du phénomène récent de rehaussement des niveaux d'eau. En fonction des résultats obtenus, l'initiateur doit préciser si l'utilisation des cotes de crues en vigueur pourrait devoir être envisagée pour la conception du futur pont afin d'adapter la structure à ces cotes.

QC-27 L'élévation finale (surface de roulement) des jetées temporaires prévues est importante pour réduire les risques d'inondation de celles-ci. L'élévation doit tenir compte du régime tidal dans lequel s'insèrent les jetées, de même que les conditions susceptibles d'être rencontrées pendant la durée des travaux (vent, vagues, niveaux d'eau). L'élévation actuelle a été fixée à 6 m (sections 2.1.3.1 et 2.2.2.3), mais ne semble pas basée sur une récurrence adaptée au régime tidal du secteur. Cet élément est important puisque l'élévation finale des ouvrages temporaires a un impact direct sur les empiètements dans l'habitat du poisson, l'ampleur des compensations à mettre en place et la remise en état des lieux au moment de la démobilitation. De plus, ces simulations hydrauliques sont faites pour le niveau de pleine mer supérieure grande marée (PMSGM) qui se trouve à être inférieur à un niveau de récurrence 2 ans. En considérant la durée des travaux de mise en place des ouvrages temporaires de quatre à cinq ans :

- A. L'initiateur doit simuler des événements de flot et jusant ayant de fortes probabilités de se produire pendant cette période. Par exemple, les simulations additionnelles pourraient être faites avec des niveaux de récurrences de 5 ans ou 10 ans qui sont plus élevés que la PMSGM afin de mieux évaluer les impacts potentiels en cours de travaux.
- B. L'analyse ayant permis de déterminer l'élévation des jetées temporaires doit être revue et présentée afin de tenir compte des commentaires

précédents. Tel que mentionné, elle devrait tenir compte des plus hauts niveaux d'eau enregistrés et des vagues ainsi que des glaces et de tout autre facteur pouvant influencer le niveau d'eau pendant la durée totale des travaux de construction et de déconstruction du pont.

- C. S'il est requis d'augmenter l'élévation des jetées, les calculs des superficies d'empiètements temporaires doivent être mis à jour en tenant compte de cette nouvelle élévation.

QC-28 À la section 2.1.2.2, l'initiateur présente la description des jetées temporaires prévues en remblais, sans ponceau sous-jacent. Il est mentionné à ce sujet que la mise en place de ponceaux aurait peu d'impact sur le régime hydrosédimentaire et pourrait même provoquer des effets indésirables avec des zones de forts courants. Étant donné cette entrave à la libre circulation de l'eau et des sédiments amont-aval, le MELCC anticipe une sédimentation accrue, entre autres, dans les herbiers existants.

- A. L'initiateur doit appuyer son affirmation sur le régime hydrosédimentaire, à l'aide de simulations hydrodynamiques incluant des ponceaux dans les jetées et s'engager à déposer les résultats dans le cadre de la demande d'autorisation ministérielle visant la construction des jetées. Il doit s'engager à inclure des ponceaux dans son concept de jetée s'il n'arrive pas à faire la démonstration que son concept sans ponceau est optimal pour minimiser les impacts liés à l'accumulation de sédiments.

Mulettes

QC-29 L'inventaire réalisé par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), en 2018 a permis de détecter la présence d'individus vivants de trois espèces de mulettes en situation précaire, dont l'obovarie olivâtre, espèce inscrite à la liste des espèces fauniques et floristiques susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables (RLRQ, c. E-12.01, r. 5), dans chacun des quatre secteurs (amont nord, aval nord, amont sud et aval sud) de la zone de projet. Selon le protocole de Mackie et al. (2008), la présence de mulettes à statut précaire est suffisante pour déclencher la mise en place d'un programme de relocalisation.

Selon les données disponibles sur les impacts sédimentaires du projet, sur les empiètements permanents et temporaires ainsi que sur le dragage, l'initiateur est en mesure de déterminer dès maintenant la zone d'activité, la zone de risque et la zone d'influence afin de concevoir le programme de relocalisation avant la mise en place des jetées temporaires et la réalisation du premier dragage.

