



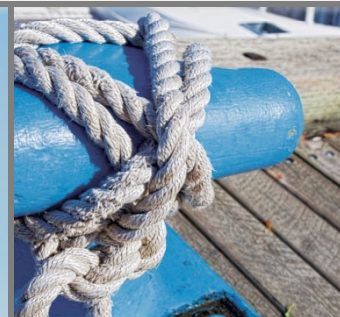
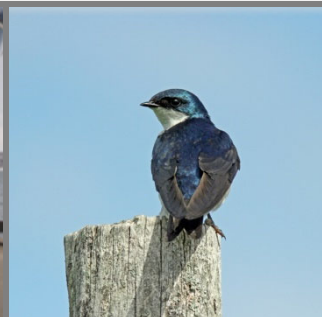
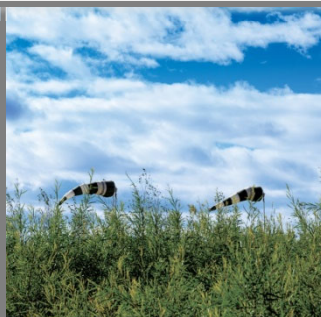
**TERMINAL DE CONTENEURS
EN EAU PROFONDE**

LAURENTIA

JUIN 2020



**CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET RÉGIME SÉDIMENTOLOGIQUE
PRÉSENTÉ À L'AGENCE D'ÉVALUATION D'IMPACT DU CANADA (AÉIC)**






Préparé par :

Bernard Massicotte
Consultant en environnement

<original signed by>

Vérfié par :


Philippe Charest-Gélinas
Chargé de projet
Études environnementales et relations
avec les communautés

Registre des révisions et émissions		
N° de révision	Date	Description
0A	2020-03-20	Émission de la version préliminaire
0B	2020-03-25	Émission de la version préliminaire
0C	2020-06-05	Émission de la version préfinale
00	2020-06-25	Émission de la version finale

Propriété et confidentialité

« Ce document est destiné exclusivement aux fins qui y sont mentionnées. Toute utilisation du rapport doit prendre en considération l'objet et la portée du mandat en vertu duquel le rapport a été préparé ainsi que les limitations et conditions qui y sont spécifiées et l'état des connaissances scientifiques au moment de l'émission du rapport. Englobe Corp. ne fournit aucune garantie ni ne fait aucune représentation autre que celles expressément contenues dans le rapport.

Ce document est l'œuvre d'Englobe Corp. Toute reproduction, diffusion ou adaptation, partielle ou totale, est strictement prohibée sans avoir préalablement obtenu l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client. Pour plus de certitude, l'utilisation d'extraits du rapport est strictement interdite sans l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client, le rapport devant être lu et considéré dans sa forme intégrale.

Aucune information contenue dans ce rapport ne peut être utilisée par un tiers sans l'autorisation écrite d'Englobe et de son Client. Englobe Corp. se dégage de toute responsabilité pour toute reproduction, diffusion, adaptation ou utilisation non autorisée du rapport.

Si des essais ont été effectués, les résultats de ces essais ne sont valides que pour l'échantillon décrit dans le présent rapport.

Les sous-traitants d'Englobe qui auraient réalisé des travaux au chantier ou en laboratoire sont dûment évalués selon la procédure relative aux achats de notre système qualité. Pour toute information complémentaire ou de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec votre chargé de projet. »

TABLE DES MATIÈRES

5	CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET RÉGIME SÉDIMENTOLOGIQUE.....	5-1
5.1	Mise en contexte	5-1
5.2	Activités réalisées depuis le dépôt du document de réponses aux questions.....	5-2
5.3	Zone d'étude	5-2
5.4	Précisions sur l'État de référence	5-5
5.4.1	Méthodologie.....	5-5
5.4.1.1	Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)	5-5
5.4.1.2	Régime sédimentologique (érosion et transport)	5-7
5.4.1.3	Panache de l'émissaire de surverse de la Ville de Québec	5-11
5.4.2	État de référence.....	5-14
5.4.2.1	Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)	5-14
5.4.2.2	Régime sédimentologique (érosion et transport)	5-18
5.4.2.3	Panache de l'émissaire de surverse de la Ville de Québec	5-19
5.5	Évaluation des effets sur les conditions hydrodynamiques (courants et vagues)	5-19
5.5.1	Phase de construction.....	5-19
5.5.1.1	Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)	5-19
5.5.1.2	Régime sédimentologique (érosion et transport)	5-20
5.5.2	Phase d'exploitation	5-20
5.5.2.1	Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)	5-20
5.5.2.2	Régime sédimentologique	5-39
5.6	Évaluation des effets cumulatifs sur les conditions hydrodynamiques et le régime sédimentologique	5-45
5.7	Surveillance environnementale	5-45
5.8	Suivi environnemental	5-45
5.8.1	Objectifs	5-46
5.8.2	Suivi en exploitation	5-46
5.8.2.1	Méthodologie	5-46
5.8.2.2	Calendrier	5-47
5.8.3	Mécanismes d'intervention en cas de non-respect des exigences.....	5-47
5.8.4	Accessibilité et partage des résultats.....	5-47
5.9	Autres.....	5-48
5.10	Références bibliographiques.....	5-49

Tableaux

Tableau 5-1	Caractéristiques des relevés de 2009, 2013 et 2017.....	5-11
Tableau 5-2	Recul moyen de la plage entre 2009 et 2017	5-18

Figures

Figure 5-1	Images aériennes et satellitaires de la pointe de Beauport, 1987 à 2017	5-8
Figure 5-2	Approche méthodologique utilisée pour la modélisation hydrosédimentaire de la plage de la Baie de Beauport (Lasalle NHC, 2020a)	5-9
Figure 5-3	Sections en travers utilisées dans le modèle filaire (Lasalle NHC, 2020) ..	5-10
Figure 5-4	Prolongement de l'émissaire à la suite de la construction du nouveau quai.....	5-12
Figure 5-5	Localisation des prises d'eau de Lévis et de Québec.....	5-12
Figure 5-6	Débit de marée dans le bras nord de l'île d'Orléans (Montmorency) — 4 - 7 juin 2019 (Lasalle NHC, 2020a)	5-15
Figure 5-7	Courants dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en tenant compte de la marée seulement (en haut) et avec ajout d'un débit de 100 m ³ /s dans la rivière Saint-Charles (Lasalle NHC, 2020a)	5-17
Figure 5-8	Emplacement des profils réévalués en 2020 pour établir le taux de recul de la plage de la Baie de Beauport.....	5-19
Figure 5-9	Courants de marée lors du flot, avant et après l'aménagement (marée de vive-eau du 5 juin 2019, Lasalle NHC, 2020a)	5-22
Figure 5-10	Courants de marée lors du jusant, avant et après l'aménagement (marée de vive-eau du 5 juin 2019, Lasalle NHC, 2020a)	5-23
Figure 5-11	Courants de marée lors de l'étalement de marée haute, avant et après l'aménagement (marée du 5 juin 2019, Lasalle NHC, 2020a).....	5-24
Figure 5-12	Vagues et courants littoraux avant et après la construction de l'extension portuaire, pour une tempête de l'est (vent de 50 km/h E, niveau moyen de marée haute, 4,8 m par rapport au zéro des cartes) (Lasalle NHC [2018b])	5-27
Figure 5-13	Vagues et courants littoraux avant et après la construction de l'extension portuaire, pour une tempête de l'ENE (vent de 50 km/h E, niveau moyen de marée haute 4,8 m par rapport au zéro des cartes) (Lasalle NHC [2018b])	5-29
Figure 5-14	Vagues et courants littoraux avant et après la construction de l'extension portuaire, pour une tempête du NE (vent de 50 km/h E, niveau moyen de marée haute 4,8 m par rapport au zéro des cartes) (Lasalle NHC [2018b])	5-31
Figure 5-15	Comparaison des concentrations maximales de l'effluent de l'émissaire d'urgence obtenues en conditions actuelles et futures – Marée de vive-eau (concentration à la sortie de l'émissaire = 1x10 ⁶ ppm (Lasalle NHC, 2020b)	5-35

Figure 5-16	Concentrations maximales de l'effluent de l'émissaire d'urgence obtenues en conditions actuelles – Marée de morte-eau (concentration à la sortie de l'émissaire = 1×10^6 ppm (Lasalle NHC, 2020b).....	5-37
Figure 5-17	Illustration du mécanisme d'érosion engendré par un déficit au niveau du bilan sédimentaire	5-41
Figure 5-18	Variation du transport littoral le long de la ligne de plage	5-42
Figure 5-19	Résultats de modélisation du transport littoral à long terme	5-44

Cartes

Carte 5-1	Zones d'étude.....	5-3
Carte 5-2	Transects de relevés de vitesse.....	5-6

Annexes

Annexe A	Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (Lasalle NHC, 2020)
Annexe B	Impact du déplacement de l'émissaire de surverse – Modélisation numérique de la dispersion

CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET RÉGIME SÉDIMENTOLOGIQUE

QUESTIONS DE L'ACÉE	SECTION	SECTION OÙ TROUVER LA RÉPONSE
ACÉE 7a	Fournir une analyse comparative entre les différentes versions des modèles des débits simulés pour une section du fleuve ainsi que pour les bras nord et sud de l'île d'Orléans afin d'en vérifier la cohérence. Justifier qu'un tel débit puisse passer par le bras nord du fleuve et confirmer la présence ou l'absence d'une inversion de courant.	Section 5.4.1.2
ACÉE 7b	Réévaluer, le cas échéant, les débits utilisés comme conditions aux limites afin qu'ils soient plus représentatifs de la réalité et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.	Section 5.4.1.2
ACÉE 7c	Modifier les sections de l'étude d'impact pour lesquelles les résultats du modèle hydrodynamique ont été utilisés ainsi que leur analyse respective.	Section 5.5.2.1
ACÉE 8a	Expliquer les impacts de l'utilisation du Zéro des cartes (Zc) sur les résultats de la modélisation des conditions hydrodynamiques locales dans la baie de Beauport et dans le port compte tenu du biais apporté par son utilisation.	Section 5.4.2.1
ACÉE 8b	Démontrer que l'utilisation des conditions aux limites basées sur le Niveau moyen de la mer (valeurs de niveaux aux stations corrigées en fonction du Niveau moyen de la mer) n'apporte pas d'améliorations significatives aux résultats hydrodynamiques, notamment celles d'assurer la présence d'une inversion de courant dans le bras nord du fleuve et un rapprochement des écarts entre les vitesses mesurées et simulées.	Section 5.4.2.1
ACÉE 8c	Refaire, le cas échéant, la modélisation en utilisant le niveau moyen de la mer comme référence verticale afin de bien capter les conditions hydrodynamiques mesurées ou observées dont le phénomène d'inversion de courant dans le bras nord et les gyres dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.	Section 5.4.2.1
ACÉE 8d	Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.	Section 5.5.2.1
ACÉE 9a	Démontrer qu'il s'agit bien du jeu de données de 2009 et non de 2013 qui montre un décalage des données altimétriques et évaluer les effets de l'erreur de décalage observés sur un des jeux de données de bathymétrie sur le calcul du taux de recul de la plage.	Section 5.4.1.2
ACÉE 9b	Décrire la méthodologie de la modélisation hydrosédimentaire, notamment expliquer comment l'ensemble de la durée des tempêtes (non stationnaire) sert d'entrant en niveau d'eau et vagues au modèle filaire de transport sédimentaire.	Section 5.4.1.2
ACÉE 9c	Justifier l'absence des courants de marée dans la modélisation hydrosédimentaire, sinon les inclure dans la modélisation.	Section 5.4.1.2
ACÉE 9d	Est-ce que le décalage soupçonné s'applique à tout le jeu de donnée 2009 ou seulement à une partie (la batture)?	Section 5.4.1.2
ACÉE 9e	Est-ce qu'une seule technologie de mesurage a été utilisée pour une année donnée?	Section 5.4.1.2
ACÉE 9f	Est-ce que la bathymétrie de 2009 a été corrigée de 20 cm avant d'établir le recul des lignes de côte?	Section 5.4.1.2
ACÉE 9g	Quel serait l'impact de cette correction sur le calcul du taux de recul de la plage?	Section 5.4.1.2
ACÉE 10a	Démontrer à l'aide d'une simulation qu'un apport en eau moyen ou élevé de la rivière Saint-Charles n'a aucun effet sur les courants et la déposition de sédiment supplémentaire plus en aval dans le port.	Section 5.4.2.1
ACÉE 10b	Évaluer, le cas échéant, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) causés par l'apport d'eau de la rivière Saint-Charles.	Section 5.4.2.1
ACÉE 10c	Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.	Section 5.5.2.1

CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET RÉGIME SÉDIMENTOLOGIQUE

QUESTIONS DE L'ACÉE	SECTION	SECTION OÙ TROUVER LA RÉPONSE
ACÉE 10d	<p>La rivière Saint-Charles possède un bassin versant de 544 km². La station hydrométrique 02PD010 (Saint-Charles) en mesure 357 km². La partie non jaugée du bassin de la rivière Saint-Charles est de 187 km². En utilisant le rapport de bassin versant (0,656), un débit de 100 m³/s à l'embouchure (utilisé dans la modélisation) correspond à 66 m³/s à la station. Inversement, le débit maximum enregistré à la station de 93 m³/s (mentionné par le promoteur) correspond à un débit de 142 m³/s à l'embouchure. Les valeurs maximales annuelles à la station varient de 46 à 95 m³/s pour sa période d'activité. La moyenne des valeurs maximales annuelles est de 65 m³/s.</p> <p>ECCC considère que le choix du débit de 100 m³/s imposé à l'embouchure est valable pour les besoins de l'exercice, car il se trouve dans la gamme élevée des débits de la rivière même s'il ne correspond pas au débit maximum enregistré à la station comme le sous-entend le promoteur.</p> <p>ECCC est satisfait des explications et justifications du promoteur disant que l'impact du débit de la rivière sur les courants dans l'embouchure demeure faible.</p>	Section 5.4.2.1
ACÉE 11a	Expliquer les résultats des études de transport de sédiments en tenant compte du biais que peut avoir généré la validation inadéquate des simulations hydrodynamiques. Le cas échéant, refaire des simulations hydrodynamiques en fonction des commentaires en contexte et précédents (Modélisation – Débits et Utilisation du Zéro des cartes (Zc), entre autres).	Section 5.4.2.2
ACÉE 11b	Évaluer, dans l'éventualité d'une nouvelle modélisation, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) apportés par cette nouvelle modélisation hydrodynamique, notamment sur la dynamique du transport de sable du centre de la plage de Beauport vers la flèche de sable à l'entrant sud-ouest.	Section 5.4.2.2
ACÉE 11c	Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.	Section 5.5.2.2
ACÉE 12a	Déterminer si le projet ou la recharge de la plage auront des effets sur l'érosion de la ligne de côte et l'accumulation de sédiments sur la flèche et l'entrant sud-ouest. Justifier et appuyer vos conclusions.	Section 5.5.2.2
ACÉE 12b	Quantifier le déplacement de sable vers la flèche située dans l'entrant sud-ouest. Ceci peut se faire, par exemple, en utilisant un taux d'accumulation de sable sur la flèche ou un taux d'accroissement de la surface de la flèche.	Section 5.5.2.2
Commentaire 4	Un groupe environnemental souhaite préciser au promoteur que les données sur le ruisseau du Moulin ne sont pas à jour. En effet, l'embouchure de ce ruisseau n'est plus canalisée sur une longueur d'environ 370 mètres.	Section 5.9
ECCC-2-70a (CH-1)	Fournir une description détaillée du panache de l'émissaire de la Ville de Québec sur l'ensemble d'un cycle de marée.	Section 5.5.2.1
ECCC-2-70b (CH-1)	Présenter des figures du panache à plus petite échelle et sur l'ensemble du cycle de marée afin de pouvoir vérifier les affirmations du promoteur concernant les concentrations de l'effluent ainsi que sa dilution.	Section 5.5.2.1
ECCC-2-71a (CH-1)	Décrire de façon détaillée et complète l'effet du projet sur la hauteur des vagues.	Section 5.5.2.1
ECCC-2-71b (CH-1)	Décrire comment la diminution de la hauteur des vagues est compatible avec une augmentation de l'érosion sur la partie restante de la plage.	Section 5.5.2.1

5 CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET RÉGIME SÉDIMENTOLOGIQUE

5.1 MISE EN CONTEXTE

En mai 2019, l'Administration portuaire de Québec (APQ) a conclu un accord commercial à long terme avec Hutchison Ports et la Compagnie des chemins de fer nationaux du Canada (le CN) en vue de la construction et de l'exploitation du nouveau terminal de conteneurs en eau profonde qui sera aménagé dans le secteur de Beauport (projet Laurentia). Cet accord et l'étroite collaboration entre les partenaires ont permis de préciser la configuration détaillée des installations nécessaires à l'exploitation d'un terminal à la fine pointe de la technologie.

Dans le contexte du processus d'évaluation environnementale en cours, l'objectif de ce document est donc de fournir à l'Agence d'évaluation d'impacts du Québec (AÉIC)¹ des renseignements suffisamment détaillés pour qu'elle puisse poursuivre l'analyse des effets du projet Laurentia sur les conditions hydrodynamiques et le régime sédimentologique. En se basant à la fois sur les questions et les commentaires reçus de l'AÉIC (9 et 23 août 2019 ainsi que le 12 février 2020) ainsi que sur les précisions et les améliorations proposées au projet Laurentia (voir le livrable *Description des optimisations au projet Laurentia et effets anticipés*), ce document est structuré de manière à respecter les différentes étapes du processus d'évaluation environnementale pour une composante environnementale spécifique :

- ▶ Les activités réalisées depuis le dépôt du document de réponses aux questions;
- ▶ Les précisions à l'état de référence;
- ▶ L'évaluation des effets sur les conditions hydrodynamiques et le régime sédimentologique;
- ▶ L'évaluation des effets cumulatifs;
- ▶ La surveillance environnementale;
- ▶ Le suivi environnemental;
- ▶ La compensation (si requis).

Le document de réponses spécifique aux conditions hydrodynamiques et au régime sédimentologique s'inscrit donc dans la continuité du processus en cours d'évaluation environnementale par l'AÉIC ainsi que des efforts de l'APQ et de ses partenaires pour proposer un projet intégré qui tient compte de l'évolution des connaissances et des préoccupations recueillies auprès des différentes parties prenantes rencontrées depuis avril 2018.

Enfin, un tableau est, lorsque requis, inséré au début de chacune des sections par souci de clarté et pour faciliter le repérage des réponses formulées.

¹ Anciennement nommée l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACÉE).

5.2 ACTIVITÉS RÉALISÉES DEPUIS LE DÉPÔT DU DOCUMENT DE RÉPONSES AUX QUESTIONS

Depuis le dépôt à l'AEIC du document de réponses aux questions le 30 avril 2018, certaines activités spécifiques aux conditions hydrodynamiques et au régime sédimentologique ont été réalisées dans le contexte du projet Laurentia. Il s'agit :

- ▶ de nouveaux relevés hydrométriques effectués par Englobe en juin 2019;
- ▶ d'un rapport sur les conditions hydrodynamiques et le régime sédimentologique préparé par Lasalle | NHC (2020a) (annexe A). Ce rapport présente notamment les résultats d'une nouvelle version du modèle hydrodynamique et un complément d'information concernant les effets du projet sur la plage de la baie de Beauport.
- ▶ de nouvelles modélisations du panache de l'émissaire de la Ville de Québec, dont le point de rejet au fleuve sera déplacé dans le cadre du projet Laurentia (Lasalle | NHC 2020b) (annexe B). Ces nouvelles modélisations ont été réalisées à partir de la nouvelle version du modèle hydrodynamique

Les objectifs de ces activités complémentaires étaient respectivement les suivants :

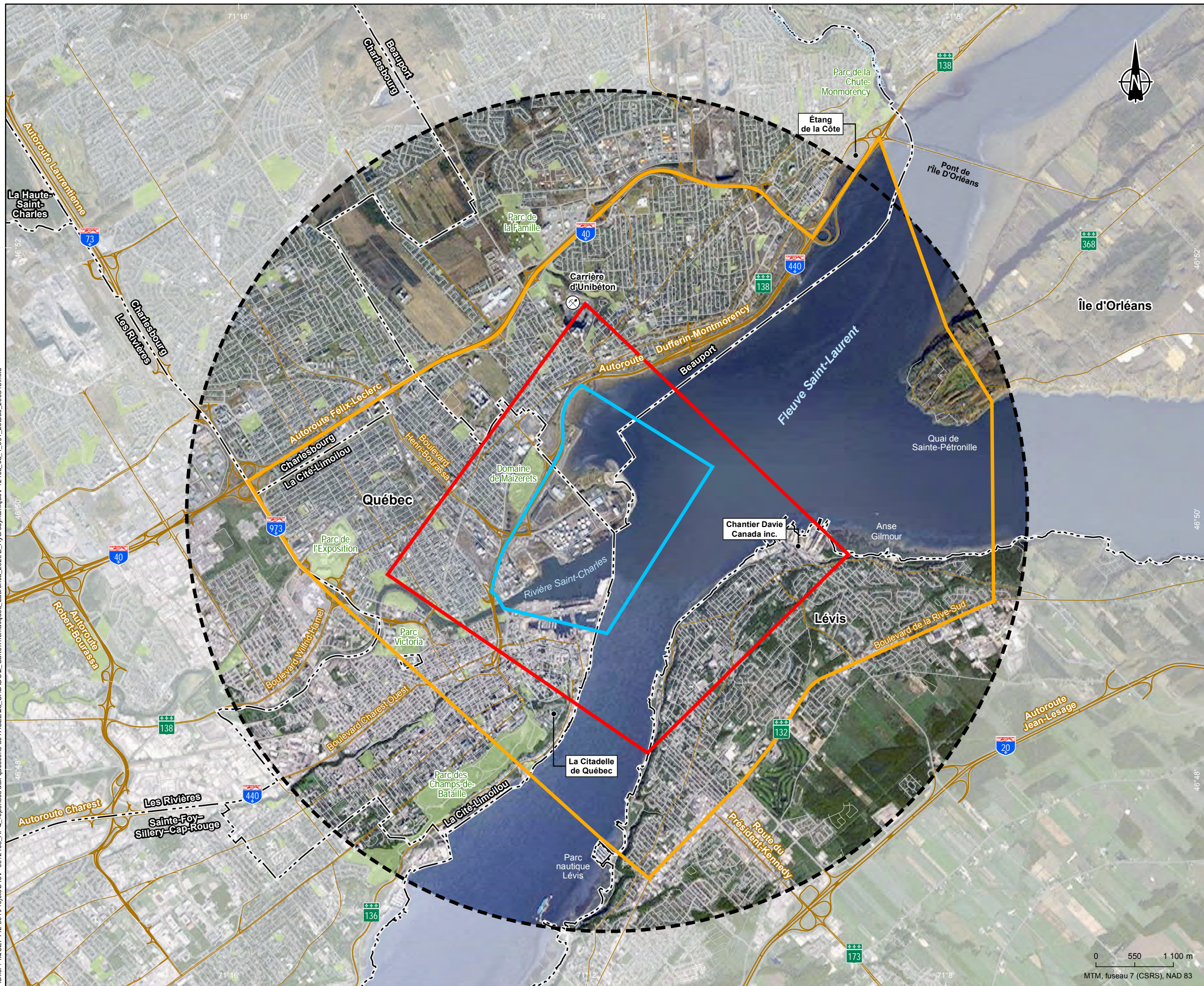
- ▶ préciser les conditions de courant dans différentes conditions de marée dans la zone d'extension portuaire, aux fins de la caractérisation de l'habitat et aux fins du modèle hydrodynamique élaboré par Lasalle | NHC;
- ▶ répondre aux questions et commentaires déposés par l'Agence d'évaluation d'impact du Canada (AEIC) dans sa seconde série transmise en deux parties les 9 et 23 août 2019, aux questions concernant le volet hydrosédimentaire transmises le 5 mars 2020 et aux questions concernant les effets du projet sur le panache de l'émissaire et sur la hauteur des vagues, transmises le 28 avril 2020.

5.3 ZONE D'ÉTUDE

Les cinq zones d'étude définies pour évaluer les effets du projet Beauport 2020 (zone de chantier, zone d'étude, zone d'étude élargie, zone du bassin atmosphérique et zone des limites administratives de l'APQ) sont toujours applicables au projet Laurentia. Parmi ces zones d'étude, celle qui a été retenue pour les conditions hydrodynamiques et le régime sédimentologique est la zone d'étude élargie (carte 5-1).

Rappelons que les limites de la zone d'étude élargie ont été retenues pour permettre l'évaluation des effets du projet Beauport 2020 sur plusieurs CVE des milieux physique et humain dont la portée spatiale peut se faire ressentir à une plus grande distance du site des travaux, ce qui comprend les conditions hydrodynamiques et le régime sédimentologique. Cette zone est délimitée au nord par l'autoroute 40, alors qu'à l'ouest, elle suit l'axe de l'autoroute 73 et traverse le fleuve pour rejoindre la route 132, à Lévis. Cette dernière définit la limite sud de la zone d'étude élargie jusqu'à la hauteur du chantier naval Davie. Quant à la limite est, elle débute à la route 132 pour rejoindre l'embouchure de la rivière Montmorency, sur la rive nord, en incluant la pointe de l'île d'Orléans. Elle comprend donc les secteurs habités de Québec (quartiers Limoilou, Maizerets, Saint-Jean-Baptiste, Beauport), de Lévis et de l'île d'Orléans (Sainte-Pétronille) susceptibles d'être touchés, le Vieux-Québec et son secteur touristique ainsi qu'une plus vaste section du fleuve Saint-Laurent allant de l'embouchure de la rivière Montmorency au parc nautique Lévy.

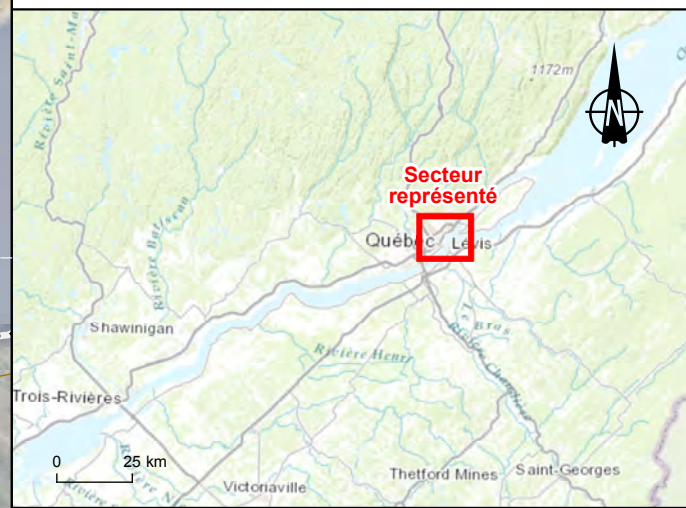
Fichier : I:\QUÉBEC\FIL-001\Projets\046P-0012495_APO_reponses aux questions de l'ACEE\5_CAD\GOL_CarrotThematiques_Laurentia_2020\5_Hydrodynamique\12495_cs_1_001_zetude_200318.mxd



- Zones**
- Zone d'étude
 - Zone d'étude élargie
 - Zone de chantier
 - Zone de bassin atmosphérique

- Infrastructures**
- Autoroute
 - Route nationale et régionale
 - Route locale

- Limites**
- Arrondissement
 - Parc



Administration portuaire de Québec
 Aménagement d'un quai en eau profonde — Projet Laurentia
 Document de réponses à la 2^e série de questions —
 Conditions hydrodynamiques et régime sédimentologique

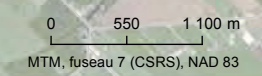
Carte 5-1
Zones d'étude

Sources :
 Base : ESRI, DigitalGlobe, Imagery, juillet 2016
 Adresse Québec, 2012
 Cartographie : Englobe

Mars 2020



Chargé de projet : P. Charest-Gélinas						Date : 2020-06-25	
Préparé : S. Chouinard			Dessiné : J. Poulin			Vérifié : G. Dubuc	
Serv. Maître	Projet	Otp	Disc.	Type	N° dessin	Rév.	
46	P-0012495	0 01	006	EN D	0105.1	00	



5.4 PRÉCISIONS SUR L'ÉTAT DE RÉFÉRENCE

L'état de référence relatif aux conditions hydrologiques et au régime sédimentologique présenté dans le document de réponses aux questions et aux commentaires de l'AEIC déposé le 30 avril 2018 est toujours valable. À la suite de nouveaux relevés hydrométriques réalisés en juin 2019 et d'une nouvelle version du modèle hydrodynamique (Lasalle | NHC, 2020), quelques précisions sont nécessaires pour bonifier l'état actuel des connaissances. Ces précisions sont résumées ci-après, ce qui permet d'éviter de reproduire l'état de référence dans sa totalité.

5.4.1 Méthodologie

5.4.1.1 Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)

L'état de référence des conditions hydrodynamiques a été établi à l'aide de mesures hydrométriques existantes, de nouvelles mesures réalisées dans le cadre du projet ainsi que d'un modèle hydrodynamique élaboré par Lasalle | NHC.

En juin 2019, Englobe a réalisé de nouveaux relevés de vitesses de courant à proximité de la zone projetée d'extension portuaire. Ces relevés ont été réalisés à l'aide d'un courantomètre à effet Doppler (ADCP) les 5 et 6 juin 2019 ainsi que les 26 et 27 juin 2019, en conditions de marée de vive-eau et de morte-eau, respectivement. Les relevés ont été réalisés le long de cinq transects perpendiculaires au rivage dans la zone prévue de l'extension portuaire (carte 5-2).



Depuis 1999, Lasalle | NHC a élaboré et raffiné progressivement un modèle hydrodynamique 2D couvrant le secteur du port de Québec (Lasalle | NHC, 2018a et 2018b). Les mises à jour présentées dans ce document reposent sur la révision du modèle effectuée en 2020, à la suite de commentaires formulés par l'AEIC. Les principales modifications apportées au modèle sont les suivantes :

- ▶ la limite aval du modèle en rive nord, auparavant à la station Montmorency, a été déplacée vers l'aval, à la station Sainte-Anne-de-Beaupré (afin d'éviter les incertitudes liées à la référence altimétrique de la station Montmorency et d'éloigner la limite aval de la zone d'étude);
- ▶ l'ensemble du modèle, incluant la bathymétrie et les niveaux de marée imposés à ses limites, est rattaché au niveau moyen de la mer plutôt qu'au zéro des cartes;
- ▶ les modifications apportées au projet lors de son optimisation en 2019 (Englobe, 2020) ont été prises en compte. En ce qui concerne l'hydrodynamique, les modifications d'intérêt sont la diminution de la longueur de la ligne de quai, la présence d'un remblai en enrochement dans le prolongement du quai et la diminution de 43 % de la superficie de la zone de dragage.











En réponse à une demande de l'ACEE, les simulations ont été mises à jour afin de préciser les conditions hydrodynamiques en présence de débits élevés dans la rivière Saint-Charles. Ces simulations ont été réalisées pour un débit élevé à l'embouchure (100 m³/s), qui, lorsque transposé à la station hydrométrique 02PD010 située plus en amont, équivaut à la gamme supérieure des débits de crue observés entre 1969 et 2001.

Des précisions supplémentaires concernant le modèle hydrodynamique sont disponibles dans le rapport complet de Lasalle | NHC (2020a) (annexe A).



Composantes de projet

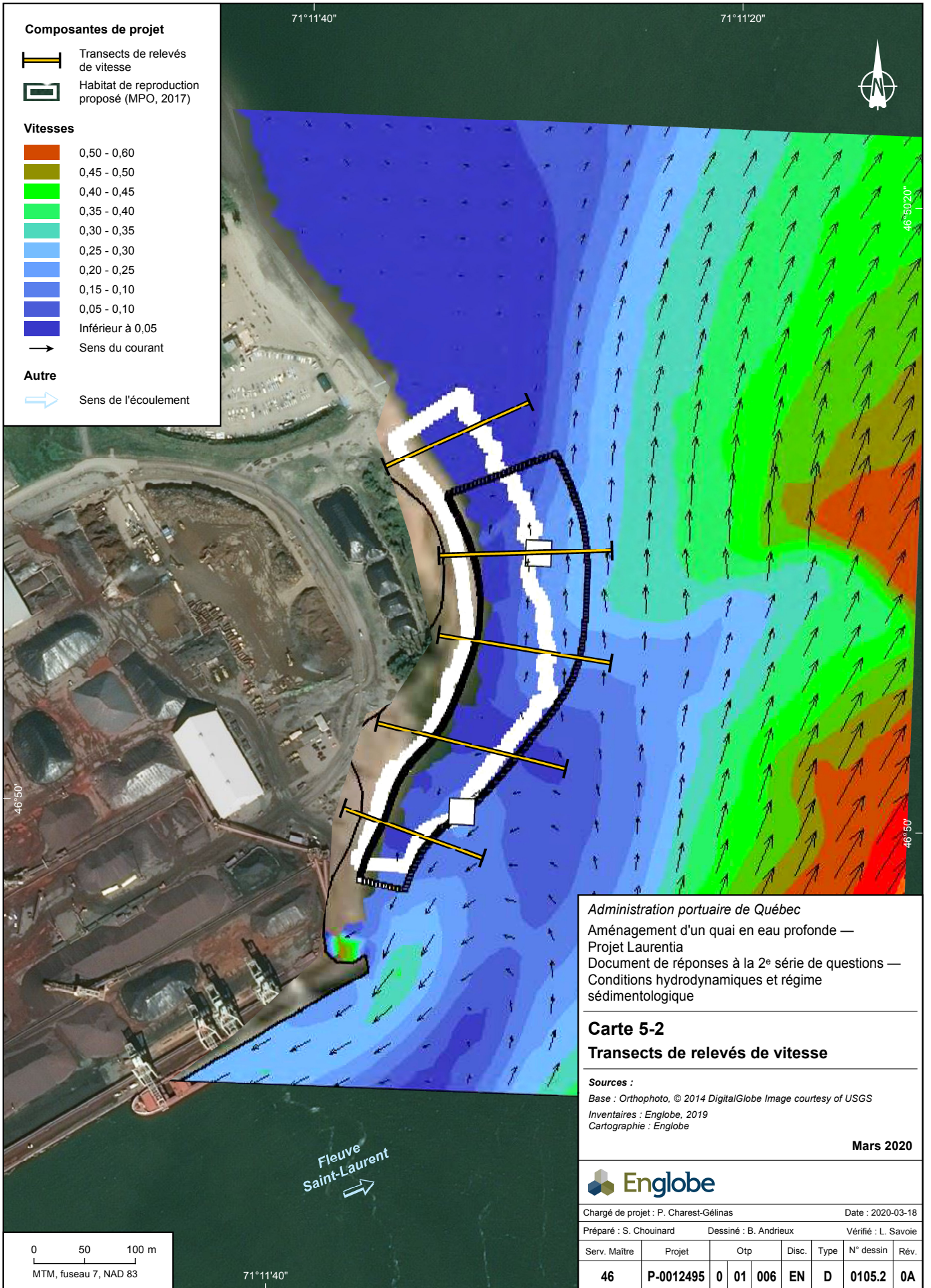
-  Transects de relevés de vitesse
-  Habitat de reproduction proposé (MPO, 2017)

Vitesses

-  0,50 - 0,60
-  0,45 - 0,50
-  0,40 - 0,45
-  0,35 - 0,40
-  0,30 - 0,35
-  0,25 - 0,30
-  0,20 - 0,25
-  0,15 - 0,10
-  0,05 - 0,10
-  Inférieur à 0,05

Autre

-  Sens du courant
-  Sens de l'écoulement



Administration portuaire de Québec
 Aménagement d'un quai en eau profonde —
 Projet Laurentia
 Document de réponses à la 2^e série de questions —
 Conditions hydrodynamiques et régime
 sédimentologique

Carte 5-2
Transects de relevés de vitesse

Sources :
 Base : Orthophoto, © 2014 DigitalGlobe Image courtesy of USGS
 Inventaires : Englobe, 2019
 Cartographie : Englobe

Mars 2020



Chargé de projet : P. Charest-Gélinas Date : 2020-03-18

Préparé : S. Chouinard Dessiné : B. Andrieux Vérifié : L. Savoie

Serv. Maître	Projet	Otp	Disc.	Type	N° dessin	Rév.
46	P-0012495	0 01 006	EN	D	0105.2	0A

Fichier : \\ique7-rl-001\Projets\046\F-0012495_APO_reponses aux questions de \ACEE\5_CAD\GO2_Carto\Thematiques_Laurentia_2020\5_Hydrodynamique\P12495_c6_2_002_vit_transects_200318.mxd

5.4.1.2 Régime sédimentologique (érosion et transport)

N° DE LA QUESTION	QUESTION	RÉPONSE
ACÉE 9a	Démontrer qu'il s'agit bien du jeu de données de 2009 et non de 2013 qui montre un décalage des données altimétriques et évaluer les effets de l'erreur de décalage observés sur un des jeux de données de bathymétrie sur le calcul du taux de recul de la plage.	Section 5.4.1.2
ACÉE 9b	Décrire la méthodologie de la modélisation hydrosédimentaire, notamment expliquer comment l'ensemble de la durée des tempêtes (non stationnaire) sert d'entrant en niveau d'eau et vagues au modèle filaire de transport sédimentaire.	Section 5.4.1.2
ACÉE 9c	Justifier l'absence des courants de marée dans la modélisation hydrosédimentaire, sinon les inclure dans la modélisation.	Section 5.4.1.2

L'étude du régime sédimentologique est fondée sur :

- ▶ la comparaison de photographies aériennes prises entre 1987 et 2017 (figure 5-1) et d'observations réalisées sur le site, dans le but de décrire l'évolution morphologique de la plage de la Baie de Beauport ;
- ▶ la comparaison des relevés bathymétriques réalisés en 2009, 2013 et 2017.

Le régime sédimentologique a de plus fait l'objet d'une modélisation numérique afin de prédire l'évolution de la plage. La méthode utilisée en 2018 n'a pas été modifiée. La dynamique sédimentaire de la plage est avant tout dictée par l'action des vagues et non par les courants de marée. En effet, le transport solide ayant un impact sur le bilan sédimentaire de la plage, et donc sur la tendance au recul, a essentiellement lieu dans la zone active du profil de plage qui n'est que marginalement soumise aux courants de marée (Lasalle | NHC, 2020a). Les calculs indiquent que 75 % du transport se produit au-dessus de l'élévation 1,4 m (zéro des cartes, Zc) ou -0,58 m (niveau moyen de la mer, NMM), dans une zone de courants de marée de très faible vitesse, et que la totalité du transport sédimentaire se produit au-dessus de l'élévation -0,2 m (Zc) ou -2,18 m (NMM). Les simulations des courants de marée (avec le modèle de 2016 de même que le modèle révisé en 2020) montrent que des courants de marée significatifs ne sont observés à cette profondeur que pendant une courte période du flot. Par ailleurs, les observations de l'évolution morphologique à long terme de la plage actuelle (érosion et recul graduel de la plage, avec formation résultante de la flèche sableuse) montrent une grande similarité avec la trajectoire des courants littoraux à cause des vagues, mais aucune avec les courants de marée simulés dans cette zone.

La révision du modèle hydrodynamique et le référencement altimétrique par rapport au niveau moyen de la mer (au lieu du zéro des cartes) n'ont donc aucun impact sur les résultats déjà présentés pour la modélisation hydrosédimentaire de l'évolution de la plage.

L'AEIC a cependant demandé des précisions à ce sujet. À cette fin, l'approche méthodologique de la modélisation hydrosédimentaire est représentée de manière schématique à la figure 5-2 (Lasalle | NHC, 2020a).

Pour simuler l'évolution à long terme de la plage, en conditions actuelles et pour l'aménagement futur, cette dernière est soumise à la séquence des vagues de tempête 2000-2016, les épisodes de tempête étant définis comme suit :

- ▶ une vitesse minimale de 30 km/h pendant au moins 12 heures consécutives avec au moins 3 heures de vents supérieurs à 50 km/h ou ;
- ▶ une vitesse minimale de 30 km/h pendant au moins 6 heures consécutives avec au moins 1 heure de vents supérieurs à 60 km/h.



a) Photo aérienne : Septembre 1987



b) Photo satellite : Avril 2007



c) Photo satellite : Août 2017

Fichier : P0012495_f7_72_122_C_Photos_aeri_180428.ai

Figure 5-1 Images aériennes et satellitaires de la pointe de Beauport, 1987 à 2017

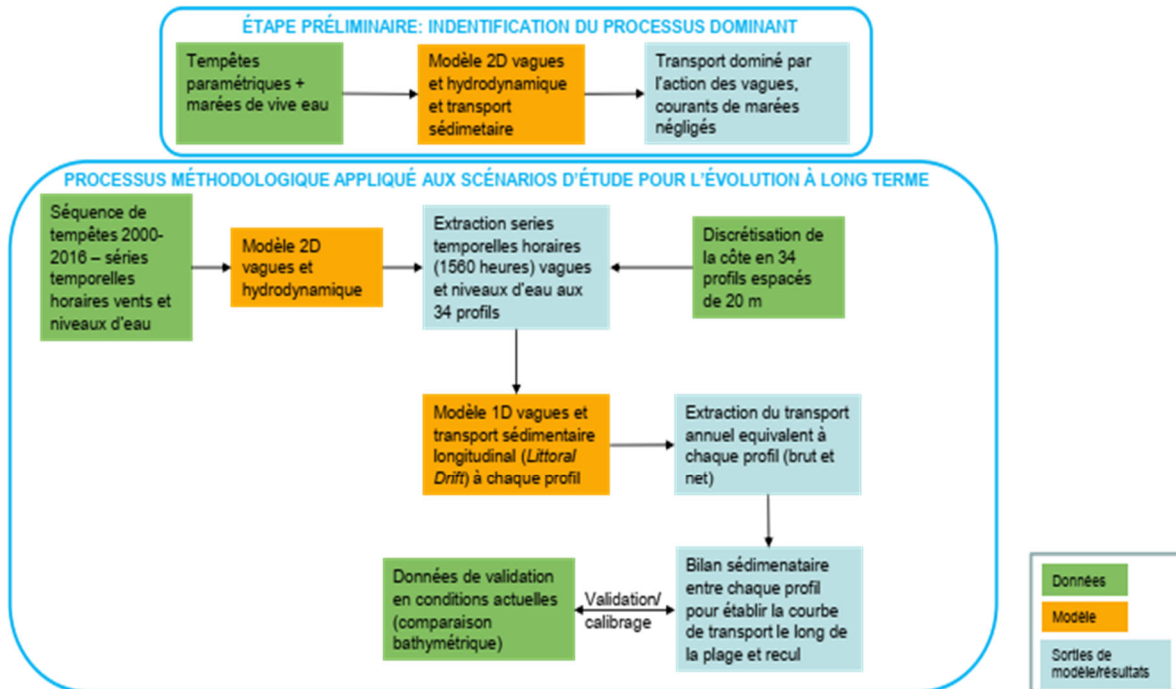


Figure 5-2 Approche méthodologique utilisée pour la modélisation hydrosédimentaire de la plage de la Baie de Beauport (Lasalle | NHC, 2020a)

Le module de vagues SW (Spectral Waves) de Mike 21 permet d'abord de calculer la hauteur et la direction des vagues dans l'ensemble de la zone à l'étude, sur la base des vents enregistrés à la station météo Beauport. La simulation tient compte du niveau d'eau variable fourni par le modèle hydrodynamique, et ce dernier permet en retour de calculer les courants littoraux générés par les contraintes de radiation associées aux vagues.

En utilisant les résultats des modèles 2D (niveau d'eau, hauteur et direction des vagues), l'évolution à long terme de la plage est prédite à l'aide d'un modèle filaire (Litpack) établissant le bilan sédimentaire à une trentaine de sections en travers situées le long de la plage (figure 5-3). Il en résulte un bilan du recul ou de l'avancée de la plage pendant la période considérée.



Figure 5-3 Sections en travers utilisées dans le modèle filaire (Lasalle | NHC, 2020)

N° DE LA QUESTION	QUESTION	RÉPONSE
ACÉE 9d	Est-ce que le décalage soupçonné s'applique à tout le jeu de donnée 2009 ou seulement à une partie (la batture)?	Section 5.4.1.2
ACÉE 9e	Est-ce qu'une seule technologie de mesurage a été utilisée pour une année donnée?	Section 5.4.1.2
ACÉE 9f	Est-ce que la bathymétrie de 2009 a été corrigée de 20 cm avant d'établir le recul des lignes de côte?	Section 5.4.1.2
ACÉE 9g	Quel serait l'impact de cette correction sur le calcul du taux de recul de la plage?	Section 5.4.1.2

Sur le plan méthodologique, la comparaison des relevés réalisés en 2009 et en 2013 a d'abord indiqué qu'une accrétion (sédimentation de l'ordre de 20 cm) était survenue durant cette période. Une telle accrétion était considérée douteuse par Lasalle | NHC, car elle n'était pas compatible avec l'érosion constatée au niveau de la pointe et avec les données et informations antérieures. Lasalle | NHC a alors conclu à un problème de calage des relevés de 2009. L'AÉIC a remis en question cette conclusion et a proposé que l'erreur de calage concernait plutôt les relevés de 2013. L'Agence a transmis le 5 mars 2020 une série de questions relatives au problème de calage.

Les renseignements disponibles sur les relevés de 2009 ne permettent pas d'établir si le décalage s'applique à une partie seulement ou à l'ensemble du jeu de données. Ces relevés ont donc été rehaussés de 20 cm sur toute leur longueur pour en évaluer la cohérence. De la même façon, les relevés de 2013 ont été abaissés de 20 cm afin de mieux cerner le jeu de données présentant une erreur de calage. Lasalle | NHC a conclu que le rehaussement des données de 2009 permettait d'obtenir des

résultats cohérents, ce qui n'était pas le cas lorsqu'une correction était appliquée aux relevés de 2013. Ces vérifications tendent donc à confirmer que le décalage de 20 cm observé sur la batture entre les relevés de 2009 et 2013 serait dû à une imprécision des relevés de 2009.

Le tableau 5-1 précise les technologies utilisées pour les différents relevés.

Tableau 5-1 Caractéristiques des relevés de 2009, 2013 et 2017

ANNÉE	DATE DES RELEVÉS	RELEVÉS EFFECTUÉS PAR	INSTRUMENTS
2009	Entre le 11 juin et le 3 septembre 2009	Entreprises Normand Juneau	Échosondeur monofaisceau Odom Hydrotrac pour la bathymétrie et relevés DGPS (ou RTK) pour la portion terrestre
2013	9 au 12 juillet 2013	Service hydrographique du Canada	Échosondeur multifaisceau Kongsberg EM-3002
2017	10 au 12 juillet 2017	WSP	Information non disponible (données x, y, z fournies directement par l'APQ)

Tiré de Lasalle | NHC, 2020a

À noter qu'aucune correction n'avait été apportée aux relevés dans l'évaluation présentée précédemment, ce qui pourrait avoir sous-estimé le recul de la berge survenu entre 2009 et 2017. En appliquant la correction de 20 cm au relevé de 2009, le recul annuel moyen de la plage augmente d'environ 0,25 m au droit de la future plage de la Baie de Beauport (Lasalle | NHC, 2020a). Cet écart demeure faible par rapport aux reculs de plage observés sur le site et simulés par modélisation, qui atteignent de 1,00 à 2,00 m à la plupart des sections considérées dans l'analyse.

5.4.1.3 Panache de l'émissaire de surverse de la Ville de Québec

Le projet Laurentia nécessitera de prolonger l'émissaire de surverse de la Ville de Québec, comme illustré à la figure 5-4. De nouvelles modélisations ont été réalisées en mai 2020 afin d'évaluer l'effet de ce prolongement sur la dispersion du panache (Lasalle | NHC, 2020b) (annexe B). Ces modélisations tiennent compte de la configuration de l'extension portuaire projetée et de la nouvelle version du modèle hydrodynamique élaborée en 2020.

Les modélisations ont été réalisées notamment pour permettre d'évaluer l'effet potentiel du prolongement de l'émissaire sur les prises d'eau potable situées plus en amont, de même que dans les secteurs de l'estuaire de la rivière Saint-Charles et de la plage de la Baie de Beauport. Les prises d'eau de Lévis et de Saint-Romuald se situent respectivement à 3 et 10 km à l'amont de l'extension portuaire (figure 5-5), du côté sud du fleuve. Une troisième prise d'eau, de la Ville de Québec, est située à 18 km en amont du site, du côté nord du fleuve.

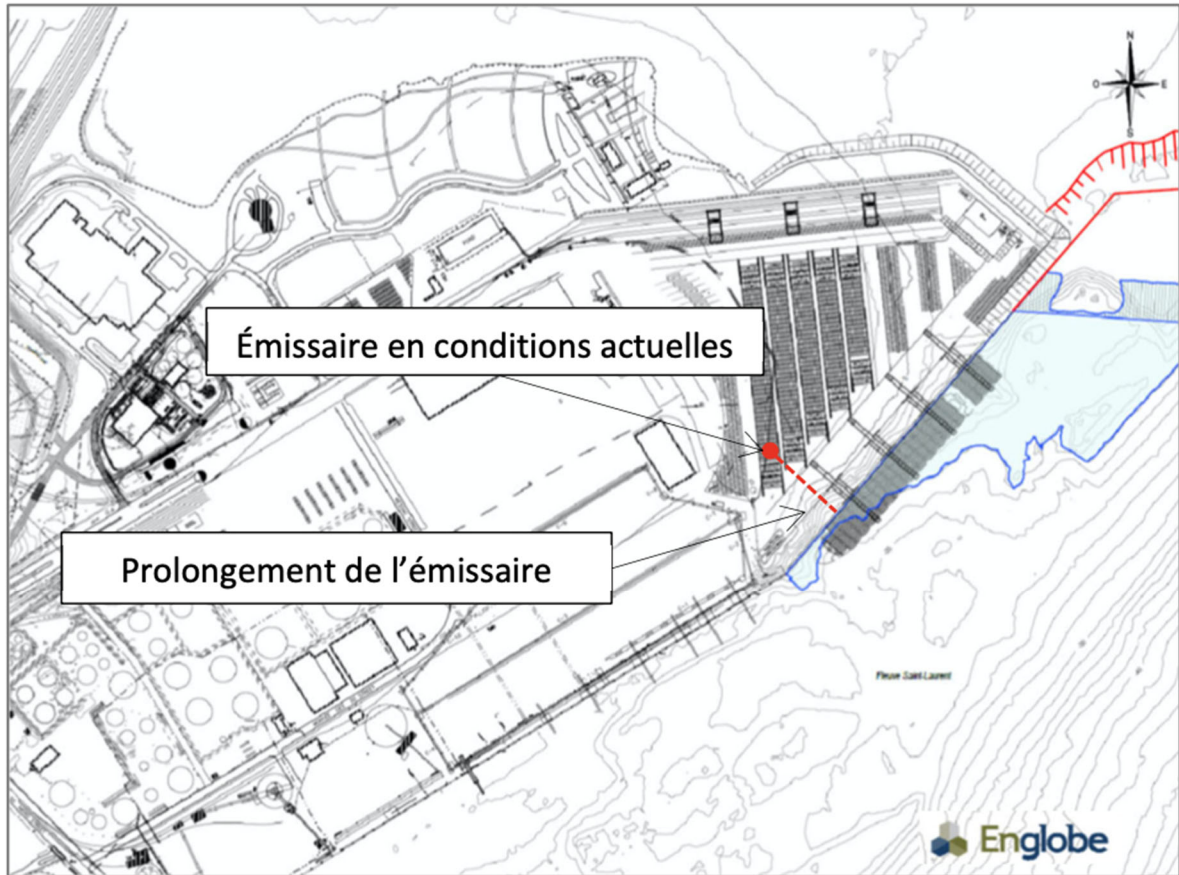


Figure 5-4 Prolongement de l'émissaire à la suite de la construction du nouveau quai

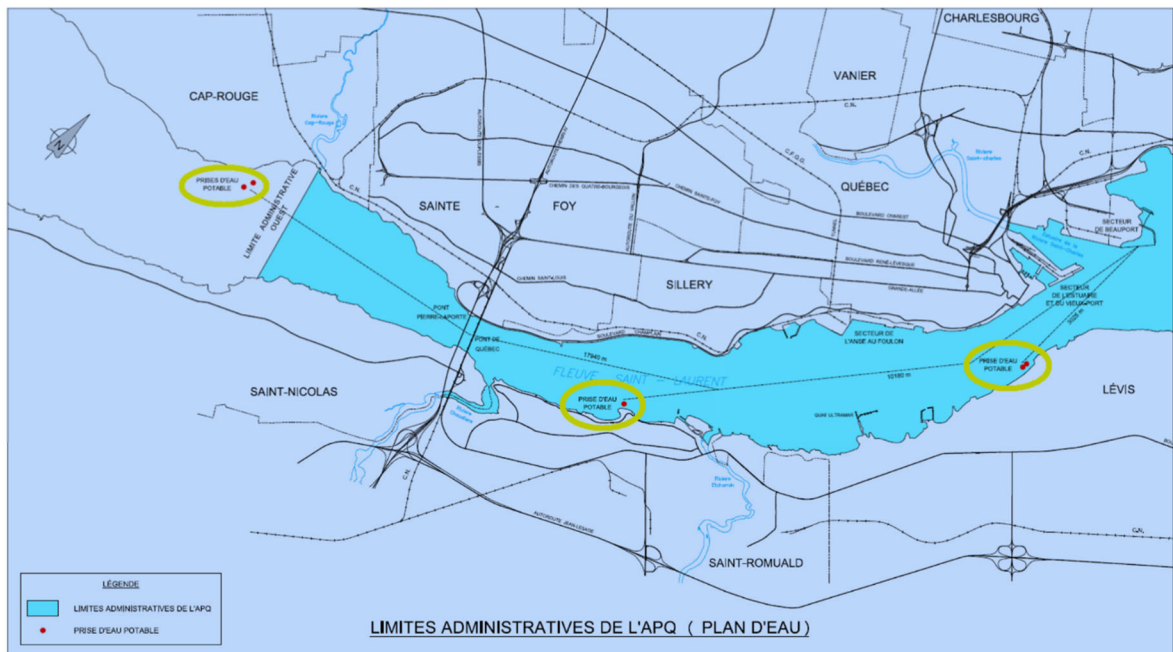


Figure 5-5 Localisation des prises d'eau de Lévis et de Québec

À partir des informations relatives à la conception de la station Est de traitement des eaux usées de la Ville de Québec², la surverse a été simulée à l'aide d'un débit constant de 4 m³/s imposé pendant 6 heures (avec une vitesse de 1 m/s à l'exutoire). Cette hypothèse est pessimiste, car elle correspond au débit journalier total de conception de la station Est en conditions de temps sec. Il importe de souligner à cet égard que le but des simulations n'est pas de reconstituer un événement en particulier, mais bien d'utiliser un scénario de surverse commun pour comparer la dispersion de l'effluent obtenue dans les conditions d'aménagement actuelles et futures afin de comprendre l'effet potentiel du projet Laurentia sur cette composante.

Afin de couvrir la gamme complète des conditions de marée, les simulations de la dispersion qui sont présentées ont été réalisées en conditions de marées de vive-eau et de morte-eau, permettant ainsi d'illustrer les moments critiques d'un cycle complet de marée et d'interpréter les autres phases intermédiaires :

- ▶ Marée de vive-eau du 5 juin 2019;
- ▶ Marée de morte-eau du 26 juin 2019.

La surverse a été initiée au début du flot (courant de marée montante), en supposant que ces conditions conduisaient au potentiel de contamination le plus élevé des prises d'eau potable situées plus en amont³:

- ▶ En vive-eau, le rejet s'effectue le 5 juin 2019 de 3 h 00 à 9 h 00 (UTC);
- ▶ En morte-eau, le rejet s'effectue le 26 juin 2019 de 8 h 00 à 14 h 00 (UTC).

La concentration de traceur à la sortie de l'émissaire est arbitrairement fixée à 1 000 000 de ppm. La formulation bidimensionnelle du modèle numérique implique que l'effluent se disperse rapidement sur toute la colonne d'eau dès sa sortie de l'émissaire. Le modèle suppose également que le panache d'effluent est conservatif, c'est-à-dire qu'il ne se dégrade pas dans le milieu récepteur, sa concentration n'étant liée qu'à la dispersion et à la dilution qui en résultent.

Les résultats, présentés à la section 5.5.2, indiquent les concentrations maximales atteintes en tout point de la zone d'intérêt lors de la dispersion du panache d'effluent, et ce, pendant les six heures de surverse et les trois cycles de marée subséquents. Les panaches illustrés sur les figures ne correspondent donc pas à un instant donné, mais plutôt à une intégration des valeurs maximales de concentration obtenues lors des simulations.