La relocalisation des mulettes doit être complétée au moins un mois avant que la température de l'eau descende sous les 16°C, ce qui se produit généralement à la fin septembre. Comme les jetées temporaires seront installées et que le premier dragage sera effectué entre le 1^{er} octobre et le 30 avril, cela implique que le programme de relocalisation devra être réalisé dans la saison estivale précédente et possiblement deux

saisons avant le début des travaux, dépendamment de la zone d'influence des travaux à couvrir.

- A. L'initiateur doit s'engager à effectuer un inventaire des mulettes et une relocalisation des individus avant la réalisation des travaux et selon les paramètres précédemment mentionnés. Un permis SEG ainsi qu'un permis en vertu de la Loi sur les espèces en péril (LC 2002, ch.29) (LEP) sera également requis pour effectuer ces travaux.
- B. L'initiateur doit déposer son programme de relocalisation des mulettes à statut précaire dès maintenant, comprenant la carte des zones d'influence des travaux, lequel devra être adapté à la séquence des travaux.

QC-30 À la section 5.3.1, l'initiateur mentionne que « compte tenu des mentions existantes de faucons pèlerins et de la tendance à la hausse des effectifs, il sera cependant prudent d'envisager des mesures appropriées, considérant qu'un retour de l'espèce en tant que nicheur potentiel est possible aux environs du pont et du pylône avoisinant ».

- A. L'initiateur doit s'engager à réaliser, selon le protocole standardisé pour le suivi de la nidification et de la productivité du faucon pèlerin au Québec (MFFP 2021), la vérification de la nidification du faucon entre le 15 mars et le 30 avril.
- B. Advenant la nidification avérée d'un couple de faucons pèlerins, l'initiateur doit s'engager à déposer un plan de gestion visant à limiter le dérangement de ces oiseaux durant cette période critique dans le cadre de la première demande d'autorisation ministérielle.

Oiseaux migrateurs

QC-31 L'initiateur n'a pas précisé si le nouveau pont présentera des aménagements pour accueillir la population d'hirondelles à front blanc qui niche sur le pont actuel de l'Île-d'Orléans et le pont à étage de l'échangeur A-440/R-138. Il est recommandé que des sites de nidification soient toujours accessibles pour permettre la nidification des hirondelles durant et après les travaux. L'aménagement de structures artificielles pourrait s'avérer nécessaire pour accueillir l'ensemble de la population nichant sur les structures du pont de l'Île d'Orléans et du pont à étage. Le cas échéant, un suivi devrait être réalisé pour évaluer l'efficacité de ces structures.

- A. L'initiateur doit démontrer que des structures de nidification seront disponibles pour l'hirondelle à front blanc pendant toutes les phases du projet et évaluer la pertinence de mettre en place des structures d'accueil alternatives afin de s'assurer de la disponibilité de structures de nidification exemptes de dérangement anthropique significatif pendant toutes les phases du projet.

- B. L'initiateur doit s'engager à élaborer un programme de surveillance et de suivi spécifique à l'hirondelle à front blanc avant le début des travaux et d'assurer sa mise en œuvre durant la réalisation du projet afin, notamment, de documenter les impacts des travaux sur la nidification de cette espèce, de s'assurer que la nidification des individus nichant à proximité des travaux n'est pas affectée et de déterminer si des mesures d'atténuation supplémentaires sont requises. Ce programme devra être déposé au MELCC pour approbation lors de la première demande d'autorisation ministérielle.

Espèces floristiques menacées ou vulnérables et susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables

QC-32 Considérant la présence de colonies d'éleocharide des estuaires, espèce floristique susceptible d'être désignée menacée ou vulnérable en vertu de la Loi sur les espèces menacées ou vulnérables (chapitre E-12.01) (LEMV), l'initiateur doit préciser les mesures qu'il mettra en place pour limiter les impacts sur cette espèce, compte tenu qu'il s'agit d'une plante endémique du nord-est américain dont la plus grosse population québécoise et mondiale se trouve dans le secteur de l'île-d'Orléans.