² Communauté urbaine de Québec. 1999. Description des ouvrages d'assainissement de la Communauté urbaine de Québec.

³ Note : des simulations supplémentaires, impliquant une surverse se produisant à d'autres moments de la marée, ont indiqué que les conclusions du présent rapport quant à l'impact du projet demeuraient valables pour l'ensemble du cycle de marée (annexe B).

5.4.2 État de référence

5.4.2.1 Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)

N° DE LA QUESTION	QUESTION	RÉPONSE
ACÉE 7a	Fournir une analyse comparative entre les différentes versions des modèles des débits simulés pour une section du fleuve ainsi que pour les bras nord et sud de l'île d'Orléans afin d'en vérifier la cohérence. Justifier qu'un tel débit puisse passer par le bras nord du fleuve et confirmer la présence ou l'absence d'une inversion de courant.	Section 5.4.1.2
ACÉE 7b	Réévaluer, le cas échéant, les débits utilisés comme conditions aux limites afin qu'ils soient plus représentatifs de la réalité et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.	Section 5.4.1.2
ACÉE 8a	Expliquer les impacts de l'utilisation du Zéro des cartes (Zc) sur les résultats de la modélisation des conditions hydrodynamiques locales dans la baie de Beauport et dans le port compte tenu du biais apporté par son utilisation.	Section 5.4.2.1
ACÉE 8b	Démontrer que l'utilisation des conditions aux limites basées sur le Niveau moyen de la mer (valeurs de niveaux aux stations corrigées en fonction du Niveau moyen de la mer) n'apporte pas d'améliorations significatives aux résultats hydrodynamiques, notamment celles d'assurer la présence d'une inversion de courant dans le bras nord du fleuve et un rapprochement des écarts entre les vitesses mesurées et simulées.	Section 5.4.2.1
ACÉE 8c	Refaire, le cas échéant, la modélisation en utilisant le niveau moyen de la mer comme référence verticale afin de bien capter les conditions hydrodynamiques mesurées ou observées dont le phénomène d'inversion de courant dans le bras nord et les gyres dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.	Section 5.4.2.1

Le modèle précédent, référencé au zéro des cartes, permettait d'obtenir une bonne concordance entre les résultats de modélisation et les données de niveaux et de courants disponibles dans la zone d'étude, mais a été remplacé par le modèle révisé, référencé au niveau moyen de la mer.

Le modèle hydrodynamique révisé a permis d'améliorer dans certains cas la concordance entre les résultats de modélisation et les mesures. Les résultats du modèle précédent restent néanmoins semblables dans bien des cas si bien que le nouveau modèle n'apporte pas une lecture très différente des conditions hydrodynamiques dans la zone d'étude. Pour cette raison, aucune analyse comparative entre les différentes versions des modèles des débits simulés n'a été effectuée.

En ce qui concerne les niveaux d'eau, la concordance entre les valeurs mesurées à la station Vieux-Québec du Service hydrographique du Canada et celles prédites par le modèle révisé est très satisfaisante. La corrélation entre les valeurs mesurées et prédites, évaluée pour quatre conditions de marée différentes, est supérieure à 0,98 (une corrélation de 1,00 correspondant à une association parfaite). Les nouveaux résultats de Lasalle | NHC (2020a) permettent d'apprécier visuellement la correspondance entre les deux séries de valeurs (annexe A).

Comparativement au modèle précédent, le modèle révisé présente des avantages en ce qui concerne la direction des courants dans le bras nord de l'île d'Orléans et la concordance avec les mesures de vitesse de courant réalisées par Englobe à proximité des installations portuaires.

L'inversion de la direction des courants dans le bras nord de l'île d'Orléans lors des changements de marée est bien représentée par le modèle révisé, ce qui n'était pas le cas avec le modèle précédent. La figure 5-6 illustre cette inversion lors d'un cycle de marée (valeurs de débit passant du positif au négatif).

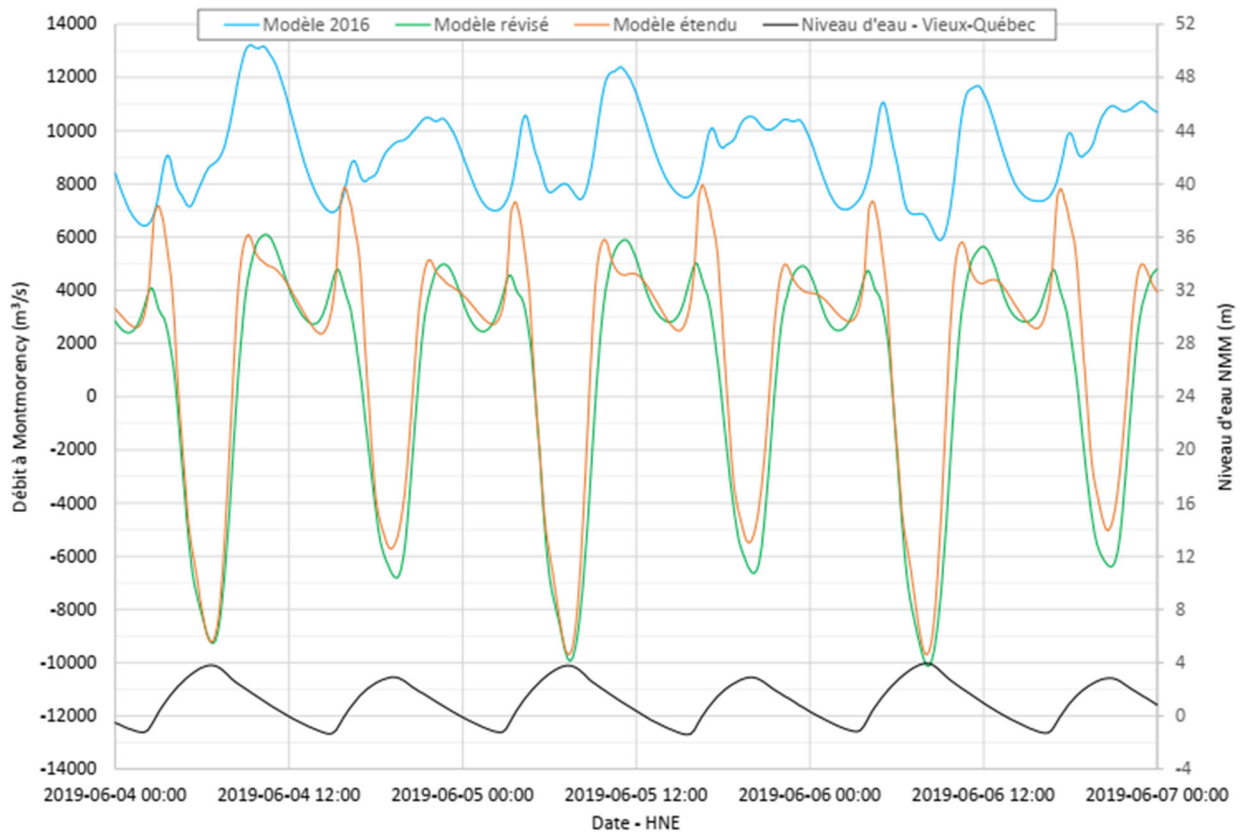


Figure 5-6 Débit de marée dans le bras nord de l'île d'Orléans (Montmorency) — 4 - 7 juin 2019 (Lasalle | NHC, 2020a)

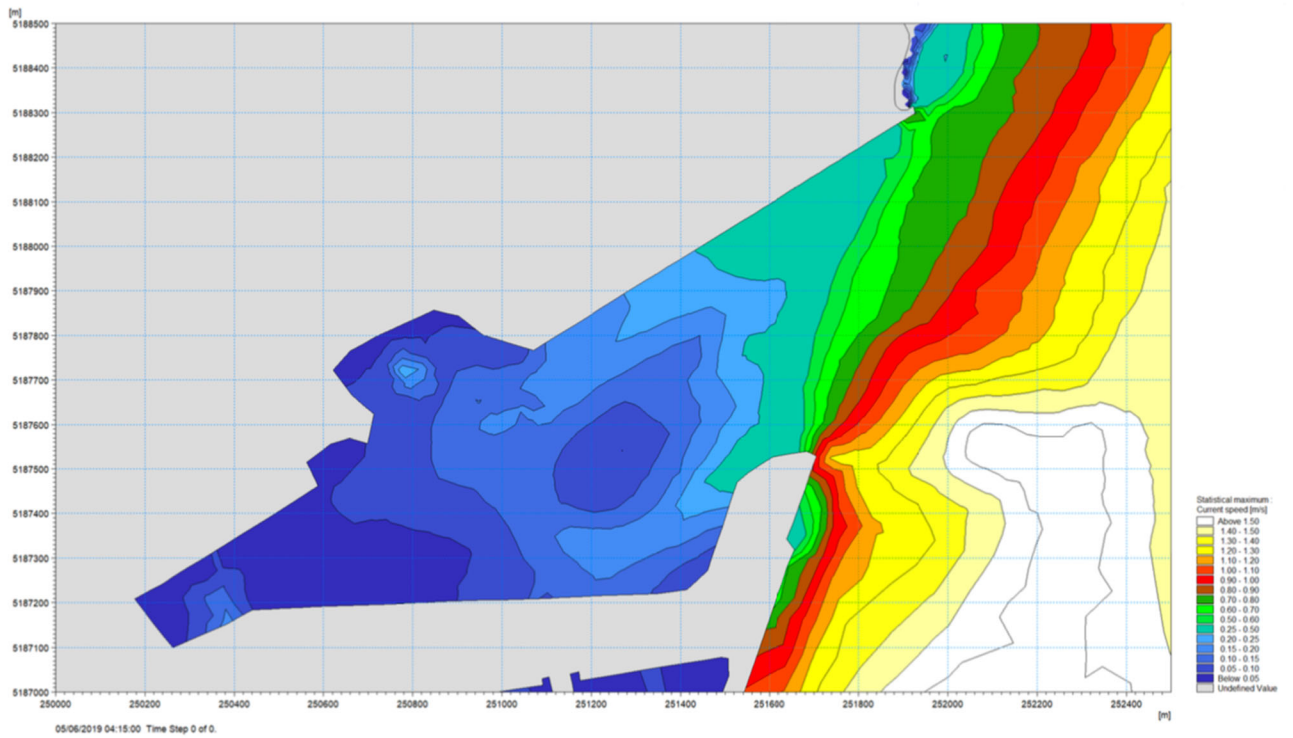
Par ailleurs, Lasalle | NHC (2020a) note que le modèle révisé améliore sensiblement la concordance entre les vitesses de courant mesurées et prédites à proximité des installations portuaires. Des graphiques permettant d'apprécier cette concordance ont été élaborés par Lasalle | NHC (2020a) (annexe A).

Tous les modèles hydrodynamiques récemment élaborés par Lasalle | NHC pour ce secteur sont régis pour des niveaux d'eau aux limites et non par des débits. Les résultats présentés ne dépendent donc pas des valeurs de débits aux extrémités du modèle. Il n'a donc pas été nécessaire de réévaluer ces débits.

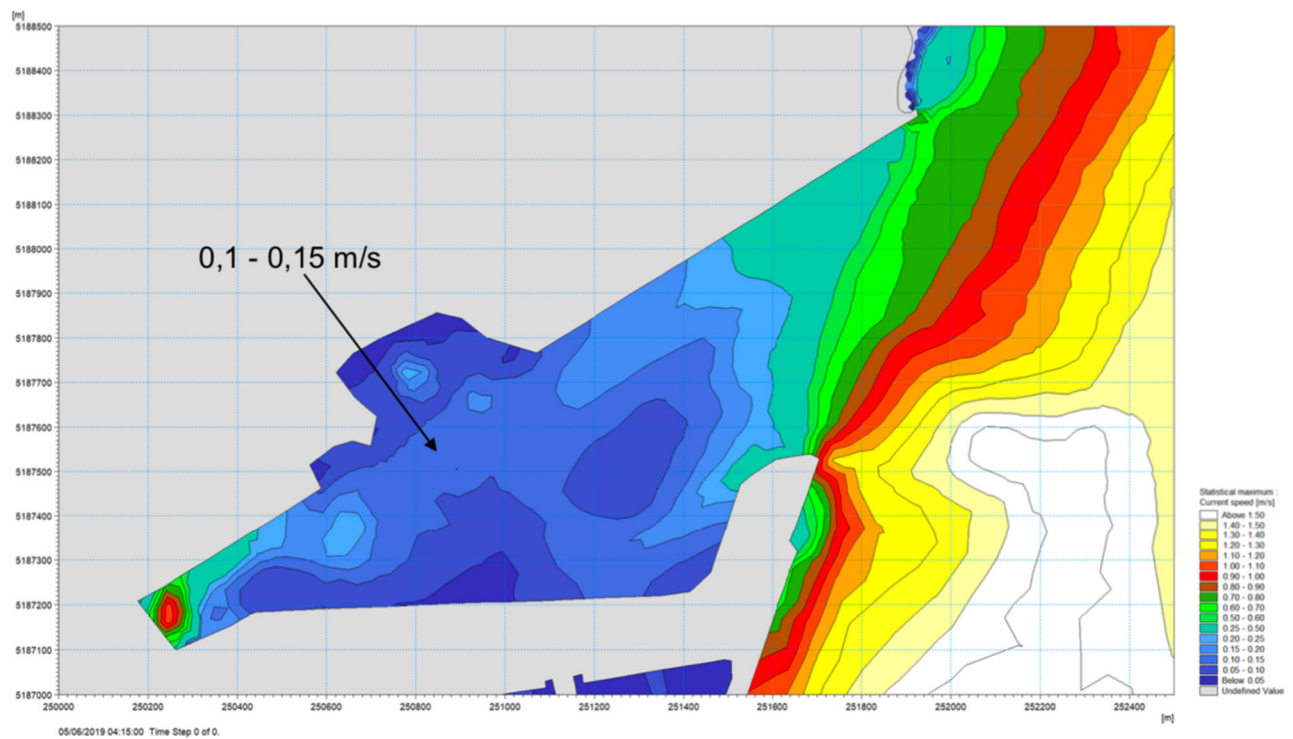
N° DE LA QUESTION	QUESTION	RÉPONSE
ACÉE 10a	Démontrer à l'aide d'une simulation qu'un apport en eau moyen ou élevé de la rivière Saint-Charles n'a aucun effet sur les courants et la déposition de sédiment supplémentaire plus en aval dans le port.	Section 5.4.2.1
ACÉE 10b	Évaluer, le cas échéant, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) causés par l'apport d'eau de la rivière Saint-Charles.	Section 5.4.2.1
ACÉE 10d	<p>La rivière Saint-Charles possède un bassin versant de 544 km². La station hydrométrique 02PD010 (Saint-Charles) en mesure 357 km². La partie non jaugée du bassin de la rivière Saint-Charles est de 187 km². En utilisant le rapport de bassin versant (0,656), un débit de 100 m³/s à l'embouchure (utilisé dans la modélisation) correspond à 66 m³/s à la station. Inversement, le débit maximum enregistré à la station de 93 m³/s (mentionné par le promoteur) correspond à un débit de 142 m³/s à l'embouchure. Les valeurs maximales annuelles à la station varient de 46 à 95 m³/s pour sa période d'activité. La moyenne des valeurs maximales annuelles est de 65 m³/s.</p> <p>ECCC considère que le choix du débit de 100 m³/s imposé à l'embouchure est valable pour les besoins de l'exercice, car il se trouve dans la gamme élevée des débits de la rivière même s'il ne correspond pas au débit maximum enregistré à la station comme le sous-entend le promoteur.</p> <p>ECCC est satisfait des explications et justifications du promoteur disant que l'impact du débit de la rivière sur les courants dans l'embouchure demeure faible.</p>	Section 5.4.2.1

De nouvelles modélisations réalisées pour le secteur de l'embouchure de la rivière Saint-Charles ont montré que le débit de la rivière influe peu sur la vitesse des courants. Pour un débit de 100 m³/s, qui représente la gamme supérieure des débits enregistrés, les vitesses dans l'estuaire demeurent relativement faibles et semblables à ceux résultant uniquement des courants de marée. Ce résultat révèle que la marée influe bien plus sur ces courants que le débit de la rivière (figure 5-7).

L'apport d'eau de la rivière Saint-Charles ne change pas les conclusions antérieures. Un changement important, tant pour la dynamique sédimentaire de l'embouchure que pour l'exploitation du port, pourrait survenir si le barrage Samson était un jour modifié pour permettre le transit des sédiments transportés par la rivière. Cet aspect n'est toutefois pas lié au projet à l'étude (Lasalle | NHC, 2020a).



a) Courants de marée seulement



b) Courants de marée et débit de 100 m³/s dans la Saint-Charles

Figure 5-7 Courants dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en tenant compte de la marée seulement (en haut) et avec ajout d'un débit de 100 m³/s dans la rivière Saint-Charles (Lasalle | NHC, 2020a)

5.4.2.2 Régime sédimentologique (érosion et transport)

N° DE LA QUESTION	QUESTION	RÉPONSE
ACÉE 11a	Expliquer les résultats des études de transport de sédiments en tenant compte du biais que peut avoir généré la validation inadéquate des simulations hydrodynamiques. Le cas échéant, refaire des simulations hydrodynamiques en fonction des commentaires en contexte et précédents (Modélisation – Débits et Utilisation du Zéro des cartes (Zc), entre autres).	Section 5.4.2.2
ACÉE 11b	Évaluer, dans l'éventualité d'une nouvelle modélisation, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) apportés par cette nouvelle modélisation hydrodynamique, notamment sur la dynamique du transport de sable du centre de la plage de Beauport vers la flèche de sable à l'entrant sud-ouest.	Section 5.4.2.2

Telle que décrite par Lasalle | NHC (2020a), la dynamique sédimentaire de la plage est avant tout dictée par l'action des vagues et non par les courants de marée. La révision du modèle hydrodynamique et le référencement altimétrique par rapport au niveau moyen de la mer (au lieu du zéro des cartes) n'ont donc aucun impact sur les résultats déjà présentés pour la modélisation hydrosédimentaire de l'évolution de la plage.

L'ACÉI a cependant demandé de quantifier la quantité de sable transportée vers la flèche située dans le rentrant sud-ouest, au nord de la plage sous l'action des courants. En conditions actuelles, l'érosion se produit sur un tronçon d'une longueur d'environ 400 m (sections 1 à 20 de la figure 5-3). Le taux de transport du sable le long de la plage en direction nord, vers la flèche de sable, est estimé à 2 500 m³/année (Lasalle | NHC, 2020a). Ceci équivaut à un gradient de transport d'environ 7 m³/m/année.

Par ailleurs, les corrections apportées au relevé de 2009 montrent que le taux de recul de la plage, en conditions actuelles, pourrait avoir été sous-estimé lors de l'évaluation réalisée en 2018. Le tableau 5-2 précise les taux de recul estimés en 2018 et ceux obtenus en appliquant un rehaussement de 20 cm au relevé de 2009.

Tableau 5-2 Recul moyen de la plage entre 2009 et 2017

CORRECTION AUX RELEVÉS DE 2009	PROFIL 1	PROFIL 2	PROFIL 3
Aucune = Étude de 2018	1,75 m	1,50 m	1,38 m
Rehaussement de 20 cm	2,00 m	1,88 m	1,63 m

L'emplacement des trois profils est représenté sur la figure 5-8. Avec la correction des relevés de 2009, le recul moyen annuel augmente d'environ 25 cm dans le secteur de la future plage (profil 1). Cet écart est toutefois clairement inférieur à la variabilité des reculs de plage observés sur le site et simulés par modélisation à l'ensemble des profils considérés dans l'analyse.



Figure 5-8 Emplacement des profils réévalués en 2020 pour établir le taux de recul de la plage de la Baie de Beauport

5.4.2.3 Panache de l'émissaire de surverse de la Ville de Québec

Pour faciliter les comparaisons entre les conditions actuelles et les conditions après l'aménagement, les figures illustrant le panache modélisé avant et après l'aménagement ont été regroupées plus loin dans le présent document à la section 5.5.2.1. Les figures 5-15 et 5-16 illustrent la concentration maximale d'effluent obtenue en conditions actuelles pour une marée de vive-eau et une marée de morte-eau respectivement, comparée à la concentration maximale d'effluent obtenue en conditions projetées. Dans les deux cas actuels, les concentrations les plus élevées sont observées dans le secteur de Beauport et le rentrant sud-ouest (Lasalle | NHC, 2020b). De plus, les concentrations maximales dans le bras nord de l'île d'Orléans sont plus élevées que dans le chenal principal.

En amont de l'estuaire de la rivière Saint-Charles à l'état de référence, l'effluent demeure plus concentré dans la moitié nord du fleuve. Les concentrations maximales atteintes aux prises d'eau potable de Lévis et de Saint-Romuald sont très faibles :

- ▶ En vive-eau (figure 5-15a), concentration maximale de moins de 20 ppm (facteur de dilution d'au moins 50 000) aux deux prises d'eau;
- ▶ En morte-eau (figure 5-16a), concentration maximale dans la gamme de 20 à 100 ppm à Lévis (facteurs de dilution correspondants de 50 000 et 10 000) et d'environ 20 ppm à Saint-Romuald (facteur de dilution de 50 000, Lasalle | NHC, 2020b).

5.5 ÉVALUATION DES EFFETS SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES (COURANTS ET VAGUES)

5.5.1 Phase de construction

5.5.1.1 Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)

Les effets sur les conditions hydrodynamiques en phase de construction sont difficiles à déterminer avec précision et sont liés à l'implantation temporaire de structure de construction. De tels effets n'ont pas été considérés dans le cadre de l'ÉIE et du présent document de réponses aux questions puisqu'il a été jugé que les effets potentiels seront mineurs comparativement à ceux découlant possiblement de la présence permanente des nouveaux aménagements. Pour cette raison, les modifications et les effets identifiés sont présentés seulement pour la phase d'exploitation (section 5.5.2.1).

5.5.1.2 Régime sédimentologique (érosion et transport)

Les effets du projet sur le régime hydrosédimentologique en phase de construction sont difficiles à déterminer avec précision. Ils correspondent à des contraintes liées à l'implantation temporaire de structure de construction. De tels effets n'ont pas été considérés dans le cadre de l'étude actuelle puisqu'il a été jugé que les effets potentiels seront mineurs et temporaires par rapport à ceux découlant de la présence permanente des nouveaux aménagements. Pour cette raison, les modifications identifiées sont présentées pour la phase d'exploitation à la section 5.5.2.2.

5.5.2 Phase d'exploitation

5.5.2.1 Conditions hydrodynamiques (courants et vagues)

Pendant la phase d'exploitation, les sources d'effets sur les conditions hydrodynamiques et les effets qui en découlent sont :

- ▶ la présence du quai et de l'arrière-quai – **Modification des courants de marée;**
- ▶ la présence du quai et de l'arrière-quai – **Modification des courants côtiers le long de la plage récréative;**
- ▶ la présence du quai et de l'arrière-quai – **Diminution de la hauteur des vagues;**
- ▶ la présence du quai et le prolongement de l'émissaire – **Modification du panache de l'émissaire d'urgence de la Ville de Québec.**

Mesure d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation particulière n'est prévue.

Description détaillée de l'effet négatif résiduel

N° DE LA QUESTION	QUESTION	RÉPONSE
ACÉE 7c	Modifier les sections de l'étude d'impact pour lesquelles les résultats du modèle hydrodynamique ont été utilisés ainsi que leur analyse respective.	Section 5.5.2.1
ACÉE 8d	Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.	Section 5.5.2.1
ACÉE 10c	Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.	Section 5.5.2.1
ECCC-2-70a (CH-1)	Fournir une description détaillée du panache de l'émissaire de la Ville de Québec sur l'ensemble d'un cycle de marée.	Section 5.5.2.1
ECCC-2-70b (CH-1)	Présenter des figures du panache à plus petite échelle et sur l'ensemble du cycle de marée afin de pouvoir vérifier les affirmations du promoteur concernant les concentrations de l'effluent ainsi que sa dilution.	Section 5.5.2.1
ECCC-2-71a (CH-1)	Décrire de façon détaillée et complète l'effet du projet sur la hauteur des vagues.	Section 5.5.2.1

La présente section est basée sur les résultats du modèle hydrodynamique révisé (Lasalle | NHC, 2020a).

Le modèle utilisant le zéro des cartes conduisait à une bonne concordance des résultats de modélisation avec les données de niveaux et de courants disponibles dans la zone à l'étude. Les effets présentés dans cette section ont cependant été évalués à l'aide du modèle révisé, référencé au niveau moyen de la mer.

Modification des courants de marée – La présence des infrastructures pourrait modifier la vitesse et la direction de la marée à proximité du nouveau quai. Rappelons que le quai a été orienté de manière à minimiser l'effet sur les conditions hydrodynamiques à proximité du quai. Au niveau de l'estuaire de la rivière Saint-Charles, les modifications prévues sont négligeables.

À l'instar des résultats présentés précédemment, ceux issus du modèle révisé indiquent que la présence des nouvelles infrastructures n'aura pas d'effet significatif sur les courants. Plusieurs cas de simulations ont été réalisés par Lasalle | NHC (2020a), notamment ceux correspondant aux courants de flot, de jusant et d'étalement de marée haute, pour une marée de vive-eau (figures 5-9 à 5-11). Tout comme dans les conditions actuelles, le courant principal passe par la voie maritime du fleuve Saint-Laurent.

Au flot, le courant s'écoule généralement en direction amont à des vitesses relativement faibles. Les effets du projet se limitent aux environs immédiats de l'extension portuaire. Au nord de l'extension, les vitesses diminueront légèrement (diminution de l'ordre de 0,05 à 0,40 cm/s) tandis que du côté sud, les vitesses augmenteront ou diminueront légèrement dans des zones de petite dimension (figure 5-9). Les modifications n'atteignent pas, pratiquement, l'estuaire de la rivière Saint-Charles.

Au jusant, le courant est dirigé vers l'aval et beaucoup plus rapide, ce qui augmente son intensité de part et d'autre de l'île d'Orléans. Comme c'est le cas actuellement, les courants les plus rapides surviennent au large des infrastructures portuaires.

Le principal effet de l'extension portuaire consiste en une diminution des vitesses de l'ordre de 5 à 20 cm/s au nord de l'extension, et plus localement, de 20 à 40 cm/s dans une petite zone située à proximité des aménagements (figure 5-10).

C'est à l'étalement de marée haute, surtout en marée de vive-eau, que les modifications prévues sont les plus manifestes en raison de la plus grande superficie des zones où les vitesses augmenteront ou diminueront (figure 5-11). Tout autour de l'extension portuaire, les vitesses diminueront de 5 à plus de 40 cm/s localement au sud du nouveau quai. Elles augmenteront en revanche de 5 à 40 cm/s le long de la zone portuaire, en amont du nouveau quai. Des modifications sont également prévues dans la partie aval de l'estuaire de la rivière Saint-Charles (diminution de 5 à 20 cm/s) et du côté de la rive sud (zones d'augmentation ou de diminution de -20 à +40 cm/s, figure 5-11).

Les modélisations réalisées indiquent que l'effet du projet ne pénètre que très peu dans la baie de Beauport. Le principal effet consiste en une diminution des vitesses le long de la plage d'au plus 20 cm/s à divers stades de la marée.

Selon le modèle, les différences de courant au nord et au sud de l'île d'Orléans ne sont pas significatives (< de 2 cm/s). Il en va de même pour la majeure partie de l'environnement fluvial de la ZÉÉ.

Dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, les résultats indiquent que de faibles modifications des vitesses de courants surviendront, principalement dans sa partie aval. Les modifications varient selon le stade de la marée, il peut s'agir de variations localisées comprises entre +40 cm/s et -20 cm/s, surtout à l'étalement de marée haute (figure 5-11). De plus, les modélisations ont permis d'observer qu'en conditions futures, la gyre sera toujours présente pendant les trois dernières heures de la marée montante, de même que la gyre qui se développe de façon transitoire à marée descendante à l'entrée du bassin.

Modification des courants côtiers le long de la plage récréative – Les courants maximaux de marée de flot et de jusant aux abords de la plage actuelle ont été prédits par le modèle numérique (figures 5-9 à 5-11). Les courants à proximité de la plage récréative seront légèrement plus faibles que ceux modélisés en conditions actuelles. Enfin, la hauteur des vagues et la vitesse des courants côtiers diminueront dans des conditions de vent associées aux tempêtes provenant de l'est.

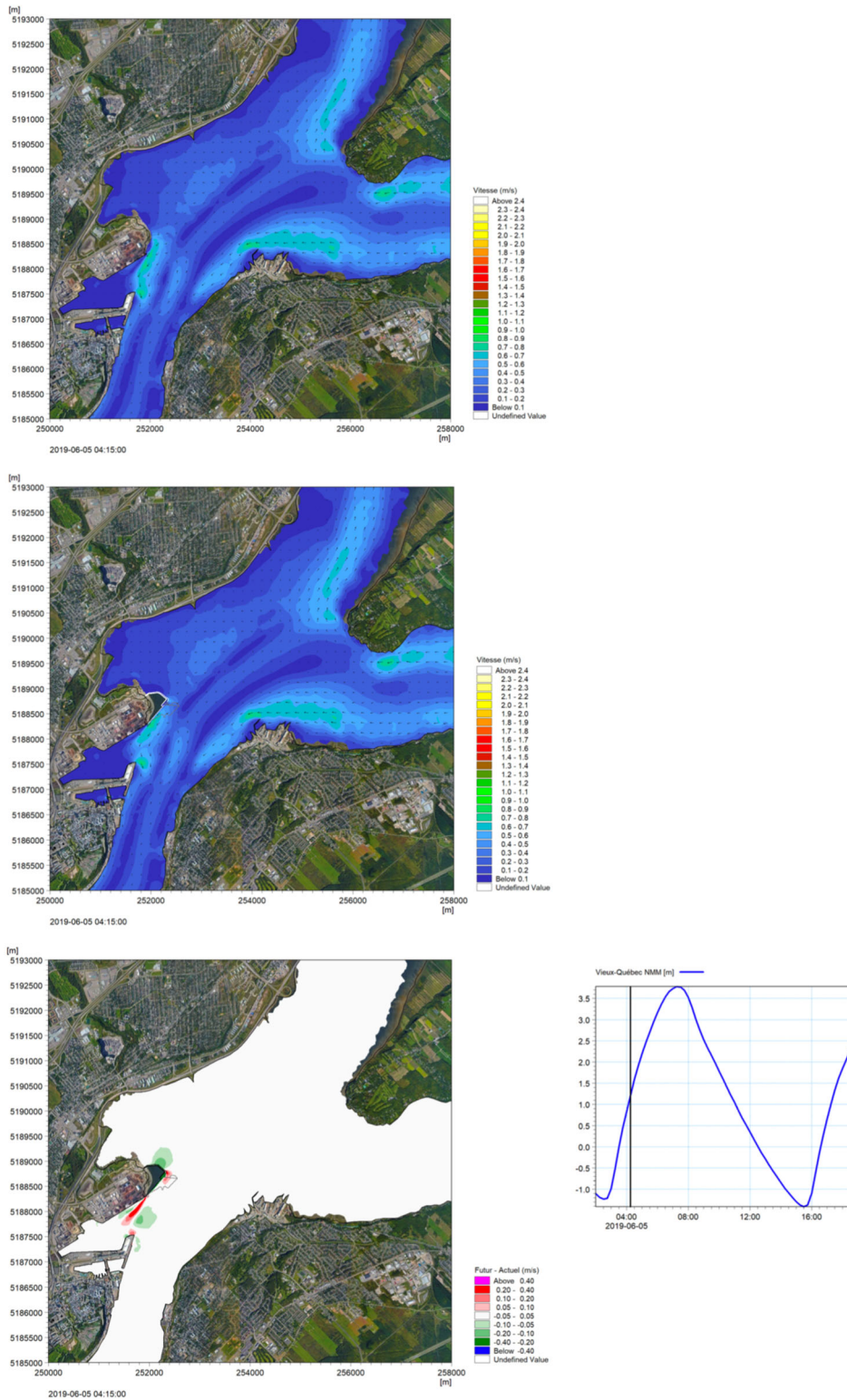


Figure 4.2a: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement

Figure 5-9 Courants de marée lors du flot, avant et après l'aménagement (marée de vive-eau du 5 juin 2019, Lasalle | NHC, 2020a)

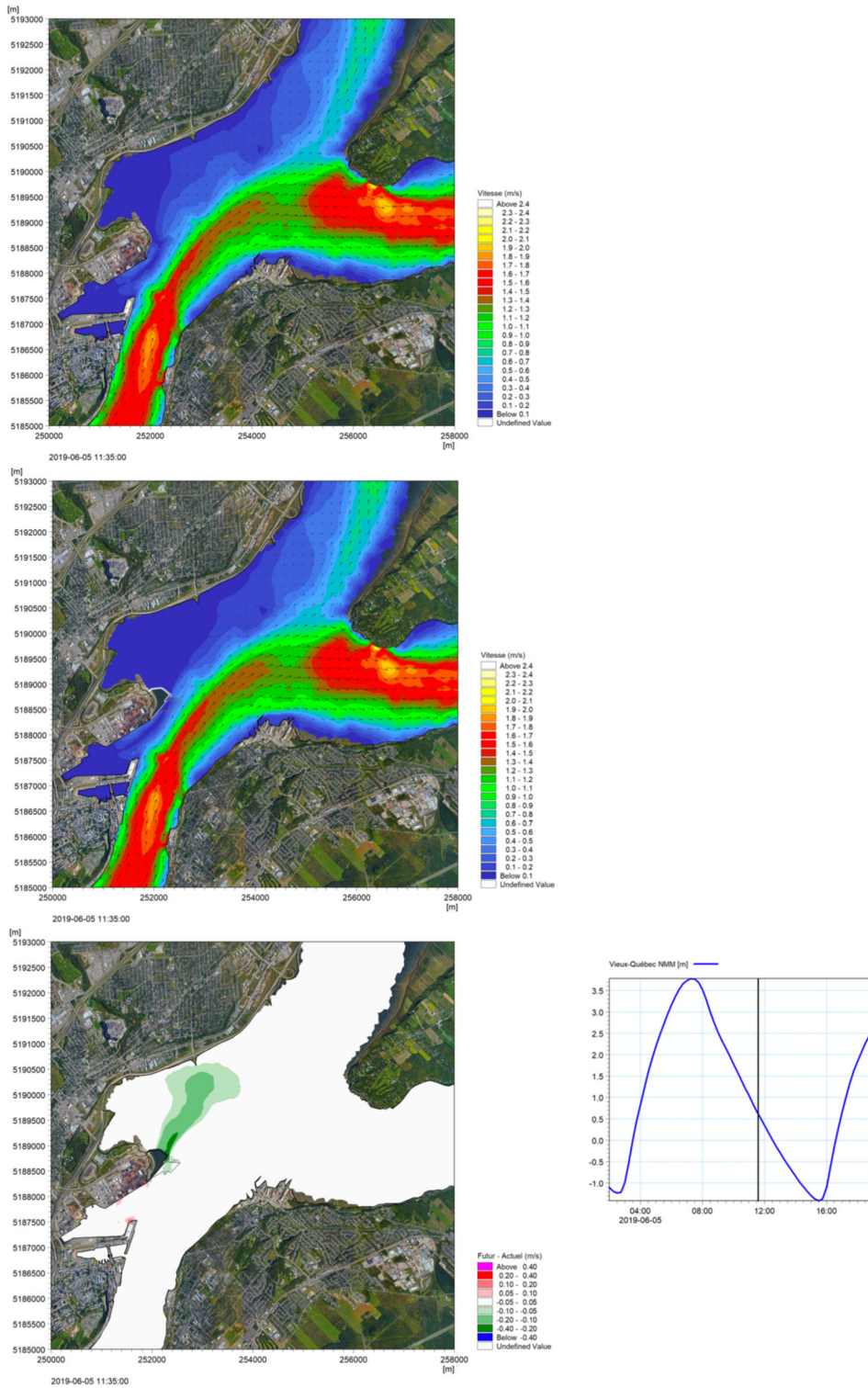


Figure 4.2e: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

Figure 5-10 Courants de marée lors du jusant, avant et après l'aménagement (marée de vive-eau du 5 juin 2019, Lasalle | NHC, 2020a)

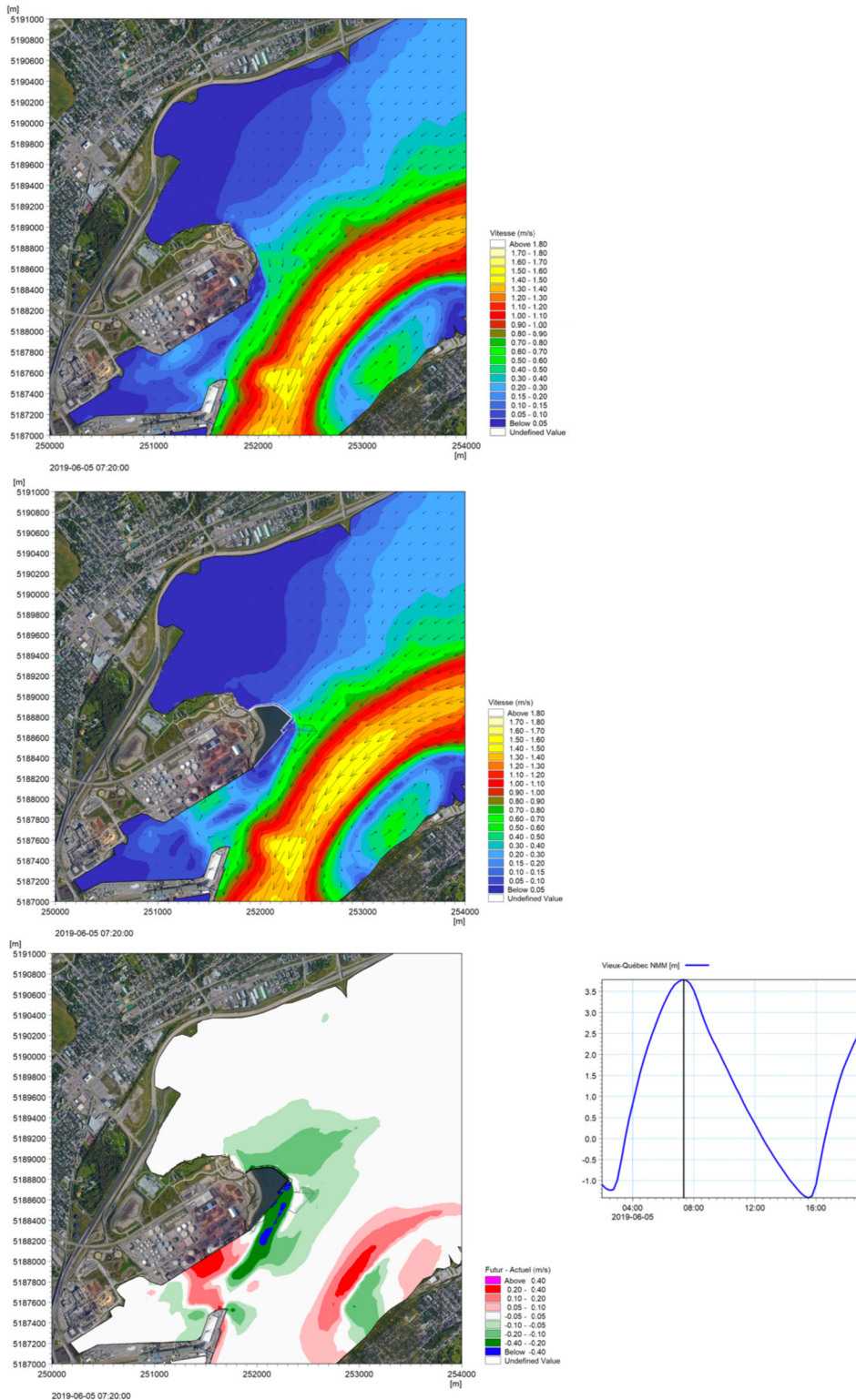


Figure 4.3c : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

Figure 5-11 Courants de marée lors de l'étalement de marée haute, avant et après l'aménagement (marée du 5 juin 2019, Lasalle | NHC, 2020a)

Diminution de la hauteur des vagues – Les modélisations réalisées par Lasalle | NHC (2018b) montrent qu'en conditions futures, la hauteur des vagues sera réduite le long du tronçon de plage situé à l'extérieur de l'empreinte du projet, aux abords de l'extension portuaire. Ces modélisations ont été réalisées pour des vents de vitesse constante de 50 km/h, qui surviennent 5 % du temps à la station de Beauport. Les modélisations ont considéré les trois directions de vent dominantes, soit l'est, l'ENE et le NE. Les résultats de modélisation pour un niveau d'eau correspondant au niveau d'eau moyen de marée haute, soit 4,8 m par rapport au zéro des cartes, sont présentés ci-après. Les résultats obtenus pour le niveau moyen de marée basse et pour le niveau d'eau moyen peuvent être consultés dans le rapport Lasalle | NHC (2018b).

La réduction prévue dans la hauteur de vagues s'explique par le fait que l'extension limitera la propagation des vagues dans ce secteur (« effet d'ombre »). L'extension fera aussi en sorte que le transit littoral sera atténué, son effet étant similaire à celui d'un épi. Cet effet se fera surtout sentir lors de vents provenant de l'est (figure 5-12). La diminution de la hauteur des vagues atteindra 20 cm ou plus sur une mince bande aux abords immédiats de l'extension. L'effet de l'extension sur les vagues s'atténue progressivement lorsqu'on se déplace vers le nord (figure 5-12c).

Pour des vents d'ENE (vents dominants, figure 5-13) et du NE (figure 5-14), les vagues continueront d'atteindre la plage directement. Le modèle montre que l'effet de l'extension sur la hauteur des vagues se fera sentir sur une zone plus réduite que pour des vents de l'est.

La hauteur des vagues augmente rapidement à mesure que l'on s'éloigne de l'extension portuaire et leur direction devient moins perpendiculaire à la plage. De telles conditions créent un gradient de transport littoral positif (c'est-à-dire un déficit de sédiments) et conduisent à un potentiel d'érosion de la plage plus important qu'actuellement. Cet effet est décrit plus en détail à la section 5.5.2.2.

En somme, les effets de l'extension portuaire sur le régime des vagues seront surtout ressentis aux abords immédiats de l'extension, plus particulièrement pour des vents provenant de l'est. Cet effet s'estompe vers le nord et les résultats de modélisation ne montrent pas d'effet significatif au droit de la flèche sableuse (Lasalle | NHC (2018b)).

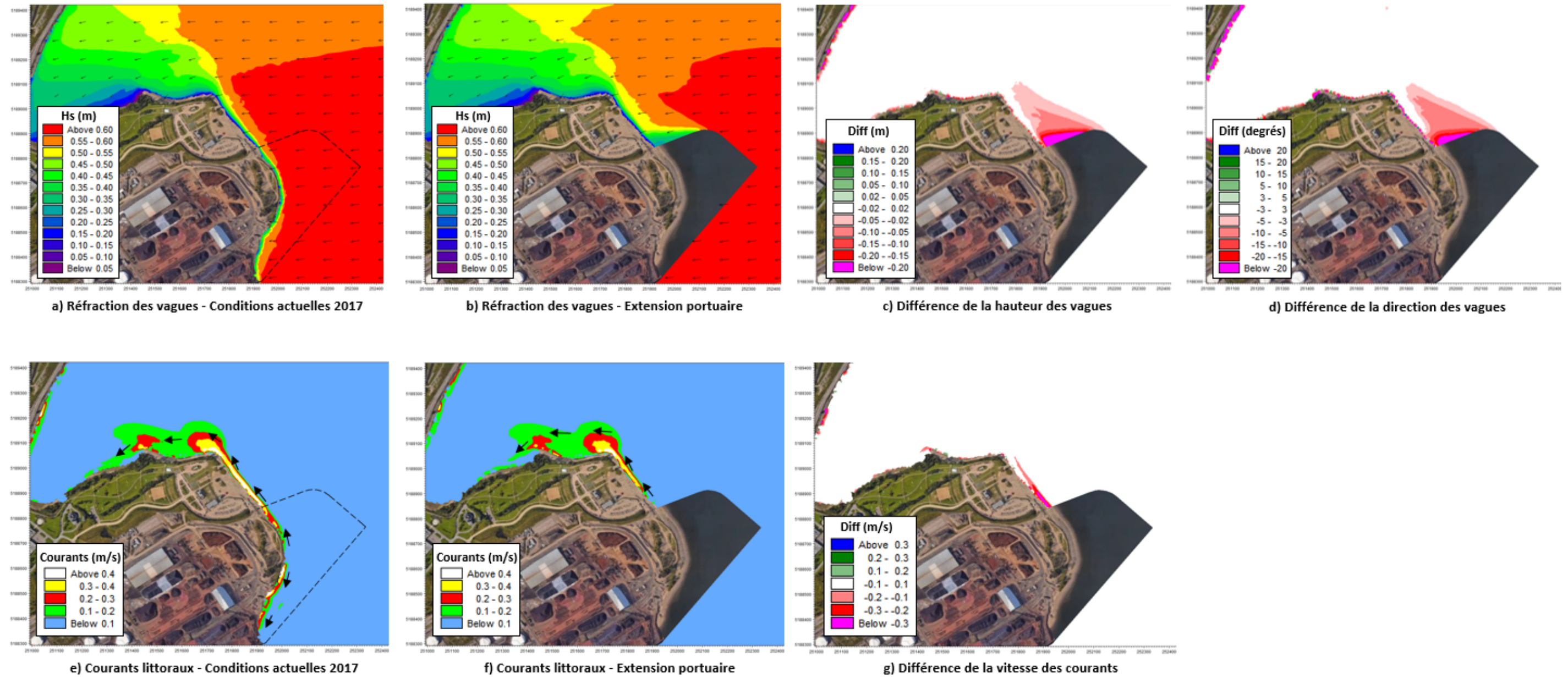


Figure 5-12 Vagues et courants littoraux avant et après la construction de l'extension portuaire, pour une tempête de l'est (vent de 50 km/h E, niveau moyen de marée haute, 4,8 m par rapport au zéro des cartes) (Lasalle | NHC [2018b])

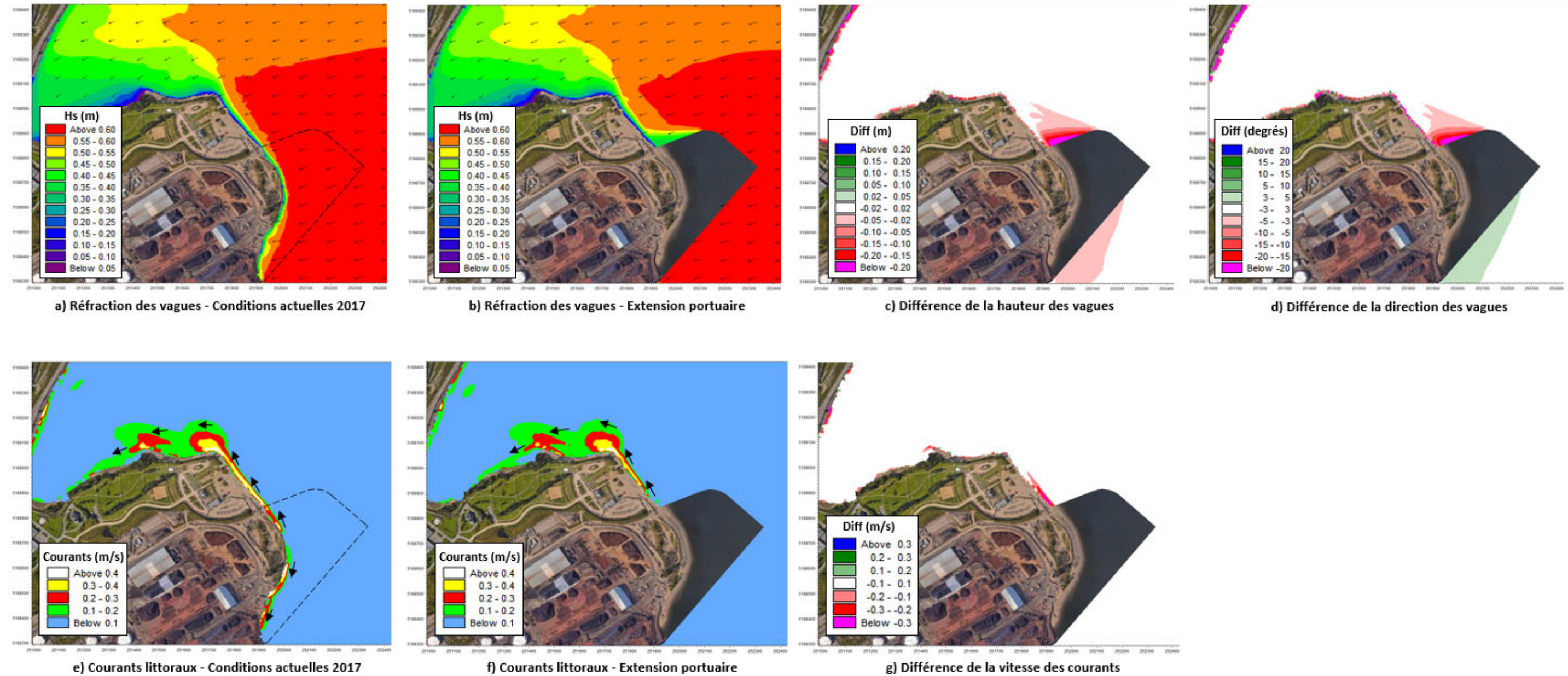


Figure 5-13 Vagues et courants littoraux avant et après la construction de l'extension portuaire, pour une tempête de l'ENE (vent de 50 km/h E, niveau moyen de marée haute 4,8 m par rapport au zéro des cartes) (Lasalle | NHC [2018b])

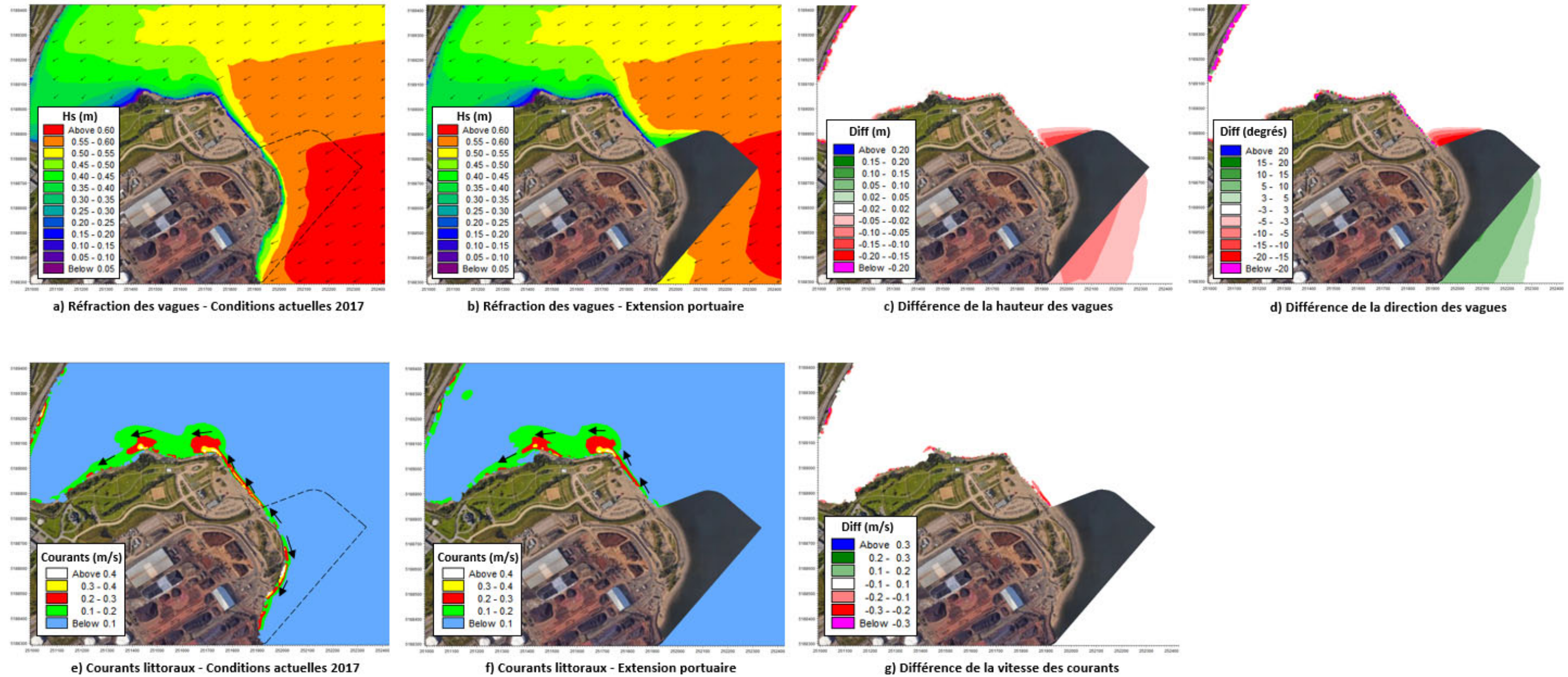


Figure 5-14 Vagues et courants littoraux avant et après la construction de l'extension portuaire, pour une tempête du NE (vent de 50 km/h E, niveau moyen de marée haute 4,8 m par rapport au zéro des cartes) (Lasalle | NHC [2018b])

Modification du panache de l'émissaire de la Ville de Québec – Le projet prévoit le prolongement de l'émissaire d'urgence de la Ville de Québec. Le comportement de l'effluent a été modélisé pour déterminer l'étendue du panache compte tenu du nouvel emplacement du point de rejet, des nouveaux aménagements du projet Laurentia et de la nouvelle version du modèle hydrodynamique émise en 2020 (Lasalle | NHC, 2020b).

Les figures 5-15 et 5-16 illustrent les concentrations maximales d'effluent obtenues en conditions avant et après l'aménagement (avec extension portuaire et déplacement de l'émissaire) pour une marée de vive-eau (figure 5-15) et une marée de morte-eau (figure 5-16). Comme en conditions actuelles, les concentrations les plus élevées sont observées dans le secteur Beauport et les concentrations maximales dans le bras nord de l'île d'Orléans sont plus élevées que dans le chenal principal.

Par rapport aux conditions actuelles, le déplacement de l'émissaire entraîne une dispersion plus efficace des effluents dans le courant principal du fleuve et il en résulte une diminution notable des concentrations maximales obtenues dans le secteur de Beauport:

- ▶ la réduction la plus importante des concentrations est observée le long de la future plage, qui est en retrait par rapport à l'extension portuaire. Aux abords de la plage, les concentrations maximales en conditions futures se situent dans la gamme de 500 à 1 000 ppm en marée de vive-eau (figure 15) et de 1 000 à 2 000 ppm en morte-eau (figure 16). En conditions actuelles, les résultats de simulation indiquent des concentrations maximales beaucoup plus élevées, atteignant 50 000 à 100 000 ppm le long de la portion nord de la plage actuelle, et ce tant en vive-eau (figure 5-15b) qu'en morte-eau (figure 5-16b).
- ▶ une réduction importante des concentrations maximales est également observée dans le rentrant sud-ouest. Les concentrations maximales en conditions futures y sont dans la gamme de 100 à 500 ppm en vive-eau (figure 5-15) et de seulement 20 à 100 ppm en morte-eau (figure 5-16). En conditions actuelles, on observe plutôt dans cette zone des concentrations maximales dans la gamme de 10 000 à 20 000 ppm, et ce tant pour les marées de vive-eau (figure 5-15) que de morte-eau (figure 5-16).
- ▶ dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, les concentrations après l'aménagement sont beaucoup plus proches des valeurs actuelles. En marée de vive-eau, les concentrations maximales simulées après l'aménagement sont dans la gamme de 10 000 à 20 000 ppm et ne sont que légèrement diminuées par rapport à celles de 20 000 à 50 000 ppm obtenues en conditions actuelles (figure 5-15). Tant en conditions actuelles qu'après l'aménagement, des résultats très similaires sont obtenus en morte-eau, avec des concentrations maximales dans la gamme de 10 000 à 20 000 ppm observées localement (figures 5-16).

Aux prises d'eau potable de Lévis et Saint-Romuald, la modélisation prédit une très légère diminution des concentrations maximales par rapport à celles obtenues en conditions actuelles, mais cette réduction est à peine perceptible en comparant les figures 5-15 et 5-16. Il est toutefois clair que l'aménagement projeté n'introduit aucune augmentation des concentrations à ces points. Par extension, la même conclusion peut être appliquée à la prise d'eau de la Ville de Québec située à l'amont de la zone modélisée.