QC-33 L'initiateur a répertorié deux individus de noyers cendrés dans l'aire d'étude, espèces susceptibles d'être désignées menacées ou vulnérables en vertu de la LEMV. Ces derniers seraient situés à l'intérieur de la zone de déboisement prévue dans le cadre des travaux.

L'initiateur doit démontrer les alternatives envisagées pour éviter la coupe de ces arbres. Advenant que la coupe soit inévitable, il devra préciser les mesures qu'il mettra en place pour en disposer (ex. : les brûler), compte tenu de la problématique sanitaire liée à la maladie fongique provoquant la précarité de cette espèce, et ce, dans le cadre de la demande d'autorisation qui traitera des travaux de déboisement.

QC-34 Selon l'information présentée dans l'étude d'impact, la Gentiane de Victorin et la Cicutaire de Victorin identifiées comme espèces menacées dans LEMV et à l'annexe 1 de la LEP, est retrouvée dans le secteur du projet. Toutefois, elle n'aurait pas été inventoriée lors des inventaires floristiques de 2018 dans l'aire d'étude. De plus, cet inventaire a été réalisé à une période trop hâtive pour cette espèce de l'estuaire fluvial d'eau douce du Saint-Laurent.

- A. L'initiateur doit s'engager à réaliser, avant le début des travaux, des inventaires complémentaires en période propice pour la Gentiane de Victorin et la Cicutaire de Victorin (août ou septembre) dans l'aire des travaux ainsi que dans la zone d'influence de ceux-ci et à déposer un rapport d'inventaire au MELCC dans le cadre de la première demande d'autorisation.

- B. L'initiateur doit préciser les mesures d'atténuation qu'il mettra en place pour protéger ces espèces dans le cas où les inventaires complémentaires confirmeraient leur présence.

Espèces en péril

QC-35 Des inventaires spécifiques ont été effectués pour vérifier la présence d'espèces en péril dans l'aire d'étude, notamment pour vérifier la présence de tortues géographiques. Bien qu'aucune tortue n'ait été observée, des occurrences à proximité de l'aire des travaux ont été répertoriées et le secteur demeure un habitat potentiel pour cette espèce. Aucune mesure d'atténuation n'est toutefois prévue par l'initiateur pour limiter les impacts du projet sur cette dernière.

- A. Ainsi, l'initiateur doit s'engager à mettre en place des mesures d'atténuation afin de minimiser ces impacts potentiels. Ces mesures seront encadrées dans un permis SEG qui devra être obtenu préalablement aux travaux auprès du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs.

Mobilité durable

QC-36 L'un des objectifs exprimés dans ce projet est : « d'assurer la mobilité durable des personnes et des marchandises : le projet doit permettre de disposer d'une desserte en transport fonctionnelle et sécuritaire, qui répond aux besoins actuels et futurs de tous les usagers ». Or, selon les informations disponibles, les besoins futurs de tous les usagers en termes de mobilité ne semblent pas être entièrement considérés (ex. : travailleurs étrangers, personnes âgées ou démunies, etc.). Dans une perspective en développement durable, la planification de cette infrastructure devrait se faire en cohérence avec la Politique de mobilité durable 2030 du gouvernement du Québec.

L'initiateur doit faire la démonstration de la prise en compte de la mobilité durable dans la planification de son projet et s'engager à harmoniser son projet avec les stratégies gouvernementales actuelles et projetées. Il doit identifier et présenter, au sein de l'infrastructure, des opportunités qui permettraient éventuellement un transfert modal et d'assurer les besoins futurs en transport collectif.

Impacts sonores

QC-37 L'initiateur doit s'engager à respecter les *Lignes directrices relativement aux niveaux sonores provenant d'un chantier de construction industriel*¹.

¹ Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Lignes directrices relativement aux niveaux sonores provenant d'un chantier de construction industriel*, 27 mars 2015, [En ligne : <https://www.environnement.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01/lignes-directrices-construction.pdf>].

GES

QC-38 L'explication de la méthodologie utilisée pour la quantification des différentes sources d'émission de GES ainsi que les résultats des calculs sont présentés dans l'étude d'impact. Toutefois, le détail des calculs pour chaque source est absent. Dans l'« annexe F - GES », la référence est faite à un chiffrier de calcul Excel.