En somme, la position projetée de l'émissaire et la présence de l'extension portuaire favorisent la dispersion de l'effluent dans le courant principal du fleuve et conduisent ainsi à une diminution tangible des concentrations maximales obtenues dans le secteur Beauport, et ce notamment le long de la future plage.

Le déplacement de l'émissaire et l'extension portuaire ne provoquent aucune augmentation des concentrations maximales d'effluent aux prises d'eau potable situées plus en amont. On observe au contraire une très légère diminution des concentrations maximales par rapport à celles observées en conditions actuelles.

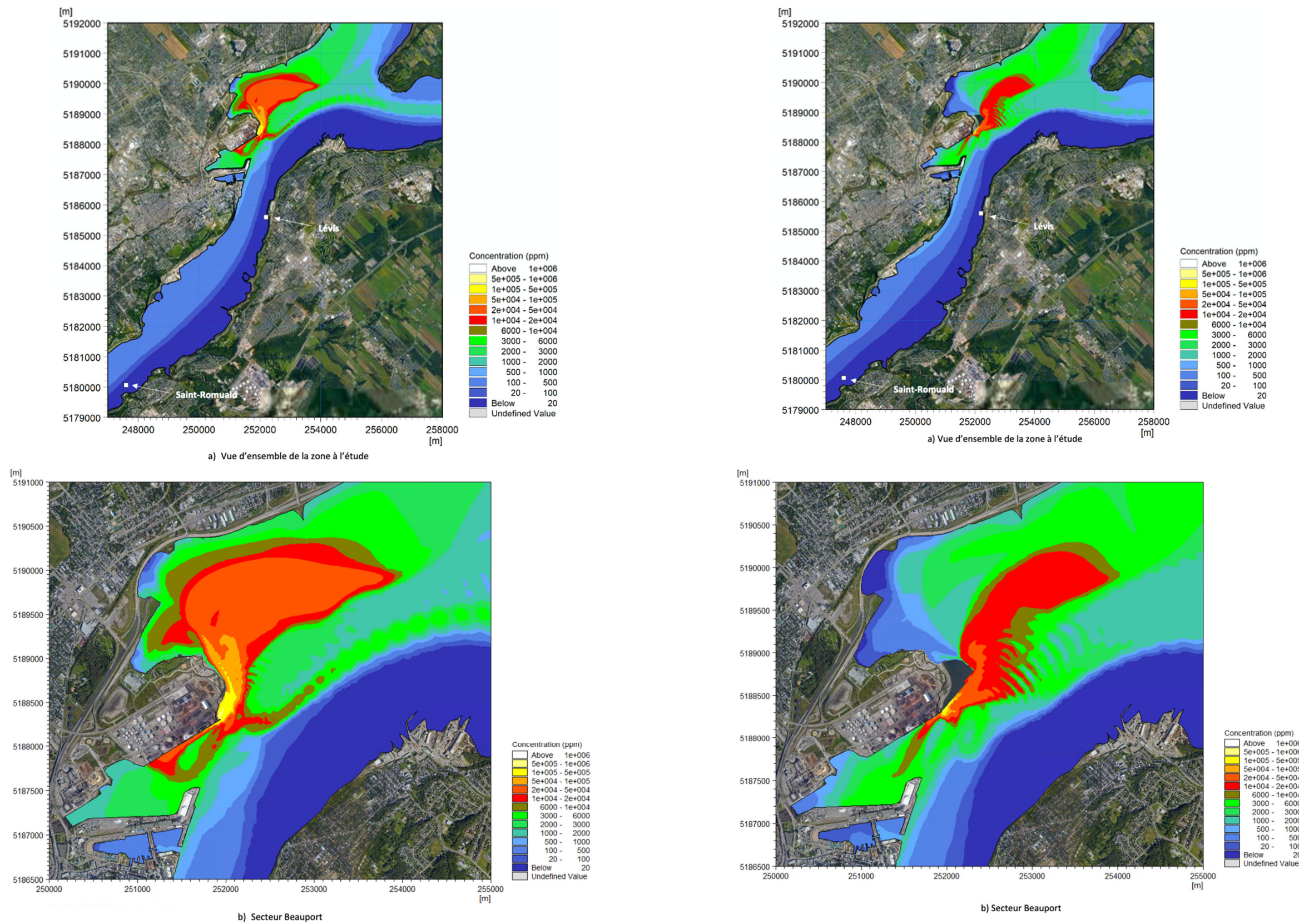


Figure 5-15 Comparaison des concentrations maximales de l'effluent de l'émissaire d'urgence obtenues en conditions actuelles et futures – Marée de vive-eau (concentration à la sortie de l'émissaire = 1×10^6 ppm (Lasalle | NHC, 2020b)

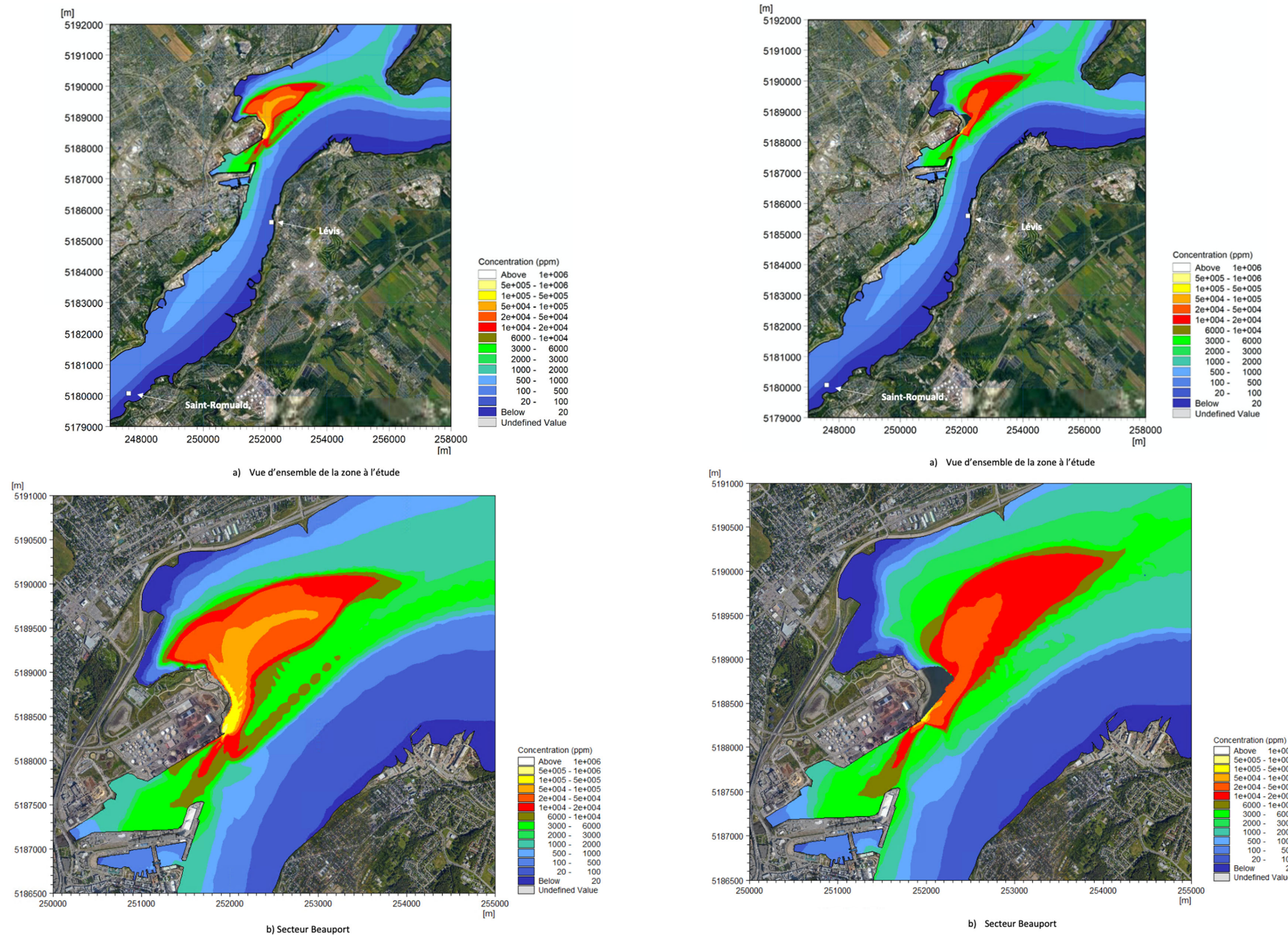


Figure 5-16 Concentrations maximales de l'effluent de l'émissaire d'urgence obtenues en conditions actuelles – Marée de morte-eau (concentration à la sortie de l'émissaire = 1x10⁶ ppm (Lasalle | NHC, 2020b))

Évaluation des effets

Les mesures de conception mises à place limiteront l'ampleur des effets de la présence du quai sur l'écoulement de marée, sur le panache de l'émissaire d'urgence de la Ville de Québec et sur les hauteurs des vagues sur la plage. Cet effet de longue durée se fera sentir continuellement, et ce, pendant toute la durée de la phase d'exploitation. Compte tenu de son irréversibilité, la valeur de l'effet environnemental est moyenne et, par conséquent, l'effet résiduel est jugé non important.

EFFET SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES PENDANT LA PHASE D'EXPLOITATION	
Nature	Négative
Ampleur	Faible
Étendue	Zone d'étude élargie
Durée	Long terme
Fréquence	Continue
Réversibilité/irréversibilité	Irréversible
Valeur de l'effet environnemental résiduel	Moyenne
Incertitude scientifique	Niveau de confiance élevé
Probabilité d'occurrence	Fort probable
Importance de l'effet négatif résiduel	Non importante

5.5.2.2 Régime sédimentologique

QUESTIONS DE L'ACÉE	SECTION	RÉPONSE
ACÉE 11c	Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.	Section 5.5.2.2
ACÉE 12a	Déterminer si le projet ou la recharge de la plage auront des effets sur l'érosion de la ligne de côte et l'accumulation de sédiments sur la flèche et l'entrant sud-ouest. Justifier et appuyer vos conclusions.	Section 5.5.2.2
ACÉE 12b	Quantifier le déplacement de sable vers la flèche située dans l'entrant sud-ouest. Ceci peut se faire, par exemple, en utilisant un taux d'accumulation de sable sur la flèche ou un taux d'accroissement de la surface de la flèche.	Section 5.5.2.2
ECCC-2-71b (CH-1)	Décrire comment la diminution de la hauteur des vagues est compatible avec une augmentation de l'érosion sur la partie restante de la plage.	Section 5.5.2.1

Source d'effet et effets négatifs potentiels

Pendant la phase d'exploitation, les sources d'effet sur le régime hydrosédimentologique sont :

- ▶ la présence du quai et de l'arrière-quai – **Augmentation du processus d'érosion;**
- ▶ la présence du quai et de l'arrière-quai - **Diminution du transport sédimentaire vers la flèche de sable.**

Mesures d'atténuation

Aucune mesure d'atténuation particulière n'est prévue.

Description détaillée de l'effet négatif résiduel

De façon générale, le régime hydrosédimentologique est influencé par les vagues, notamment celles générées par les vents en période de tempête (provenant des directions de l'est à nord-est), ainsi que par les courants de marée. Le transport sédimentaire le long de la plage de la Baie de Beauport est cependant régi essentiellement par les vagues et la dérive littorale résultant de leur action.

Les modélisations réalisées montrent que le transport littoral net vers la flèche sableuse sera légèrement réduit en conditions futures. Toutefois, le gradient de transport sera augmenté le long du tronçon résiduel de plage et conduira à un recul plus important qu'en conditions actuelles, même si la hauteur des vagues sera diminuée aux abords du nouvel aménagement.

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC-2-71b) a demandé d'expliquer pourquoi le processus d'érosion de la plage sera accentué étant donné que la hauteur des vagues sera réduite. Les paragraphes suivants présentent des renseignements généraux décrivant les facteurs qui influent sur la dynamique sédimentaire d'une plage. La hauteur des vagues n'est pas le seul facteur à considérer, le gradient de transport littoral influe sur cette dynamique également.

Ainsi, en milieu côtier, le transport sédimentaire se décompose en deux composantes : transversale (perpendiculaire à la ligne de plage) et littorale (parallèle à la ligne de plage). L'analyse effectuée sur chacun de ces deux types de transport ne porte pas sur la même échelle de temps. En effet, l'analyse du transport transversal se limite généralement à la durée d'une tempête (quelques heures à quelques jours) alors que l'analyse du transport littoral est plutôt effectuée sur une très longue période de temps (quelques années à plusieurs décennies).

Sous l'effet des vagues en temps de tempête (à court terme), les sédiments du haut de la plage ont tendance à se faire éroder, puis à être transportés vers le large pour finalement se déposer au pied de la plage. En temps de tempête exceptionnelle, l'érosion produite par les vagues est en mesure d'engendrer des affaissements du haut de talus de plage. Cette érosion devient particulièrement sévère lorsque le niveau d'eau est beaucoup plus élevé qu'à la normale en raison des surcotes générées par les vents et la dépression atmosphérique caractérisant une tempête. Ce mécanisme d'érosion se produit rapidement et est directement lié à la hauteur (énergie) des vagues générées par la tempête. Dans le cas du site de Beauport, une réduction dans le futur de la hauteur maximale des vagues pour une tempête donnée conduira à une réduction de l'érosion par ce processus.

Le transport littoral est un élément à analyser sur une très longue échelle de temps (plusieurs années). Ce type de transport dicte la tendance moyenne de la plage. À très long terme, certaines plages peuvent perdre du terrain (plage en érosion) ou, dans d'autres cas, s'engraisser (plage en accrétion). La tendance d'évolution à long terme doit être évaluée à l'aide d'un bilan sédimentaire le long de la ligne de côte intégrant la série complète de vagues de tempête pour tenir compte de l'impact de la distribution des vagues le long de la plage sur le transport. Cette approche ne tient pas compte des variations saisonnières du profil transversal de la plage qui à long terme ont tendance à se compenser. Dans le cas de la plage de Beauport, malgré une atténuation des vagues, la redistribution de celles-ci conduit à modifier la courbe de transport et le bilan subséquent pour donner lieu à un recul à long terme légèrement augmenté.

En milieu côtier, le bilan sédimentaire est l'élément qui détermine la tendance d'une plage à long terme. Considérant une zone de contrôle entre deux profils transversaux de la plage, le bilan consiste à comparer la quantité de sédiments entrants par rapport à la quantité de sédiments sortants. Trois scénarios peuvent se produire :

- ▶ Une érosion, si la quantité sortante est supérieure à celle entrante (déficit de sédiments);
- ▶ Une accrétion, si la quantité sortante est inférieure à celle entrante (surplus de sédiments);
- ▶ Un transit littoral, si les quantités sortantes et entrantes sont égales.

Le concept évoqué ici porte le nom de bilan sédimentaire et son analyse s'effectue sur le transport sédimentaire littoral (parallèle à la ligne de plage). À long terme, c'est ce bilan sédimentaire qui dicte la tendance moyenne de la plage (figure 5-17). En se basant sur l'illustration simplifiée de la figure 5-17, la différence de quantité de sédiments entre les deux profils est très largement contrôlée par la différence de hauteur et de direction de vagues en chacun des profils : pour une direction de vague donnée (oblique vers le haut de la figure), il y aura érosion si l'énergie à long terme des vagues au profil A est inférieure à l'énergie à long terme des vagues au profil B.

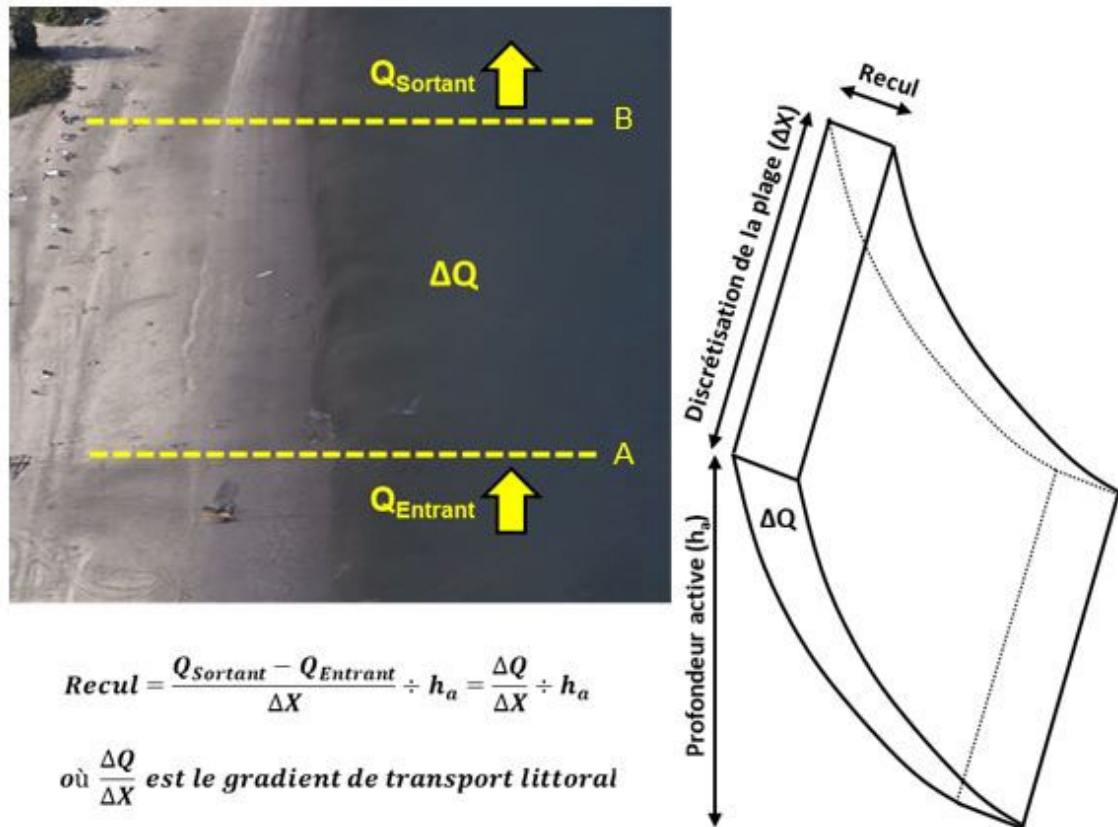


Figure 5-17 Illustration du mécanisme d'érosion engendré par un déficit au niveau du bilan sédimentaire

De manière plus générale, le concept de bilan sédimentaire consiste à déterminer la variation du transport littoral longeant la ligne de plage. Une courbe de transport littoral peut ainsi être tracée (figure 5-18).

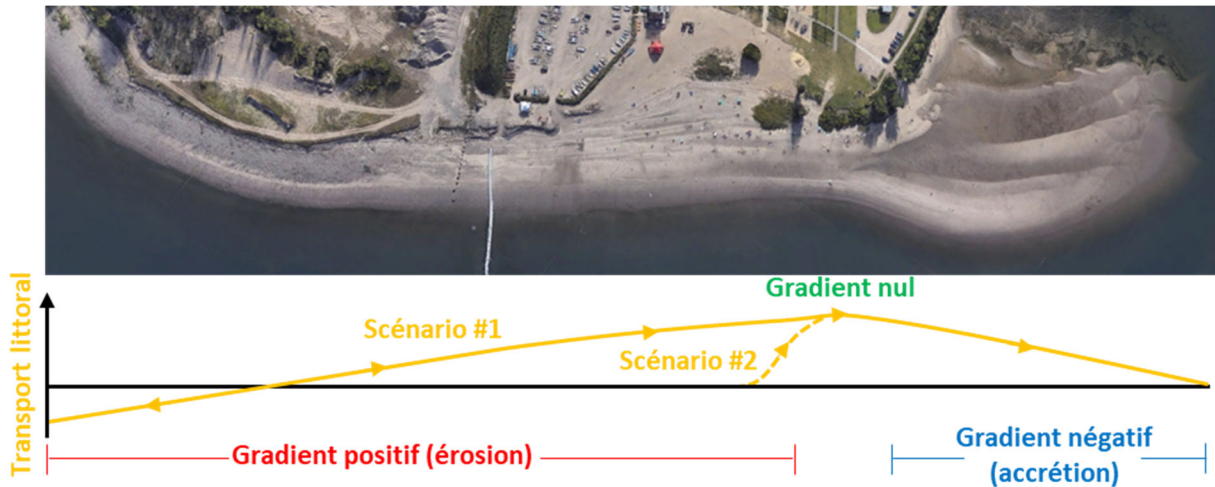


Figure 5-18 Variation du transport littoral le long de la ligne de plage

Lorsque la pente⁴ de cette courbe est ascendante (gradient positif), la quantité sortante de sédiments est supérieure à celle entrante, ce qui entraîne un déficit en sédiments et, en conséquence, une zone d'érosion. À ce propos, une pente abrupte (gradient élevé) révèle un déficit important en sédiments (érosion accélérée) alors qu'une pente douce (gradient faible) révèle un déficit léger (faible érosion). Ainsi à long terme, c'est la variation du transport littoral (gradient) le long de la ligne de plage qui dicte la tendance de la plage et non la magnitude du transport littoral. Par exemple, sur la figure 5-18, l'érosion sera plus sévère pour le scénario n° 2 (comparativement au scénario n° 1) puisque la pente est plus abrupte (gradient plus élevé). La réduction du transport littoral à certains endroits pour le scénario n° 2 a donc eu pour effet de rendre la pente plus abrupte (augmentation du gradient) et, en conséquence, d'augmenter localement l'érosion.

Lorsque la pente de la courbe est descendante (gradient négatif), la quantité sortante de sédiments est inférieure à celle entrante, ce qui entraîne un surplus en sédiments et, en conséquence, une zone d'accrétion. Une pente descendante abrupte (gradient très négatif) révèle un surplus important en sédiments (accrétion importante) alors qu'une pente descendante douce (gradient peu négatif) révèle un surplus léger (faible accrétion).

Lorsque la pente de la courbe est nulle (gradient nul), la quantité sortante de sédiments est égale à celle entrante, ce qui n'entraîne ni érosion ni accrétion, mais bien une zone de transit littoral.

Ainsi, dans le contexte du projet Laurentia et comme mentionné ci-dessus, les modélisations réalisées montrent que le transport littoral net vers la flèche sableuse sera légèrement réduit en conditions futures. Toutefois, le gradient de transport sera augmenté le long du tronçon résiduel de plage et conduira à un recul plus important qu'en conditions actuelles, même si la hauteur des vagues sera diminuée aux abords du nouvel aménagement.

⁴ La pente est le quotient du transport par la distance le long de la plage $(Q_2 - Q_1) \div (X_2 - X_1)$.

Augmentation du processus d'érosion – Bien qu'il y ait une réduction de la hauteur de vagues et des courants littoraux le long de la rive nord du rentrant sud-ouest, les simulations réalisées montrent que le taux de recul de la berge le long de la plage augmenterait de l'ordre de 1,0 à 1,5 m/a (figure 5-19). Cette augmentation est liée au fait que l'apport de sédiments en provenance du sud sera réduit en partie par le nouveau quai. Le sable érodé provenant de la plage et transporté vers le nord de la plage continuera à alimenter la flèche de sable, mais à un taux plus faible qu'actuellement.

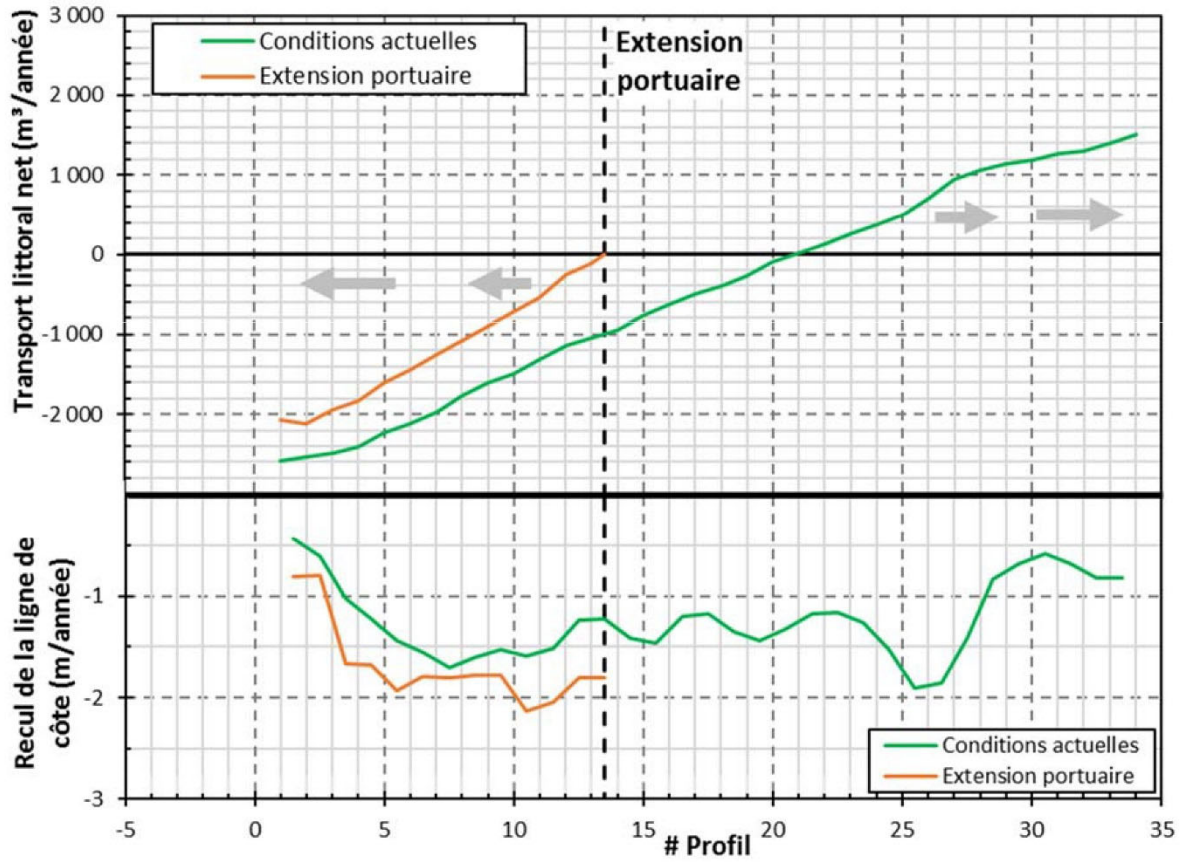
La hauteur des vagues le long de la rive nord du rentrant sud-ouest diminuera. À cet endroit, il n'y a pas d'obstacle physique qui interfère avec le transport de sédiments littoraux. En effet, les vagues atteignent les berges uniquement lorsque les niveaux d'eau sont plus élevés que le niveau moyen (+2,6 m ZC). Par conséquent, l'effet résiduel anticipé suivra la tendance naturelle du processus d'érosion.

Diminution du transport sédimentaire vers la flèche de sable - L'alimentation de la flèche de sable se poursuivra pendant la phase d'exploitation, mais l'apport actuel, estimé à 2 500 m³/a, sera réduit à environ 2 000 m³/a, soit une diminution de 500 m³/a. Les modélisations montrent qu'à long terme, les conditions hydrosédimentaires suivront les mêmes tendances que celles actuellement observées. La plage restera une zone soumise aux processus d'érosion, se traduisant par la présence d'une flèche de sable au nord. Dans la partie sud, soit à proximité des nouveaux aménagements, le processus d'érosion sera accentué, ce qui se traduira par une légère augmentation de la vitesse de recul et de la taille des sédiments, composés de sable ponctué de quelques cailloux en surface.

Le volume érodé en conditions actuelles provient d'un tronçon d'environ 400 m (sections 1 à 20, figure 5-19), ce qui conduit à un gradient de transport d'environ 7 m³/m/année alors qu'en conditions futures, le volume érodé provient d'un tronçon d'environ 240 m (sections 1 à 13), ce qui correspond à un gradient de transport d'environ 9 m³/m/année. Le gradient de transport en conditions futures est donc de 25 % supérieur à celui obtenu en conditions actuelles et, par conséquent, le recul de plage requis pour atteindre un tel volume d'érosion est supérieur à celui obtenu en conditions actuelles. En d'autres mots, le volume annuel de sable érodé le long de la future plage est moins important qu'en conditions actuelles, mais puisque l'érosion s'effectue sur un tronçon de plage plus court, le recul de la plage s'en trouve augmenté.

En somme, malgré un recul prévu plus important, le volume transporté vers la flèche sableuse et le rentrant sud-ouest sera plus faible en conditions futures, mais l'ordre de grandeur reste tout de même comparable à ce qui prévaut en conditions actuelles.

Ainsi, on anticipe une évolution morphologique (progression) de la pointe sableuse légèrement ralentie à long terme. Considérant un volume transporté vers la pointe réduit de 20 % par rapport aux conditions actuelles, on peut s'attendre à un taux de progression réduit de 20% de la flèche sableuse en supposant que toutes les classes de sédiments sont affectées de la même manière. En considérant une superficie de la flèche sableuse de l'ordre de 60 000 m² (incluant toute la profondeur active), cela représente une réduction de l'accumulation d'une couche uniforme de 5 à 10 mm d'épaisseur par an à long terme.



Fichier : P0012495_f7_71_135_F_modelis_180428.ai

Figure 5-19 Résultats de modélisation du transport littoral à long terme

Évaluation des effets

Les mesures de conception mises à place limiteront l'ampleur des effets de la présence de quai sur le régime hydrosédimentaire. Cet effet de longue durée se fera sentir continuellement, mais à un rythme très lent, et ce, pendant toute la durée de la phase d'exploitation. Compte tenu de son irréversibilité, la valeur de l'effet environnemental est moyenne et, par conséquent, l'effet résiduel est jugé non important.

EFFET SUR LE RÉGIME HYDROSÉDIMENTOLOGIQUE PENDANT LA PHASE D'EXPLOITATION	
Nature	Négative
Ampleur	Faible
Étendue	Zone d'étude
Durée	Longue
Fréquence	Continue
Réversibilité/Irréversibilité	Irréversible
Valeur de l'effet environnemental résiduel	Moyenne
Incertitude scientifique	Niveau de confiance moyen
Probabilité d'occurrence	Fort probable
Importance de l'effet négatif résiduel	Non importante

5.6 ÉVALUATION DES EFFETS CUMULATIFS SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES ET LE RÉGIME SÉDIMENTOLOGIQUE

À l'instar du projet Beauport 2020, les conditions hydrodynamiques et hydrosédimentaires n'ont pas été retenues comme une composante valorisée de l'environnement pour l'évaluation des effets cumulatifs dans le contexte du projet Laurentia. Effectivement, comme les effets potentiels appréhendés du projet sont principalement localisés (zone d'étude) et que ceux-ci sont peu susceptibles de générer des nuisances, aucun cumul d'effets avec d'autres projets n'est anticipé.

5.7 SURVEILLANCE ENVIRONNEMENTALE

L'APQ mettra en place un programme de surveillance et de suivi environnemental et social (PSSSES) spécifique au projet Laurentia qui couvrira l'ensemble des travaux prévus pendant la phase de construction. De cette façon, elle pourra s'assurer de l'application concrète des mesures d'atténuation pendant les travaux. En raison de la nature des effets appréhendés sur les conditions hydrodynamiques et hydrosédimentaires en phase de construction, aucune activité de surveillance environnementale spécifique à cette composante environnementale n'est prévue dans le contexte du projet Laurentia, tout comme c'était le cas dans la version précédente du projet (Beauport 2020).

5.8 SUIVI ENVIRONNEMENTAL

Un suivi morpho-sédimentologique est prévu dans le but de préciser l'évolution de la plage de la baie de Beauport. À cette fin, l'APQ compte s'associer au Département de géographie de l'Université Laval afin d'inclure la plage dans un projet de recherche plus vaste mené par cette équipe. Des démarches en ce sens sont en cours pour les années 2020 et 2021, mais aussi quelques suivis ponctuels après la réalisation du projet.

5.8.1 Objectifs

Les objectifs du suivi de l'évolution de la plage sont les suivants :

- ▶ Décrire à court et long termes l'évolution des processus d'érosion et quantifier les mouvements sédimentaires littoraux;
- ▶ Mieux anticiper les effets des changements climatiques à long terme et mettre en place des mesures adaptatives pour favoriser la résilience du secteur de Beauport du territoire du port de Québec. Ces connaissances sont précieuses pour conserver l'intégrité des infrastructures naturelles que représentent les berges de la plage de la Baie de Beauport.

5.8.2 Suivi en exploitation

5.8.2.1 Méthodologie

L'approche méthodologique préconisée pour réaliser ce suivi prévoit :

- ▶ la revue des données disponibles sur la plage, incluant une analyse comparative des photographies aériennes et d'images satellitaires historiques, à partir des années 1940 jusqu'à aujourd'hui;
- ▶ la collecte de données et la quantification du bilan sédimentaire par l'analyse cartographique des volumes de sédiments érodés et ceux accumulés pendant une période intra-annuelle et interannuelle. Le suivi s'appuiera sur une approche novatrice de suivis morpho-sédimentologiques réalisés à l'aide de levés photogrammétriques à haute résolution et aéroportés à basse altitude par drone.

Les données acquises serviront à produire un modèle numérique de terrain (MNT) et des orthomosaïques de photographies aériennes à haute résolution (2 cm). Ces données géoréférencées à haute précision (20 cm) seront utilisées pour comparer l'évolution géomorphologique de ces différents types de milieux entre les périodes de levés, et ce, de façon quantitative (variations dans les volumes) et qualitative (types de formes et processus géomorphologiques). La technique utilisée permettra de générer des modèles numériques de terrain (MNT) à haute résolution, lesquels pourront ensuite être comparés afin d'observer l'évolution morpho-sédimentaire entre les différentes dates de levés.

La méthodologie détaillée pour ce suivi est en discussion actuellement avec l'Université Laval. Elle inclura minimalement des relevés pour l'état de référence et des relevés en phases de construction et d'exploitation. La précision des relevés devra permettre de suivre l'évolution de la plage de façon suffisamment détaillée pour déterminer si les processus d'érosion et de déposition s'effectuent à un rythme reflétant celui anticipé par le modèle.

Dans la mesure où le protocole de l'Université Laval ne comportait pas de relevés de haute précision, un suivi à pied sur la plage serait effectué par un expert habilité (arpenteur ou professionnel équipé d'un GPS de haute précision). L'APQ s'engage à mandater un expert afin de procéder à ceux-ci à marée basse et ainsi obtenir un portrait détaillé servant d'état de référence. Ces données pourront ensuite être utilisées afin de compléter les efforts de l'Université Laval et de comparer ses résultats à l'état de référence. Dans un contexte où les experts mandatés à l'Université Laval le jugeaient nécessaire, des relevés supplémentaires au GPS de haute précision pourraient être réalisés lors des années subséquentes.

Cette acquisition de données permettra de documenter une réévaluation du gradient de transport littoral vers la flèche du rentrant sud-ouest et une évaluation du taux de croissance de la flèche de sable. Cette évaluation permettra non seulement d'analyser le comportement hydrosédimentaire de la plage à la suite de la réalisation du projet, mais permettra aussi de déterminer si le bilan sédimentaire demeure similaire. Si des différences sont observées, il est possible que des sédiments soient transportés à l'extérieur de

la plage et de la flèche du rentrant sud-ouest ou qu'ils s'y accumulent plus qu'actuellement. Dans de tels cas, le suivi permettra d'élaborer des hypothèses sur l'endroit où la déposition pourrait s'effectuer ou l'endroit qui pourrait être touché par un déficit de sédiments. Cette information pourra alors s'avérer pertinente afin de documenter l'effet du projet sur les milieux environnants, notamment les milieux riverains de la Baie de Beauport. L'expert responsable de l'étude pourra alors, si requis, fournir des recommandations sur des mesures à mettre en place.

5.8.2.2 Calendrier

Les premières démarches de suivi seront réalisées en 2020 et en 2021. À la suite de ces premières activités de collecte de données, des suivis utilisant le même protocole seront mis en place après la réalisation du projet afin de pouvoir suivre l'évolution de la plage aux années d'exploitation 1, 3 et 5. Le suivi durera donc minimalement jusqu'en 2028, mais pourra être prolongé dans la mesure où les résultats révélaient des phénomènes d'érosion ou d'accrétion qui mettaient en péril l'intégrité des infrastructures naturelles de la plage de la Baie de Beauport. De plus, advenant que les résultats des premières années de suivi démontrent des phénomènes plus intenses qu'anticipés, des suivis aux années 2 et 4 pourraient être ajoutés.

Bien que le suivi officiel de la plage se termine en 2028, l'APQ et ses partenaires attirés à la gestion de la Baie de Beauport s'engagent à poursuivre des observations régulières de l'état de la plage afin de déterminer rapidement et le plus efficacement possible si des phénomènes majeurs se produisaient à rebours après la fin du suivi environnemental. Le cas échéant, de nouveaux relevés seraient effectués et une réévaluation du gradient de transport littoral serait réalisée pour déterminer l'importance du recul de la plage ou du phénomène d'accrétion.

Aussi, et comme mentionné à la section précédente, un relevé à l'aide d'un GPS de haute précision sera effectué à l'été 2021 par un expert afin d'obtenir un état de référence précis. Si nécessaire, l'APQ pourra mandater cet expert pour des relevés subséquents, selon les recommandations de l'Université Laval.

Finalement, l'APQ s'engage à déposer, à la fin du suivi environnemental, une note technique portant sur la réévaluation du gradient de transport littoral vers la flèche du rentrant sud-ouest et sur l'évaluation du taux de croissance de la flèche. Dans l'éventualité où les phénomènes décrits par l'Université Laval s'avèrent plus intenses qu'anticipés, cette note technique pourrait être produite plus tôt dans le suivi de façon à évaluer adéquatement les effets du projet et de mettre en place les mesures qui seraient alors recommandés par les experts.

5.8.3 Mécanismes d'intervention en cas de non-respect des exigences

L'APQ utilisera les résultats des suivis afin de gérer adéquatement les activités en lien avec la plage. De façon coordonnée avec les responsables du site récréotouristique et des usagers de la Baie de Beauport, elle veillera à ce que les conditions (maintien de la plage) soit adéquates pour la pratique des activités et que les processus d'érosion et de déposition ne génèrent pas d'effets sur l'environnement.

5.8.4 Accessibilité et partage des résultats

L'APQ continuera à mettre en ligne sur son site Internet, pour consultation, les données du suivi de la plage. La compilation de ces données sera présentée dans le rapport annuel de surveillance et de suivi environnemental et social. L'étude permettant de réévaluer le gradient de transport littoral vers la flèche du rentrant sud-ouest et l'évaluation du taux de croissance de celle-ci sera transmise à l'ÀÉIC et déposée sur le site Internet de l'APQ.

5.9 AUTRES

QUESTIONS DE L'ACÉE	SECTION
Commentaire 4	Un groupe environnemental souhaite préciser au promoteur que les données sur le ruisseau du Moulin ne sont pas à jour. En effet, l'embouchure de ce ruisseau n'est plus canalisée sur une longueur d'environ 370 mètres.
<i>Réponse : L'APQ prend bonne note de ce commentaire.</i>	

5.10 RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ENGBLOBE. 2020. *Optimisation du projet Laurentia et effets anticipés*. Présenté à l'Agence d'évaluation d'impact du Canada. Préparé pour l'administration portuaire de Québec. Janvier 2020.

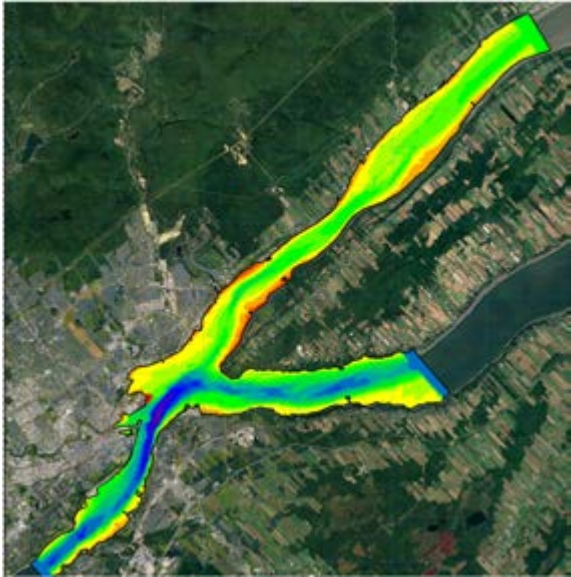
LASALLE | NHC. 2020a. Port de Québec — *Projet Laurentia. Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale*. R.0261. Rapport préparé pour Englobe. Mars 2020. 67 p. et annexes.

LASALLE | NHC. 2020b. *Projet Laurentia — Impact du déplacement de l'émissaire de surverse. Modélisation numérique de la dispersion*. Rapport no. 0293. Rapport préparé pour Englobe. Mai 2020. 11 p.

LASALLE | NHC. 2018a. Port de Québec — *Extension du secteur Beauport. Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale*. R.0139. Préparé pour L'Administration portuaire de Québec. Mars 2018. 68 p.

LASALLE | NHC. 2018b. Port de Québec — *Extension du secteur Beauport. Étude hydro-sédimentaire de la plage dans les conditions actuelles et futures*. R.0137. Préparé pour L'Administration portuaire de Québec. Mars 2018. 68 p.

Annexe A Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (Lasalle | NHC, 2020)



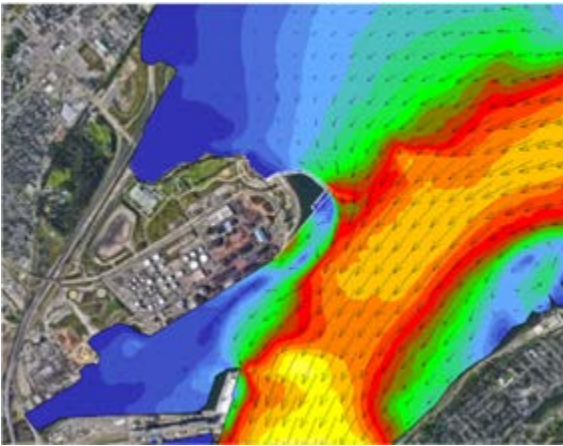
PORT DE QUÉBEC PROJET LAURENTIA

RÉPONSES AUX QUESTIONS DE L'AGENCE
CANADIENNE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE

R.0261

Préparé pour:

Englobe



18 mars 2020



N° référence Lasalle | NHC 08005266

PORT DE QUÉBEC – PROJET LAURENTIA
RÉPONSES AUX QUESTIONS DE L'AGENCE CANADIENNE D'ÉVALUATION
ENVIRONNEMENTALE

RAPPORT R.0261

Préparé pour:

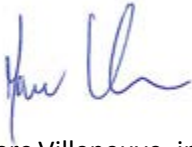
Englobe
Québec

Préparé par:

Lasalle | NHC
Québec

18 mars 2020

Préparé par:



Marc Villeneuve, ing., M.Ing.
Président
No OIQ : 46139



Nicolas Gallant, ing., M. Ing.
Ingénieur de projets
No OIQ : 5047189



Tristan Aubel, ing., M. Ing.
Associé
No OIQ : 129611

CLAUSE DE LIMITATION DE RESPONSABILITÉ.

Ce document a été préparé par Lasalle|NHC de façon conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et est destiné à l'usage exclusif de **Englobe** et de l'**Administration portuaire de Québec**. Le contenu de ce document ne peut être appliqué ou utilisé, en tout ou en partie, par ou à l'avantage d'autres parties sans l'autorisation écrite de Lasalle|NHC. Aucune autre garantie, expresse ou tacite, n'est accordée.

Lasalle|NHC et ses directeurs, associés, employés et mandataires n'assument aucune responsabilité à l'utilisation ou au recours du présent document ou de son contenu par des parties autres qu'**Englobe** ou l'**Administration portuaire de Québec**.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	ii
LISTE DES FIGURES	iii
1 INTRODUCTION	1
2 ÉVOLUTION ET MODIFICATION DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE.....	3
2.1 Développement initial du modèle hydrodynamique (1999-2016).....	3
2.2 Problématique de la référence altimétrique.....	7
2.3 Nouvelle version du modèle hydrodynamique	10
2.3.1 Étendue du modèle et conditions aux limites.....	10
2.3.2 Débit dans le bras nord de l’île d’Orléans	13
2.3.3 Paramètres de modélisation	14
3 VALIDATION DES RÉSULTATS DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE.....	16
3.1 Validation des niveaux d’eau.....	16
3.2 Validation des courants de marée.....	22
4 IMPACTS DE L’EXTENSION PORTUAIRE SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES	26
4.1 Aménagement à l’étude	26
4.2 Conditions avant et après aménagement	26
5 IMPACT DU DÉBIT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES (ACEE-10).....	49
6 MODÉLISATION HYDRO-SÉDIMENTAIRE	51
6.1 Analyse de l’évolution morphologique (ACEE-9).....	51
6.2 Approche méthodologique - Évolution à long terme de la plage (ACEE-9)	56
6.3 Reprise des simulations hydrodynamiques (ACEE-11).....	60
6.4 Transport de sable vers le rentrant sud-ouest (ACEE-12)	60
7 SOMMAIRE ET CONCLUSIONS.....	63

ANNEXE A : QUESTIONS DE L’ACEE

ANNEXE B : VALIDATION DES MODÈLES – JUIN 2015

ANNEXE C : VALIDATION DES MODÈLES – AOÛT 2016

ANNEXE D : VALIDATION DES MODÈLES – JUIN 2019

ANNEXE E : INFLUENCE DU DÉBIT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 : Conversion ZC-NMM pour les principales localités	9
Tableau 3.1 : Relevés hydrométriques 2015 – 2016 et 2019	16
Tableau 6.1 : Caractéristiques des relevés de 2009, 2013 et 2017	52
Tableau 6.2 : Recul moyen annuel de la plage entre 2009 et 2017.....	56

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Port de Québec – Modèle physique et premier modèle numérique	3
Figure 2.2 : Modèle d’ensemble du port de Québec (2006) – Formulation aux différences finies.....	4
Figure 2.3 : Modèle d’ensemble du port de Québec (2014) – Formulation aux volumes finis	5
Figure 2.4 : Modèle d’ensemble du port de Québec (2016) – Formulation aux volumes finis	6
Figure 2.5 : Élévation du ZC par rapport au NMM dans la zone à l’étude	7
Figure 2.6 : Grille d’écart ZC-NMM pour la zone à l’étude	9
Figure 2.7 : Nouvelle emprise du modèle numérique	11
Figure 2.8 : Déplacement de la limite aval du modèle jusqu’à Pointe-aux-Orignaux.....	13
Figure 2.9 : Débit de marée dans le bras nord de l’île d’Orléans (Montmorency) – 4-7 juin 2019	14
Figure 3.1 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 16 au 18 juin 2015	18
Figure 3.2 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 17 au 19 août 2016.....	19
Figure 3.3 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 5 au 7 juin 2019	20
Figure 3.4 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 26 au 28 juin 2019	21
Figure 3.5 : Sections de mesure des courants 2015-2016-2019.....	22
Figure 3.6 : Validation des modèles – Courants de marée – Juin 2015 (exemple).....	24
Figure 3.7 : Validation des modèles – Courants de marée - Août 2016 (exemple)	25
Figure 4.1 : Projet Laurentia - Extension portuaire (source : Englobe).....	26
Figure 4.2a: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement.....	28
Figure 4.2b: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)	29
Figure 4.2c: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite).....	30
Figure 4.2d: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)	31
Figure 4.2e: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)	32
Figure 4.2f : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)	33
Figure 4.2g: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)	34

LISTE DES FIGURES (suite)

Figure 4.3a : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport.....	35
Figure 4.3b : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)	36
Figure 4.3c : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite).....	37
Figure 4.3d : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)	38
Figure 4.3e : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)	39
Figure 4.3f : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)	40
Figure 4.3g : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)	41
Figure 4.4a : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport	42
Figure 4.4b : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)...	43
Figure 4.4c : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite) ...	44
Figure 4.4d : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)...	45
Figure 4.4e : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite) ...	46
Figure 4.4f : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)....	47
Figure 4.4g : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite) ...	48
Figure 5.1 : Impact du débit de la rivière Saint-Charles - Marée de vive-eau du 5 juin 2019.....	50
Figure 6.1 : Évolution morphologique de la plage actuelle – Bathymétries 2009, 2013 et 2017.....	53
Figure 6.2 : Étendue des relevés de 2009, 2013 et 2017	54
Figure 6.3 : Profils de plage extraits des relevés de 2009, 2013 et 2017	55
Figure 6.4 : Modélisation hydro-sédimentaire de la plage – Approche méthodologique.....	58
Figure 6.5 : Plage actuelle – Modélisation à long terme du transport littoral.....	59
Figure 6.6 : Modélisation à long terme du transport littoral – Conditions actuelles et futures.....	61
Figure 6.7 : Vagues et courants littoraux – Exemple de résultats pour une tempête de l’est	62

1 INTRODUCTION

Avec le Projet Laurentia, l'Administration portuaire de Québec (APQ) poursuit actuellement le développement du secteur Beauport, dont l'expansion est envisagée depuis de nombreuses années.

Depuis plus de trente ans, Lasalle|NHC (anciennement Groupe-Conseil LaSalle et Laboratoire d'hydraulique LaSalle) a été étroitement lié aux études d'optimisation du projet d'extension Beauport, pour tout ce qui touche l'impact du projet sur les conditions hydrauliques et sédimentologiques.

Un rapport émis par Lasalle|NHC en août 2018¹ avait fourni des réponses aux premières questions soulevées par l'Agence canadienne de l'évaluation environnementale (ACEE) suite aux consultations publiques tenues en février 2017.

Préparé à la demande d'Englobe pour le compte de l'APQ, le présent rapport vise à répondre à une nouvelle série de questions formulées par l'ACEE relativement aux travaux de modélisation hydrodynamique et sédimentaire effectués par Lasalle|NHC dans le cadre du projet d'expansion portuaire. Ces questions, dont l'annexe A présente le texte détaillé, peuvent se résumer comme suit :

- **ACEE-7 : Modélisation – Débits** : L'ACEE soulève des questions sur l'absence de renverse des courants de marée dans le bras nord de l'île d'Orléans et, par conséquent, sur la validité des résultats du modèle hydrodynamique;
- **ACEE-8 : Utilisation du zéro des cartes** : Questions relatives à l'utilisation du zéro des cartes nautiques (ZC) plutôt que le niveau moyen des mers (NMM) comme référence altimétrique pour la bathymétrie et les niveaux de marée et à la précision résultante des résultats du modèle hydrodynamique;
- **ACEE-9 : Érosion des berges** : Questions relatives à la méthodologie de nos travaux d'analyse et de modélisation de l'évolution morphologique de la pointe de Beauport;
- **ACEE-10 : Débit de la rivière Saint-Charles** : Impact du débit de la rivière Saint-Charles par rapport aux courants induits par la marée dans l'estuaire de la rivière;
- **ACEE-11 : Transport de sédiments et validation des simulations hydrodynamiques** : Questions relatives à l'influence de l'utilisation du zéro des cartes sur la précision des résultats de modélisation hydro-sédimentaire et d'évolution à long terme de la plage;
- **ACEE-12 : Transport du sable par le courant** : Demandes liées à une évaluation plus directe du transport de sable vers le rentrant sud-ouest en conditions d'aménagement actuelles et futures.

¹ DENAULT, C., VILLENEUVE, M. & GALLANT, N. (2018), « Port de Québec – Extension du secteur Beauport – Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale », Rapport Lasalle|NHC no 0139 préparé pour le compte de l'Administration portuaire de Québec, Août 2018.

Le présent rapport vise à répondre à ces questions et est divisé en sept sections. La section 2, qui couvre les questions ACEE-7 et ACEEE-8 décrit brièvement l'évolution de notre modèle hydrodynamique puis se penche sur la problématique de la référence altimétrique. On y présente une nouvelle version du modèle hydrodynamique répondant aux préoccupations de l'ACEE.

La section 3 présente la validation des résultats du modèle hydrodynamique, réalisée sur la base de relevés hydrométriques effectués par Englobe en juin 2015, août 2016 et juin 2019 dans divers secteurs de la zone d'étude. Faisant suite à la révision du modèle hydrodynamique, la section 4 reprend la comparaison des conditions d'écoulement actuelles et futures, en tenant compte de la dernière configuration de l'extension portuaire considérée par l'APQ. La section 5 porte sur l'influence du débit de la rivière Saint-Charles sur les conditions d'écoulement dans l'estuaire (question ACEE-10) et la section 6 traite finalement de l'ensemble des questions liées à nos travaux d'analyse et de modélisation de la dynamique sédimentaire et de l'évolution morphologique à long terme de la plage (questions ACEE-9, 11 et 12). La section 7 présente le sommaire et les conclusions du présent mandat.

2 ÉVOLUTION ET MODIFICATION DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE

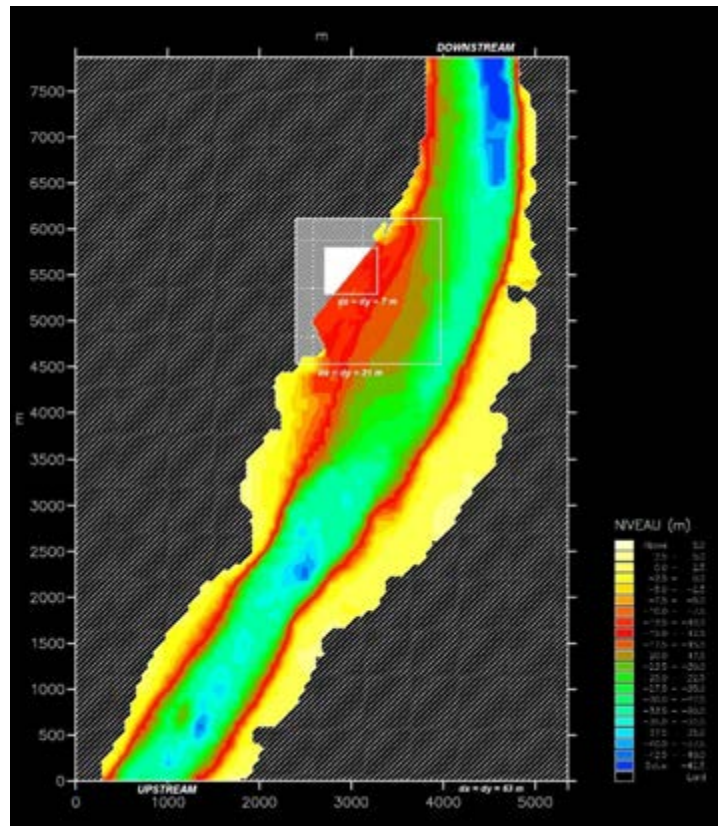
2.1 Développement initial du modèle hydrodynamique (1999-2016)

Notre rapport no 0139 de 2018 fournissait déjà une description détaillée de l'évolution du modèle numérique du port de Québec développé depuis 1999 par Lasalle|NHC. La mise au point initiale de ce modèle numérique repose sur le modèle physique exploité de 1972 à 1989 par Lasalle|NHC dans le laboratoire d'hydraulique de la Garde côtière canadienne. Ce modèle illustré à la Figure 2.1a reproduisait la marée de vive-eau du 22 juin 1971 (hauteur de 5,3 m).

Développé à l'aide du logiciel commercial Mike 21, la première version du modèle numérique ne couvre que la portion amont du port et est centrée sur le secteur de l'anse au Foulon (Figure 2.1b).



a) Modèle physique



b) Modèle numérique 2D du secteur amont du port

Figure 2.1 : Port de Québec – Modèle physique et premier modèle numérique

En 2006, avec la reprise des projets d'expansion du secteur Beauport par le port de Québec, le modèle numérique est agrandi pour représenter la même étendue que le modèle physique (Figure 2.2). Le modèle numérique est alors exclusivement exploité pour la marée de vive-eau du 22 juin 1971, pour laquelle beaucoup de données de niveaux d'eau, courants et même de débits avaient été recueillies sur le site en vue de valider les résultats du modèle physique.

Ce modèle est alors exploité avec le module hydrodynamique aux différences finies de Mike 21.