- A. L'initiateur doit s'engager à fournir lors de la première demande d'autorisation ministérielle ce chiffrier de calcul utilisé pour la quantification de toutes les sources d'émissions de GES et de carbone noir considérées, en incluant les formules et hypothèses posées, ceci à des fins de validation, en respect des principes de la norme ISO 14064.

QC-39 À la section 9.1.3 de l'étude d'impact (p.148), sur la surveillance des émissions de GES, il est indiqué que : « La source de GES que représenterait l'activité de déboisement, ainsi que l'activité de reboisement (paysagement) qui constituerait un puits de carbone, n'ont pas été pris en compte dans le bilan GES de la phase construction étant donné le manque d'information précise pour faire ces calculs. Des activités de surveillance ont donc été établies afin d'inclure les activités de déboisement et de reboisement au bilan GES. » Afin de respecter le principe de complétude de la norme ISO 14064 sur la quantification des émissions de GES, il est nécessaire de quantifier toutes les sources. Ainsi, en l'absence de données très précises, il est tout de même nécessaire d'effectuer une quantification en utilisant les données disponibles et en posant les hypothèses les plus plausibles possible.

- A. L'initiateur doit s'engager à fournir lors de la première demande d'autorisation, une quantification pour cette source en cohérence avec le plan de déboisement décrit dans l'étude d'impact et en vous référant à la méthodologie présentée à la section 3.9 du « Guide de quantification des émissions de gaz à effet de serre du MELCC ».

Documents cités dans l'étude d'impact à transmettre

QC-40 Différents documents de support à l'étude d'impacts n'ont pas été fournis. Ces documents sont importants pour permettre d'analyser chaque enjeu adéquatement, ainsi il est demandé à l'initiateur de fournir ces documents :

- Rapports sur les inventaires floristiques à statut qui ont eu lieu, soit les 31 mai et 18 juillet 2018, et d'un inventaire réalisé en 2017, mentionné dans l'étude d'impact (p.129, p.40 de l'annexe D) sans aucune autre précision (incluant les fiches d'inventaires terrain qui ont servi à caractérisation du milieu naturel).
- MASSON, A., E. VALIQUETTE et L. L'ITALIEN (2021a). Rapport sur les mesures des impacts de la construction et de la mise en opération du nouveau pont de l'Île-d'Orléans sur

l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, VII + 16 p.

- MASSON, A., E. VALIQUETTE et L. L'ITALIEN (2021b). Rapport sur les mesures des impacts de la déconstruction du pont de l'Île-d'Orléans sur l'habitat du baret et de l'esturgeon jaune, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, VII + 9 p.

- MTQ – Ministère des Transports du Québec. 2021a. Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, Étude hydraulique pour la reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans. Structure no : P-19555.

- MTQ – Ministère des Transports du Québec. 2021b. Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, avis technique, évaluation des impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées allongées proposées par Groupe Origine Orléans (GOO). 6 pages

- MTQ – Ministère des Transports du Québec. 2021c. Saint-Pierre-de-l'Île-d'Orléans, avis technique, Évaluer les impacts sur les vitesses et sur les niveaux d'eau causés par les jetées de déconstruction et le dragage prévus par Arup 6 pages.

- Fiches d'inventaire des structures anthropiques littorales qui pourraient potentiellement être retirées dans le but de compenser les pertes du projet de reconstruction du pont de l'Île-d'Orléans, et qui sont identifiées dans le tableau 7-1.

Commentaires

À l'annexe D de l'étude d'impact- Description du milieu, section 4.3.4, veuillez noter que quatre aires de concentration d'oiseaux aquatiques et non trois sont présentes dans le secteur. Il manque celle de Boischatel (no. 02-03-0147), qui est localisée du côté aval nord du pont actuel, qui fait pourtant partie de la zone d'influence des travaux.

Rédigé par :

Marie-Ève Thériault, Biologiste, M. Sc.
Chargée de projets

Caroline Durand, Biologiste, M. Sc.
Analyste

Jean-Pascal Fortin, Géographe, M. Sc.
Analyste