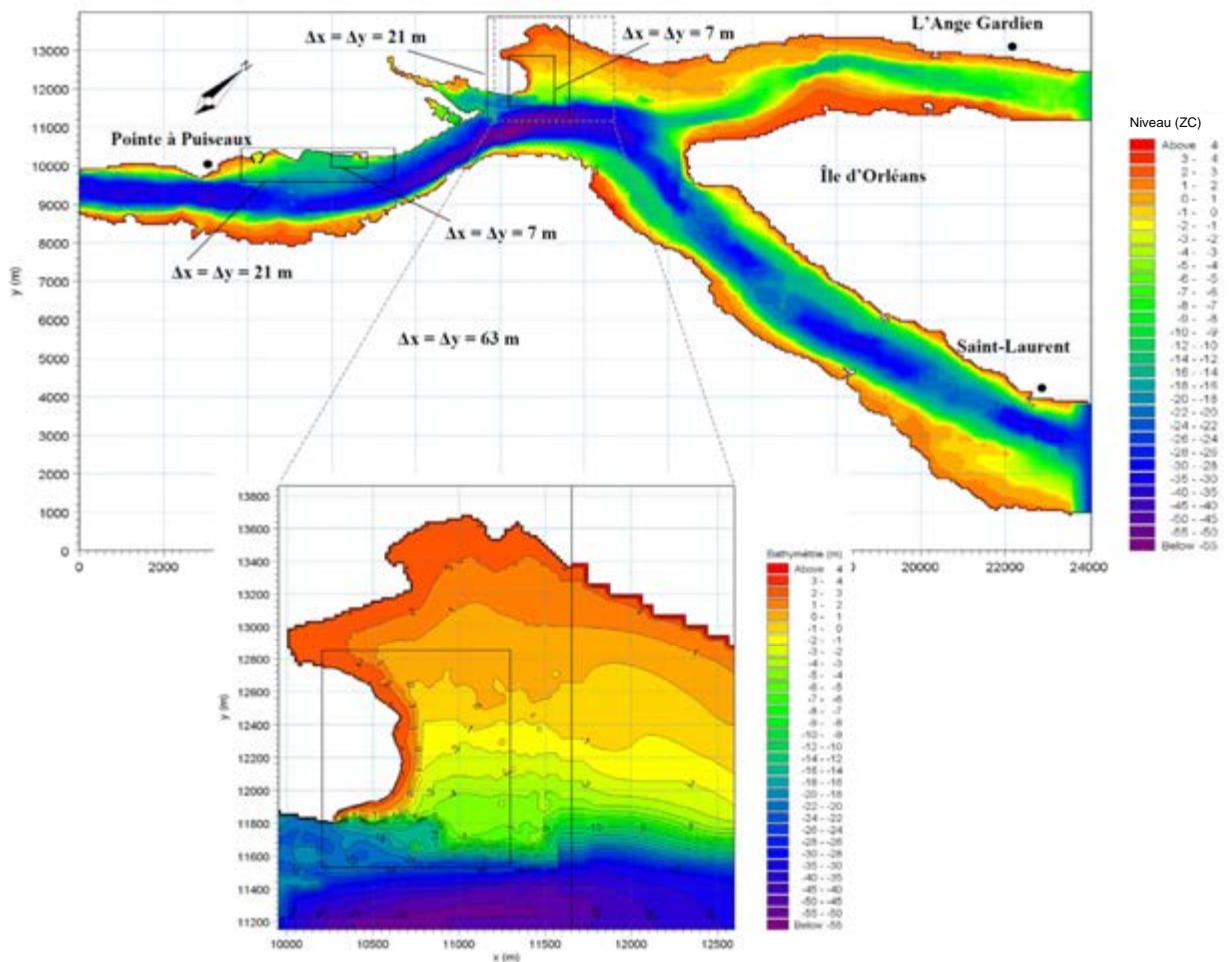


Figure 2.2 : Modèle d'ensemble du port de Québec (2006) – Formulation aux différences finies

Comme pour le modèle physique, les conditions aux limites (qui correspondaient à la marée du 22 juin 1971), étaient les suivantes :

- Débit à la limite amont (quai Irving);
- Débit dans le bras nord de l'île d'Orléans;
- Niveau d'eau dans le bras sud de l'île d'Orléans.

Il est à noter que le niveau de marée à la limite du bras sud de l'île d'Orléans était alors référencé, tout comme le modèle bathymétrique, au zéro des cartes du port de Québec.

Pour tenir compte de la migration de la plupart des modules de Mike 21 d'une formulation aux différences finies (avec maillages rectangulaires) vers une formulation aux volumes finis avec maillages flexibles, nous avons modifié le modèle d'ensemble du port de Québec en 2014 pour adopter cette nouvelle formulation (figure 2.3)

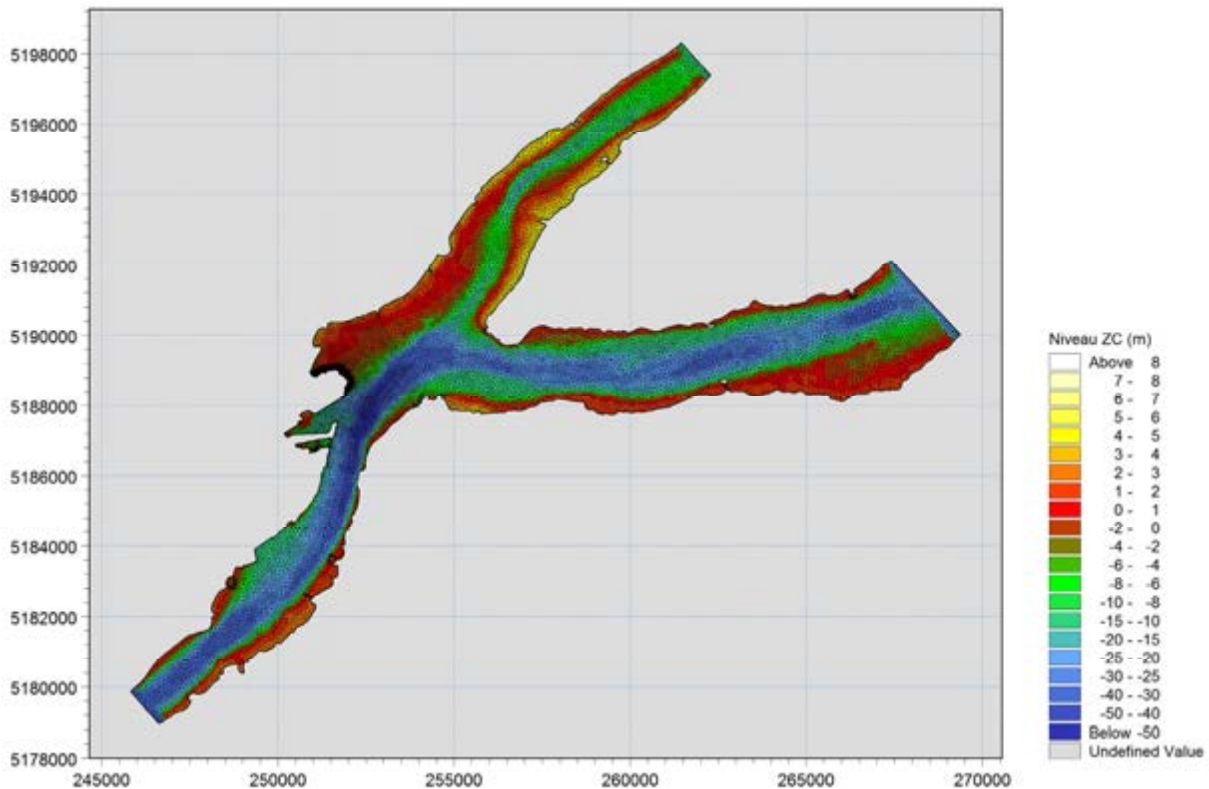


Figure 2.3 : Modèle d'ensemble du port de Québec (2014) – Formulation aux volumes finis

Les limites amont et aval demeuraient les mêmes que dans la version précédente du modèle numérique mais le maillage flexible était ajusté pour fournir la résolution requise le long des aménagements actuels et futurs. La taille des cellules triangulaires variait typiquement de 115-150 m de côté (aire de cellule de 5 727 à 9 743 m²) dans le champ éloigné à 5-10 m de côté (aire de 11 à 43 m²) dans les zones d'intérêt.

Indépendamment de la résolution spécifique des maillages utilisée lors d'une étude donnée, il importe de souligner que pour l'ensemble de nos travaux de modélisation, nous nous sommes toujours assurés d'avoir des maillages conduisant à des résultats convergents, n'étant pas influencés par la taille des cellules. Le choix précis de la résolution du maillage était alors établi en fonction de la géométrie des aménagements à reproduire et des phénomènes à étudier.

En 2014, en parallèle avec la mise à niveau du modèle numérique vers la formulation aux volumes finis, nous avons également modifié la définition des conditions aux limites du modèle afin d'en augmenter la flexibilité. Afin d'élargir la gamme des conditions de marée pouvant être simulées au modèle numérique et dans le but de procéder aux

simulations hydro-sédimentaires et morphologiques à plus long terme rendues possibles par les nouveaux modules de Mike 21, le modèle numérique du port utilisé à partir de 2014 reposait sur l'imposition de niveaux d'eau (variation de la marée) à chacune des trois limites du modèle.

La disponibilité accrue en ligne des prédictions de marée du Service hydrographique du Canada (SHC) combinée à l'analyse harmonique nous a permis à partir de ce moment de générer, pour n'importe quelles dates, des séries temporelles de niveau applicables à chacune des limites du modèle :

- Limite amont coïncidant avec la station Quai Irving du SHC;
- Limite aval sud vis-à-vis la station Saint-Laurent de l'île d'Orléans du SHC;
- Limite aval nord située entre les stations Montmorency et Sainte-Anne-de-Beaupré du SHC, avec des niveaux d'eau calculés par interpolation linéaire des niveaux prédits à ces deux stations.

Comme pour la version antérieure du modèle numérique, ces niveaux de marée aux limites du modèle étaient référencés au zéro des cartes nautiques (ZC). Toutefois, comme on le verra plus loin, les écarts entre le ZC local à chacun de ces endroits a introduit une erreur non négligeable dans les résultats de simulation.

En 2016, suite à des relevés in situ des courants de marée effectués en vue de valider les résultats de notre modèle numérique (et également de confirmer la validité de l'hypothèse d'un écoulement bidimensionnel), nous avons vérifié que le bras nord de l'île d'Orléans pouvait être raccourci dans notre modèle, sans impact tangible sur la prévision des courants et des niveaux d'eau. La limite aval nord de cette nouvelle version du modèle a donc été modifiée pour correspondre à la station Montmorency du SHC (figure 2.3).

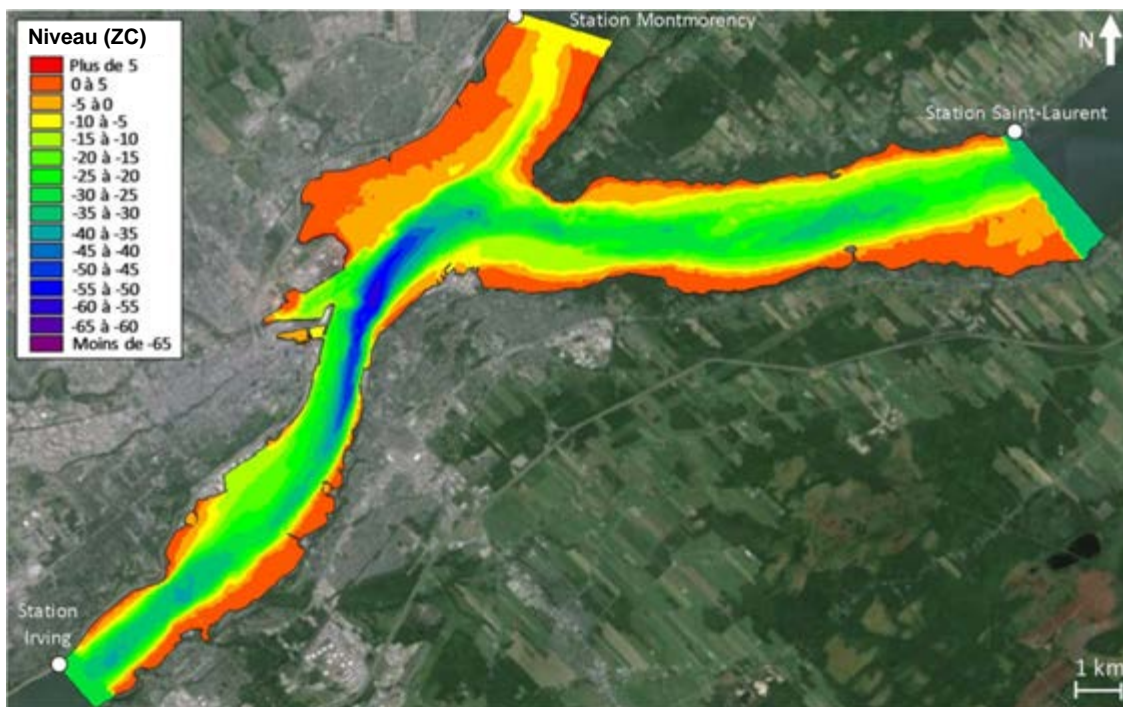


Figure 2.4 : Modèle d'ensemble du port de Québec (2016) – Formulation aux volumes fins

2.2 Problématique de la référence altimétrique

La figure 2.5 présente l'élévation du zéro des cartes fournies par le SHC aux principales stations marégraphiques de la zone à l'étude.

<i>Emplacement</i>	<i>Élévation (m) du ZC par rapport au NMM</i>	<i>Écart (m)</i>
Port de Québec (Cartes 1315, 1316 et 1317) Valeur uniforme considérée dans nos modèles antérieurs	-2,00	---
Station 3264 Quai Irving (limite amont du modèle)	-1,91	0,09
Station 3248 Vieux-Québec	-1,98	0,02
Station 3110 Saint-Laurent I.O. (limite aval sud)	-2,11	-0,11
Station 3095 Montmorency (limite aval nord, modèle 2016)	-1,78	0,22
Station 3087 Sainte-Anne-de-Beaupré	-2,39	-0,39



Figure 2.5 : Élévation du ZC par rapport au NMM dans la zone à l'étude

Le maintien dans notre modèle hydrodynamique d'un référentiel en ZC découlait essentiellement de la difficulté d'obtenir auprès du SHC des données exprimées en niveau moyen des mers (NMM), l'ensemble des données de niveaux (niveaux d'eau et bathymétrie des minutes ou levés hydrographiques) étant exprimées par rapport au ZC.

Outre la liste des écarts ZC-NMM de certaines localités le long du Saint-Laurent (voir par exemple la figure 2.5), nous n'avons par le passé jamais pu obtenir une grille de conversion systématique ZC-NMM pour le Saint-Laurent, et ce malgré de multiples demandes en ce sens.

La bathymétrie de notre modèle était ainsi référencée au zéro des cartes du port de Québec, tel qu'indiqué par les cartes nautiques 1315, 1316 et 1317 du SHC, et qui se situe 2,0 m sous le niveau moyen des mers (NMM). À la limite amont du modèle (station Irving), le zéro des cartes local est plus élevé de 9 cm, alors que le ZC local des stations Montmorency (bras nord) et Saint-Laurent se situe respectivement 22 cm au-dessus et 11 cm en dessous du ZC du port de Québec.

Avec les profondeurs relativement importantes du fleuve dans la zone à l'étude, de tels écarts appliqués à la bathymétrie des fonds n'auraient probablement pas eu un impact dramatique sur les résultats, bien qu'un écart de 22 cm appliqué au bras nord de l'île d'Orléans puisse conduire à un changement important de l'étendue des zones d'estran au cours d'un cycle de marée.

L'impact potentiel le plus important de l'utilisation du ZC plutôt que le NMM réside plutôt dans les erreurs de niveau d'eau induites aux limites amont et aval du modèle numérique. Ces erreurs peuvent en retour se traduire par un déphasage significatif du signal de marée.

Dans la question ACEE-8, les représentants d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) soulignent que «le Service hydrographique du Canada (SHC) fournit maintenant, sur demande, une grille de correction pour passer du Zéro des cartes (ZC) au Niveau moyen de la mer (NMM)». À noter que jusqu'en 2016, nos demandes répétées au SHC n'avaient jamais permis de connaître l'existence de cette grille.

Dans le cadre du présent mandat, nous avons été appuyés à ce sujet par M. Christian Comtois, Superviseur de projet d'ingénierie au SHC. Il nous a confirmé l'existence pour le Saint-Laurent d'une grille donnant non pas la conversion du ZC vers le NMM mais plutôt du ZC vers l'élévation géodésique (i.e. par rapport à l'ellipsoïde GRS80). À l'aide de l'utilitaire GPS-H de Ressources Naturelles Canada, nous avons ensuite pu transférer les élévations géodésiques en élévations orthométriques relatives au NMM.

Le résultat de cette conversion est illustré à la figure 2.6 où les écarts ZC-NMM correspondant à la grille du SHC ont été interpolés pour l'ensemble de la zone à l'étude. Comme l'indique la tableau 2.1, cette conversion a conduit à des écarts ZC-NMM très proches de ceux diffusés par le SHC pour les différentes localités du secteur, sauf à la station Montmorency où la grille de conversion conduit à un écart ZC-NMM de 2,05 m, plus cohérent avec les écarts des stations voisines que l'écart de 1,78 m diffusé par le SHC pour cette station.

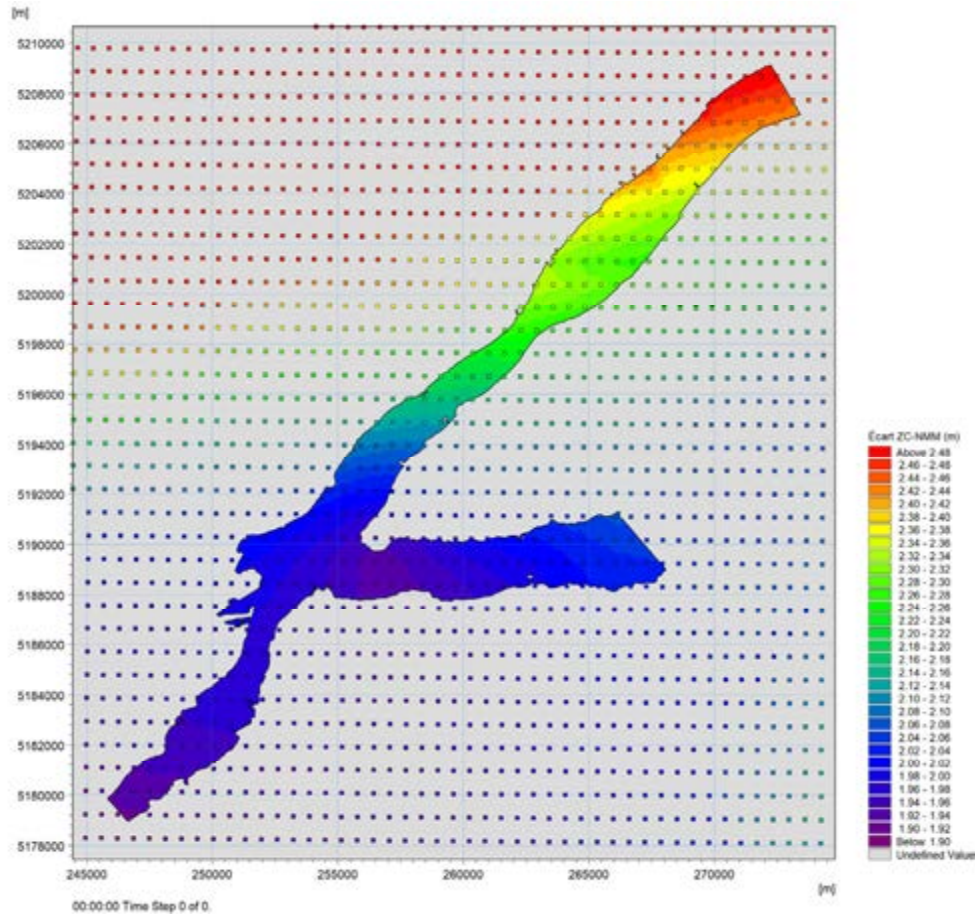


Figure 2.6 : Grille d'écart ZC-NMM pour la zone à l'étude

Tableau 2.1 : Conversion ZC-NMM pour les principales localités

Limites du Modèle Lasalle NHC	STATION SHC CORRESPONDANTES	Lat	Long	h	N	H = h - N	Valeur Officielle du ZC en NMM	Écart (m)
				Elev du ZC en géodésique (m)	Ondulation du Géοide (m)	Elev ZC en NMM (m)		
Amont	3264 Irving	46.75	71.2666667	-30.222	-28.309	-1.91	-1.91	0.00
---	3248 Vieux-Québec	46.825	71.1916667	-30.059	-28.079	-1.98	-1.98	0.00
Aval Nord	3095 Montmorency	46.875	71.1333333	-29.935	-27.883	-2.05	-1.78	0.27
Aval Sud	3110 Saint-Laurent I.O.	46.85	71	-30.023	-27.974	-2.05	-2.11	-0.06

Valeurs diffusées par le SHC/MPO
 Obtenu avec GPS-H (Altimétrie : CGVD28 - Géοide: HT2_1997 - Réf : NAD83 (SCRS))
 Extrait de la grille transmise par SHC/MPO

Afin d'éviter les incertitudes liées à la référence altimétrique de la station Montmorency, et dans le but d'éloigner la limite aval du bras nord de l'île d'Orléans de la zone d'étude, une nouvelle version du modèle hydrodynamique a été développée en déplaçant cette limite vers la station de Sainte-Anne de Beaupré et en rattachant l'ensemble du modèle (bathymétrie et niveaux de marée imposés aux limites) au NMM plutôt qu'au ZC.

2.3 Nouvelle version du modèle hydrodynamique

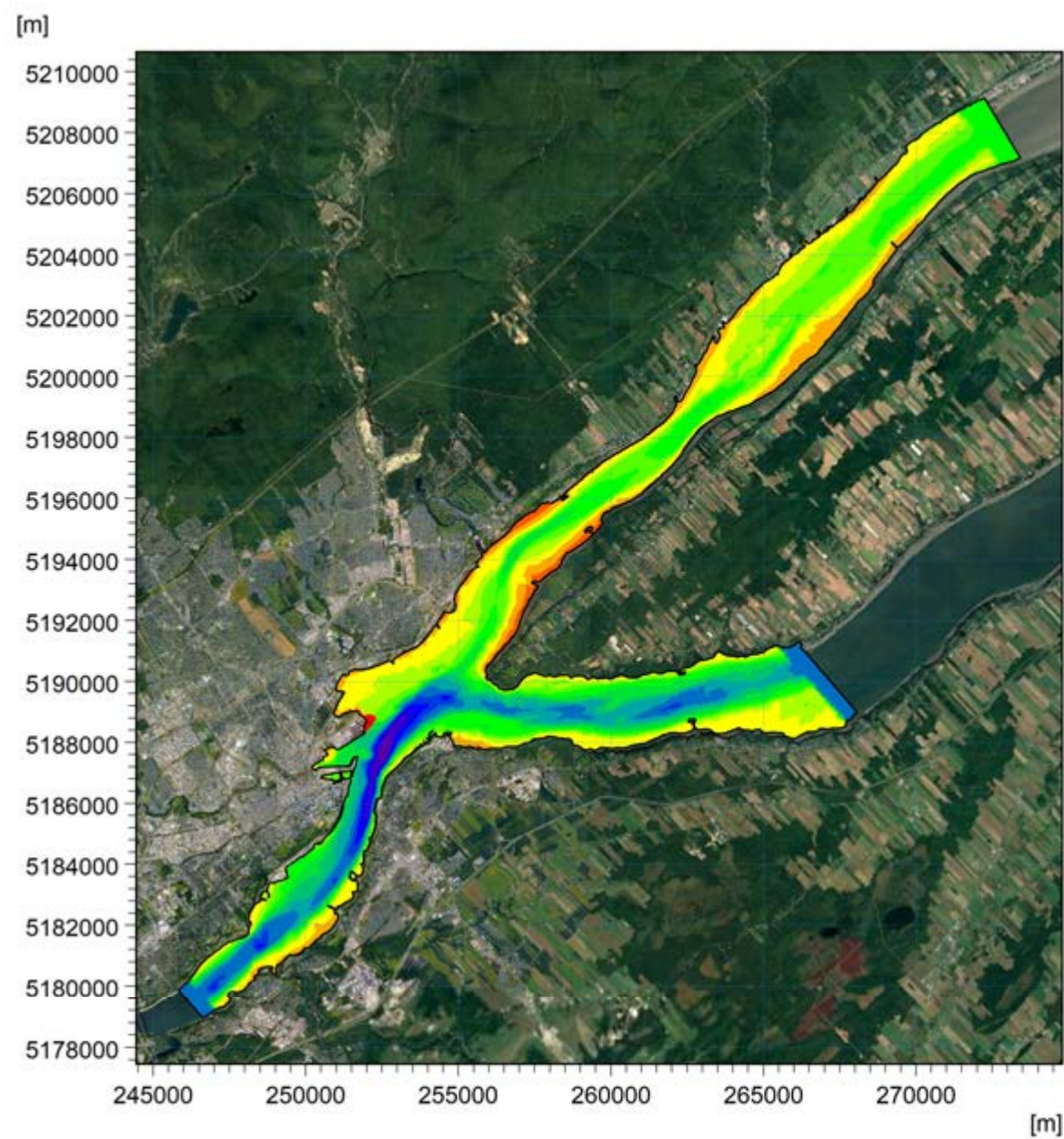
2.3.1 Étendue du modèle et conditions aux limites

La figure 2.7 illustre la nouvelle version du modèle numérique développée dans le cadre du présent mandat. La limite amont du modèle se situe toujours à la hauteur de la station Quai Irving et la limite aval sud à la station Saint-Laurent de l'île d'Orléans. La nouvelle limite aval nord se situe maintenant à la station Sainte-Anne-de Beaupré. Ce domaine permet d'utiliser les prévisions de niveaux de marée du SHC à ces stations comme conditions aux limites du modèle.

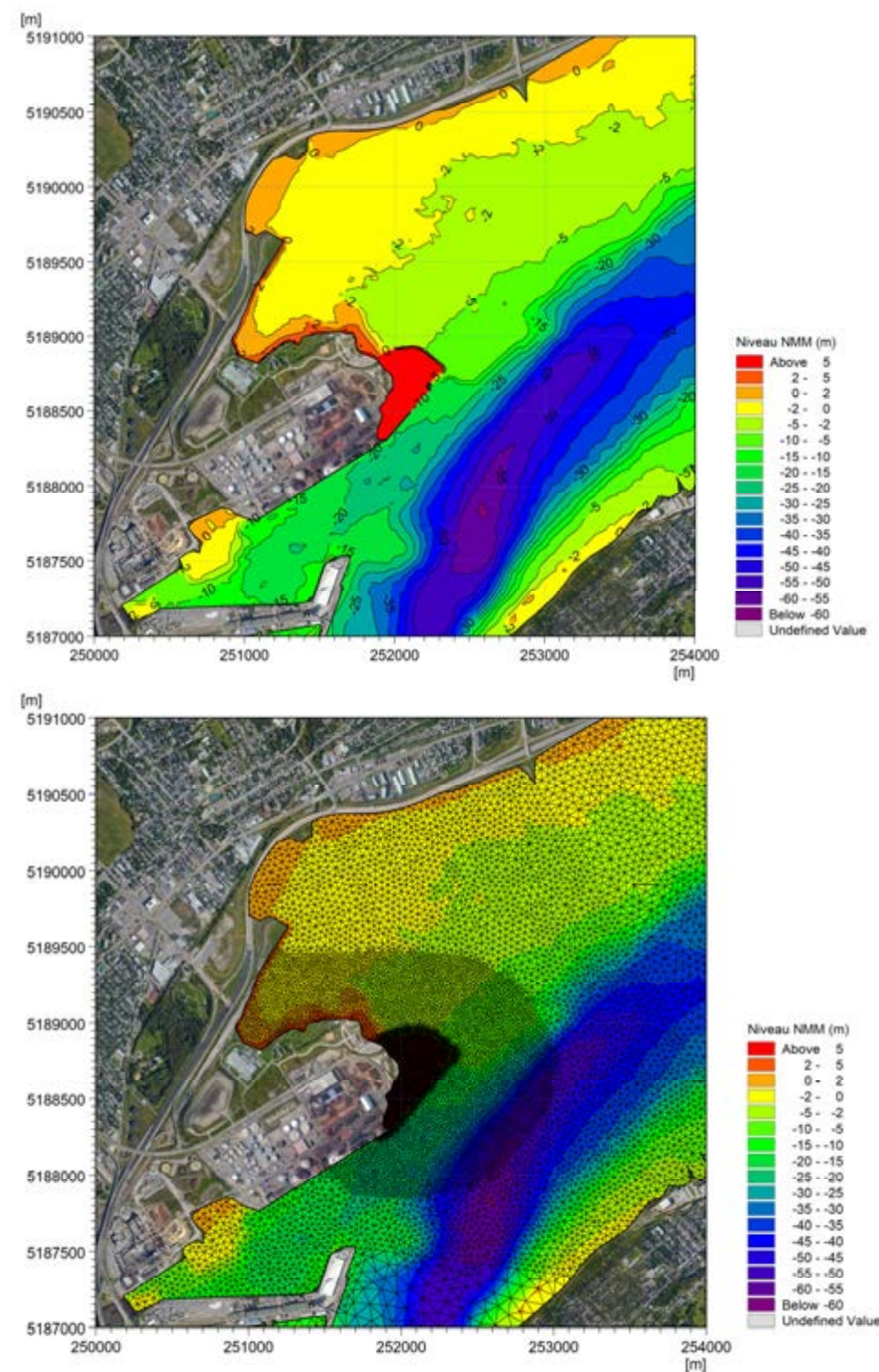
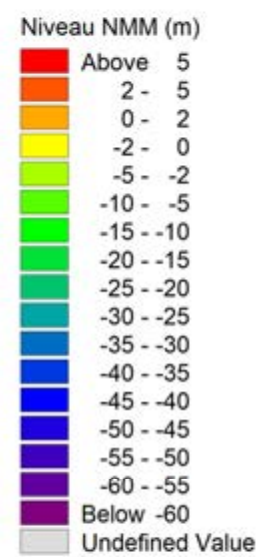
La figure 2.7a offre une vue d'ensemble du modèle bathymétrique et la figure 2.7b présente la bathymétrie dans le secteur Beauport, de même qu'un aperçu du maillage utilisé pour comparer les conditions hydrodynamiques avant et après aménagement (voir section 4).

À noter que pour pouvoir compter sur des mesures de niveaux en continu du SHC plutôt que sur des prédictions, il aurait fallu allonger le modèle vers l'amont jusqu'à la station Neuville, située à environ 25 km de notre limite actuelle (Quai Irving). Des données de niveau sont également disponibles à proximité des limites aval de notre modèle, à la station Saint-François de l'île d'Orléans. La localisation de cette station ne peut toutefois pas constituer une limite du modèle numérique car elle ne permet pas de départager l'écoulement de part et d'autre de l'île. Plus en aval, le SHC ne dispose de données de niveaux d'eau en continu qu'à la station de Saint-Joseph-de-la-Rive, située dans le chenal de l'île aux Coudres. Encore une fois, cet emplacement n'est pas idéal pour constituer une limite de modélisation et la limite aval d'un modèle étendu vers l'aval devrait plutôt coïncider avec le secteur de Pointe-aux-Orignaux, situé à plus de 80 km en aval des limites de notre modèle. Il va sans dire qu'aucune mesure systématique ou en continu des courants ou débits de marée n'est disponible dans l'estuaire du Saint-Laurent.

Lors d'une réunion tenue le 15 novembre dernier en présence des représentants de l'APQ, d'Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) et d'Englobe, les experts d'ECCC ont insisté sur l'importance d'utiliser des mesures plutôt que des prédictions aux limites du modèle. Il est clair que des mesures directes des niveaux d'eau et, surtout, des vitesses ou débits liés à la marée contribuent grandement à la précision des résultats de modélisation hydrodynamique. Si elle est souhaitable d'un point de vue théorique, une telle approche peut difficilement être appliquée en pratique dans le cas du port de Québec. D'une part, comme nous venons de le mentionner, la zone à l'étude ne dispose pas de données hydrométriques disponibles en continu. D'autre part, notre modèle hydrodynamique est développé dans un contexte commercial à des fins prévisionnelles et la mise en œuvre de chaque cas de simulation ne peut dépendre de la réalisation préalable de mesures in situ aux limites amont et aval du modèle.



a) Vue d'ensemble



b) Bathymétrie et maillage – Secteur Beauport

Figure 2.7 : Nouvelle emprise du modèle numérique

Les experts d'ECCC ont également mentionné l'intérêt d'un modèle plus étendu. Dans le présent cas, l'allongement du modèle de calcul ne conduit pas à une amélioration tangible des données disponibles pour la définition des conditions aux limites (à moins évidemment de réaliser pour chaque cas de simulation des relevés spécifiques aux fins de la modélisation).

Par ailleurs, un modèle plus étendu augmente l'impact exercé sur la propagation de l'onde de marée par les incertitudes liées à la bathymétrie et à la définition de la rugosité des fonds. En effet, un modèle « court » et contraint par des conditions aux limites adéquates laisse moins de place à ces incertitudes. Comme nous l'avons fait dans l'ensemble de nos travaux, il importe évidemment de s'assurer au préalable que l'écoulement aux limites de ce modèle demeure inchangé par la mise en place de l'aménagement projeté

La section 3 traite des travaux de validation de notre modèle hydrodynamique révisé, sur la base des relevés de courantométrie effectués par Englobe en 2015, 2016 et 2019. Dans le cas des relevés de 2015 et 2019, des simulations supplémentaires ont également été réalisées à l'aide d'un modèle numérique étendu jusqu'à Pointe-aux-Orignaux (figure 2.8).

Les simulations réalisées à l'aide de ce modèle plus étendu ont confirmé deux points :

- Les résultats obtenus dans la zone à l'étude étaient très similaires à ceux fournis par notre modèle révisé (figure 2.7) et n'apportaient pas d'amélioration (ou de détérioration) tangible dans la concordance des résultats de modélisation avec les relevés de courants et de niveaux effectués sur le terrain. Le partage du débit de marée de part et d'autre de l'île d'Orléans était également très similaire dans les deux modèles;
- Comme on devait s'y attendre, les résultats du modèle étendu se sont montrés plus sensibles à la définition de la rugosité des fonds que notre modèle révisé. Des essais de sensibilité effectués en variant le paramètre de rugosité (valeurs constantes ou variables en fonction de la profondeur) n'ont pas non plus introduit une amélioration tangible de la concordance des résultats de modélisation avec les relevés in situ.

D'une part, la similarité des résultats observée entre les deux modèles, et ce malgré une limite aval et des domaines de calcul bien différents, indique que l'utilisation de notre modèle révisé (avec limites aval distinctes de part et d'autre de l'île d'Orléans) n'introduit pas d'erreur ou de biais systématique dans les résultats de modélisation de la zone à l'étude.

D'autre part, les données de validation dont nous disposons sont clairement insuffisantes pour réaliser une calibration précise du modèle étendu et, par surcroît, une telle calibration demanderait un effort dépassant clairement le cadre dans lequel notre modèle numérique a été développé.

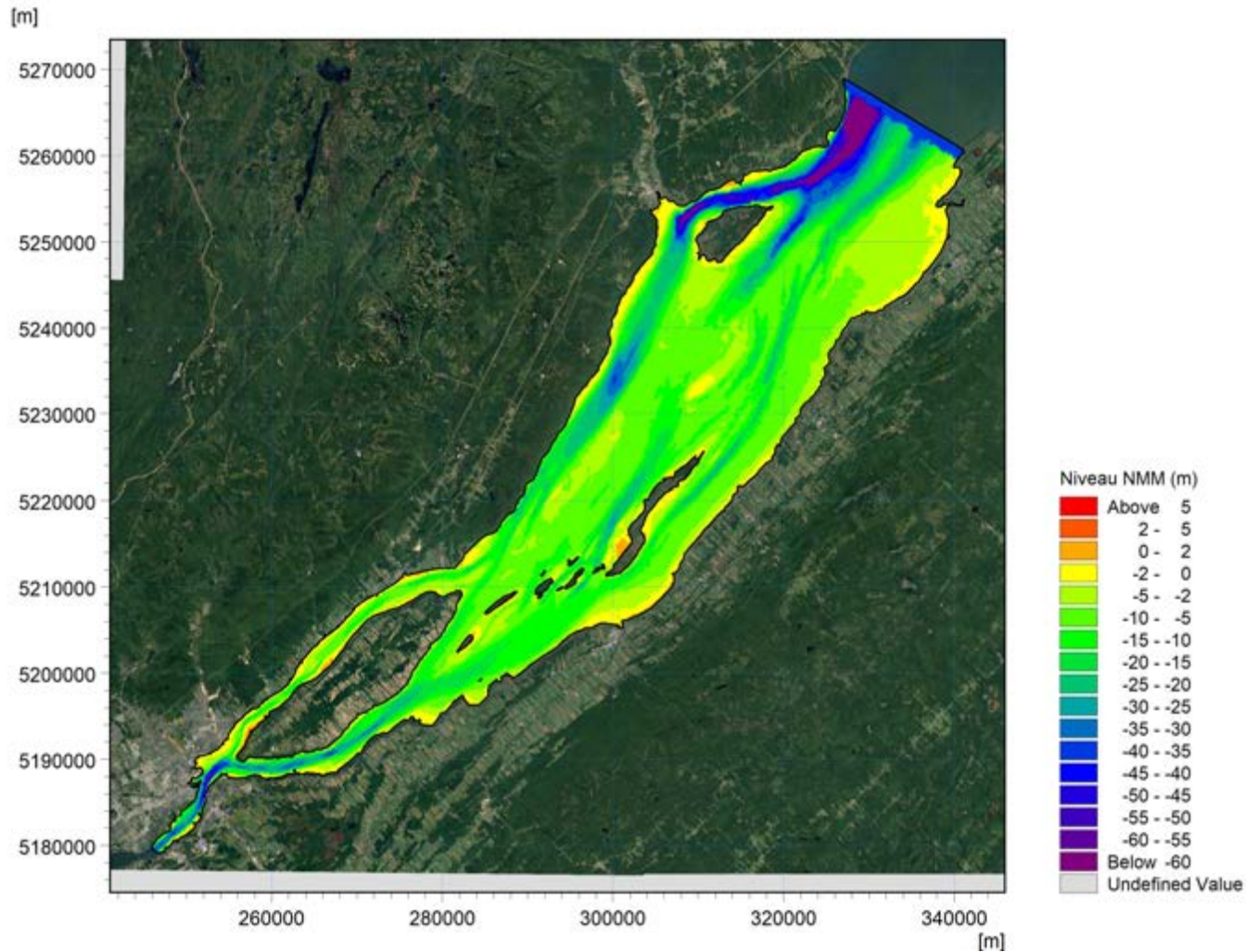


Figure 2.8 : Déplacement de la limite aval du modèle jusqu'à Pointe-aux-Orignaux

2.3.2 Débit dans le bras nord de l'île d'Orléans

La figure 2.9 compare les débits de marée obtenus dans le bras nord de l'île d'Orléans, près de la station Montmorency, pour la marée de vive-eau du 4 au 7 juin 2019. Les résultats de trois simulations sont comparés :

- **Modèle de 2016** : Référence altimétrique ZC et frontière aval nord à Montmorency (modèle de la figure 2.4);
- **Modèle révisé** : Référence altimétrique NMM et frontière aval nord déplacée à Sainte-Anne de Beaupré (modèle de la figure 2.7) – Rugosité des fonds uniforme $n = 0.030$;
- **Modèle étendu vers l'aval** : Limite aval déplacée à Pointe-aux-Orignaux (modèle de la figure 2.8) – Rugosité des fonds uniforme $n = 0.025$;

À noter que la rugosité uniforme de $n = 0,025$ conduisait pour le modèle étendu à la meilleure concordance des courants prédits par le modèle avec les valeurs mesurées sur le terrain en juin 2015.

La figure 2.9 indique en premier lieu que le modèle révisé reproduit bien la renverse des courants que le modèle de 2016 ne parvenait pas à bien reproduire. La figure illustre également que le modèle étendu conduit à un débit de marée relativement proche de celui prédit par le modèle révisé.

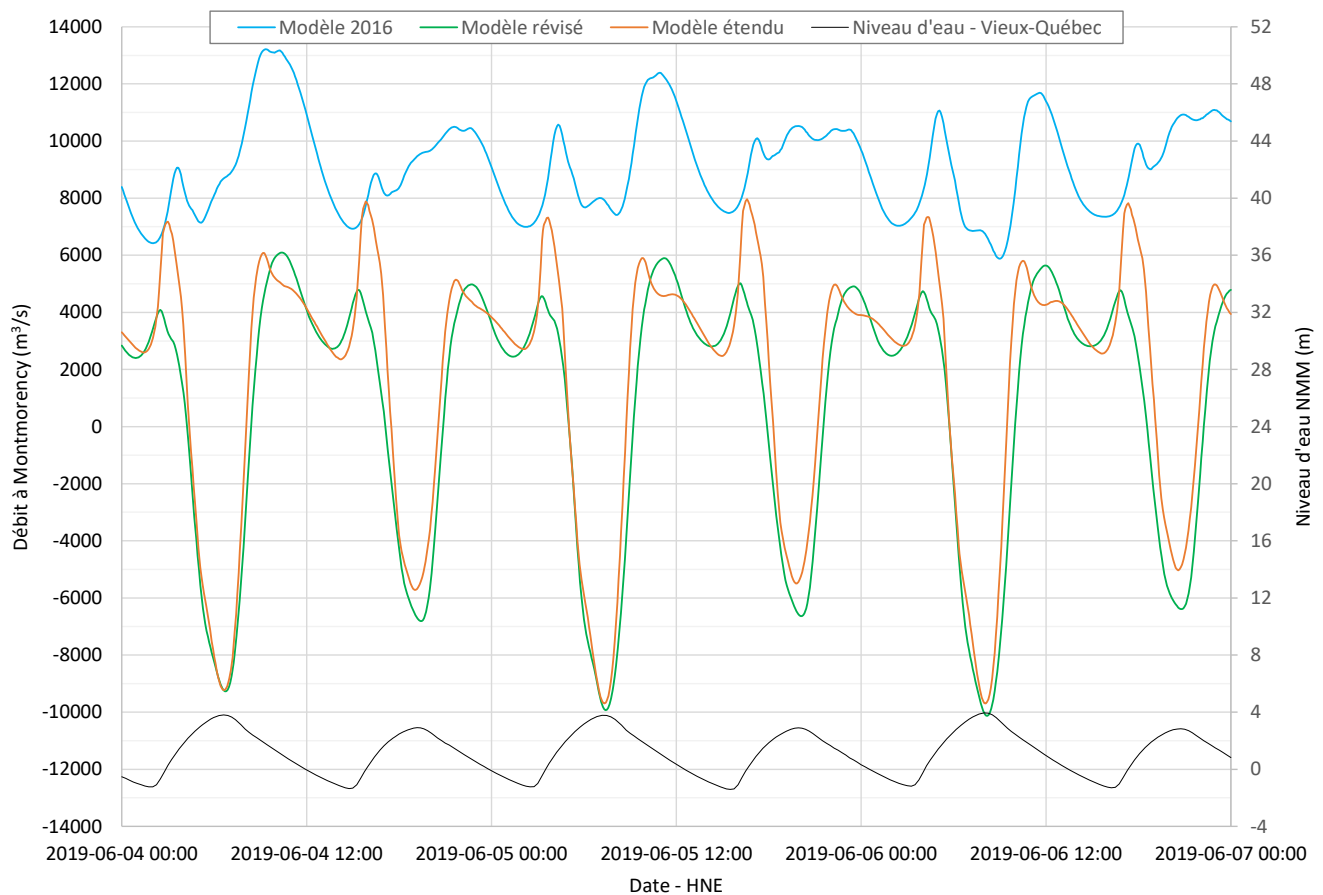


Figure 2.9 : Débit de marée dans le bras nord de l'île d'Orléans (Montmorency) – 4-7 juin 2019

2.3.3 Paramètres de modélisation

Les simulations visant à valider notre modèle numérique révisé (section 3) et à établir l'impact du nouvel aménagement (section 4) ou du débit de la rivière Saint-Charles (section 5) ont été réalisées sur la base des données bathymétriques et topographiques les plus récentes dont nous disposons et en utilisant le même maillage pour l'ensemble des simulations (figure 2.7b).

Les cellules triangulaires du maillage avaient une dimension variant d'environ 60 m (1 800 m²) dans le champ éloigné à 5 m (12,5 m²) dans la zone de l'extension portuaire.

Pour l'ensemble de ces simulations, la rugosité des fonds était uniforme dans l'ensemble du modèle de terrain et correspondait à un coefficient de Manning de $n = 0,030$.

Le paramètre de viscosité turbulente était calculé à l'aide de la formulation de Smagorinsky, avec constante de 0,28.

3 VALIDATION DES RÉSULTATS DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE

Trois séries de relevés des courants de marée ont été effectués dans la zone à l'étude par Englobe en 2015, 2016 et 2019. Le tableau 3.1 résume les dates, l'emplacement et les conditions de marée de chacun de ces relevés.

Tableau 3.1 : Relevés hydrométriques 2015 – 2016 et 2019

<i>Relevés</i>	<i>Dates</i>	<i>Conditions de marée</i>	<i>Emplacement</i>
2015	16 au 18 juin	Moyenne – Vive-eau H = 4,5 – 5,0 m	Devant la pointe de Beauport, vers le chenal de navigation
2016	19 -20 août	Vive-eau H = 5,0 – 5,3 m	Batture de Beauport et estuaire de la rivière Saint-Charles
2019	5 – 6 juin	Vive-eau H = 4,5 – 5,2 m	Le long de la pointe de Beauport
	26 – 27 juin	Morte-eau H = 3,0 – 3,3 m	

3.1 Validation des niveaux d'eau

Pour chacune des séries de relevés, les niveaux d'eau prédits par la modélisation hydrodynamique ont été validés à l'aide des niveaux enregistrés par le SHC à la station Vieux-Québec.

Tel que mentionné précédemment, les niveaux d'eau imposés aux limites de nos modèles sont basés sur les prédictions de marée du SHC. Pour maximiser la précision des résultats de modélisation et tenir compte des variations du niveau d'eau liés au débit fluvial et aux effets de surcotes/décotes, une correction a été appliquée aux niveaux de marée prédits par le SHC. Pour le modèle révisé, cette correction était uniforme aux trois limites du modèle et correspondait à l'écart entre les mesures et les prédictions du SHC à la station Vieux-Québec. La valeur suivante a été obtenue pour les diverses séries de relevés in situ :

- Campagne de mesures de mi-juin 2015 : +5 cm
- Campagne de mesures d'août 2016 : +2 cm
- Campagne de mesures début juin 2019 : +30 cm
- Campagne de mesures de fin juin 2019 : +20 cm

Dans le modèle étendu vers l'aval, les corrections précédentes étaient appliquées à la frontière amont (Quai Irving) et les prédictions du niveau de marée à la limite aval (axe entre les stations de Pointe-aux-Orignaux (rive sud) et Saint-Irénée (rive nord)) étaient corrigées avec l'écart observé entre les observations et les prédictions de la station de Saint-Joseph-de-la-Rive :

- Campagne de mesures de mi-juin 2015 : -10 cm
- Campagne de mesures début juin 2019 : +13 cm
- Campagne de mesures de fin juin 2019 : 0 cm

Comme l'indiquent les figures 3.1 à 3.4, le modèle révisé prédit à la station Vieux-Québec des niveaux d'eau montrant une excellente concordance avec les mesures du SHC. Les résultats de ce modèle sont également très proches de ceux prédits par le modèle étendu vers l'aval².

Il peut être a priori surprenant de constater que le modèle de 2016 (référence ZC avec limite aval nord à Montmorency) montre également une excellente concordance avec les niveaux mesurés par le SHC à Vieux-Québec.

² La concordance des niveaux d'eau prédits par le modèle étendu était également très bonne par rapport aux mesures du SHC disponibles à Saint-François I.O. et à Saint-Joseph-de-la-Rive.

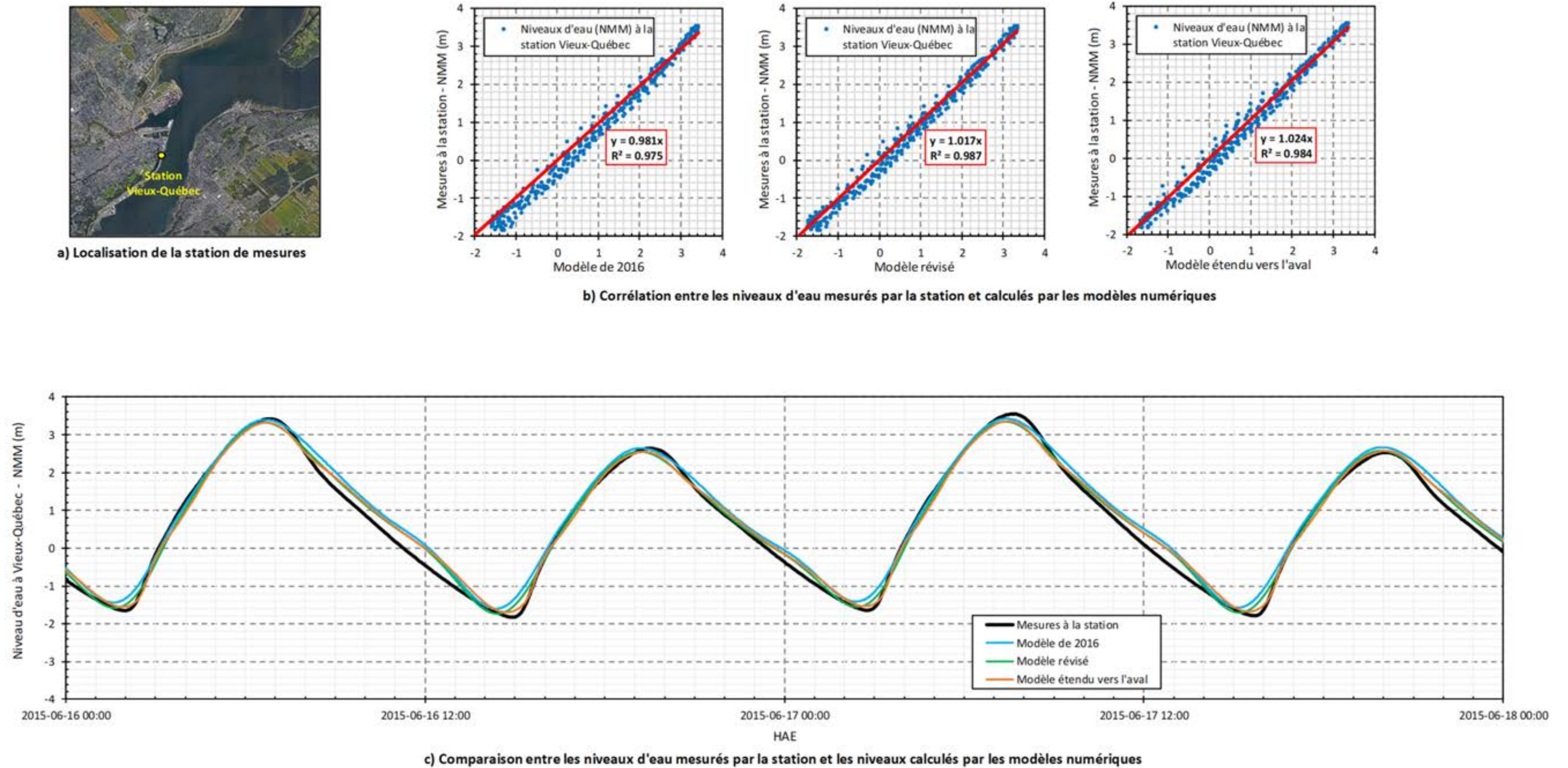
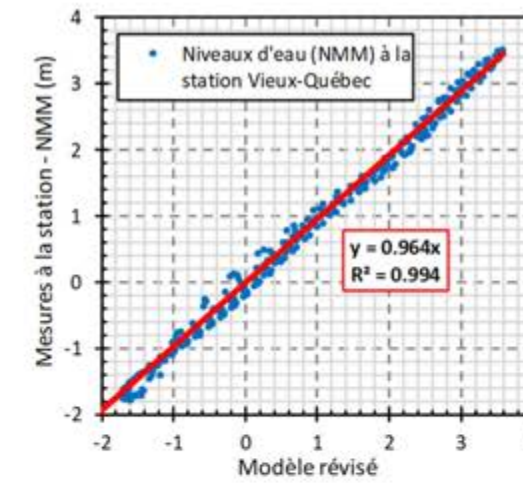
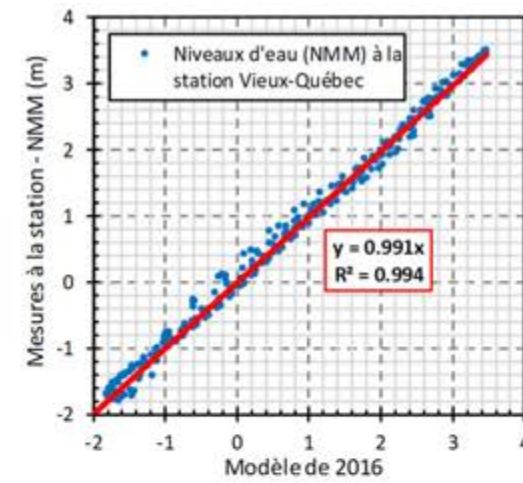


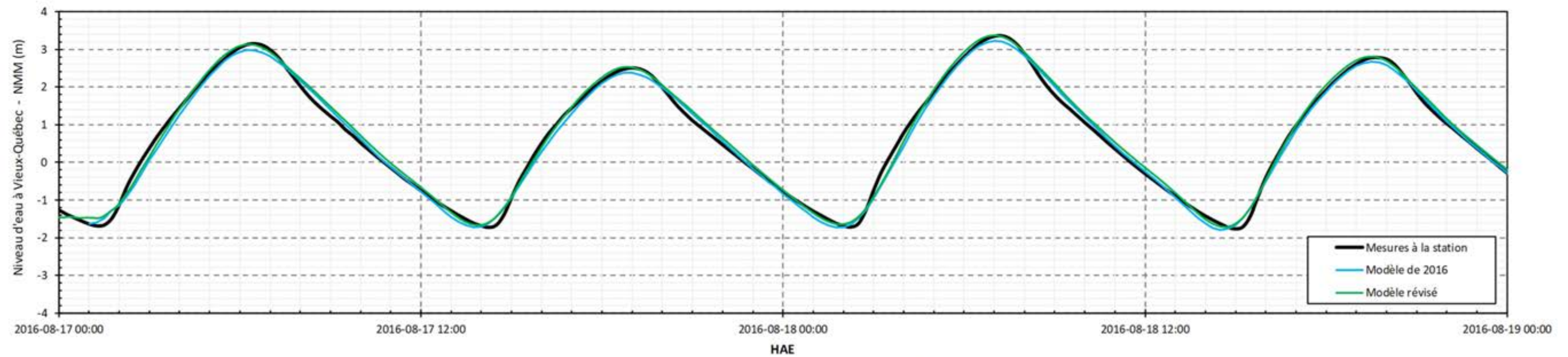
Figure 3.1 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 16 au 18 juin 2015



a) Localisation de la station de mesures



b) Corrélation entre les niveaux d'eau mesurés par la station et calculés par les modèles numériques

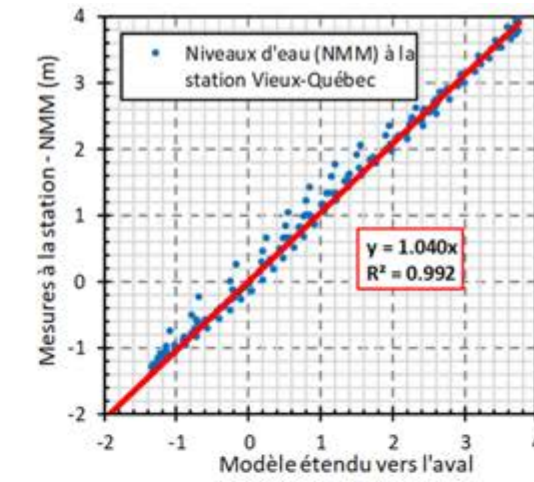
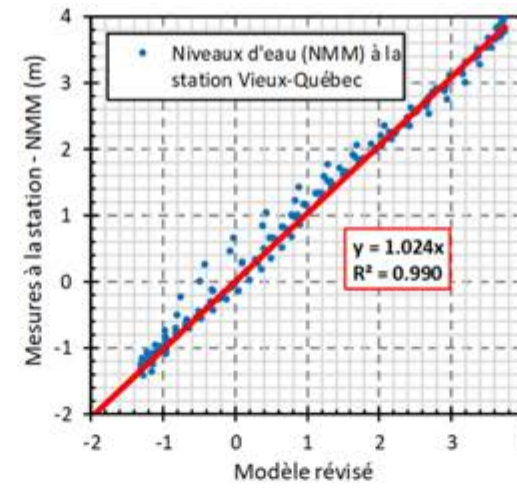
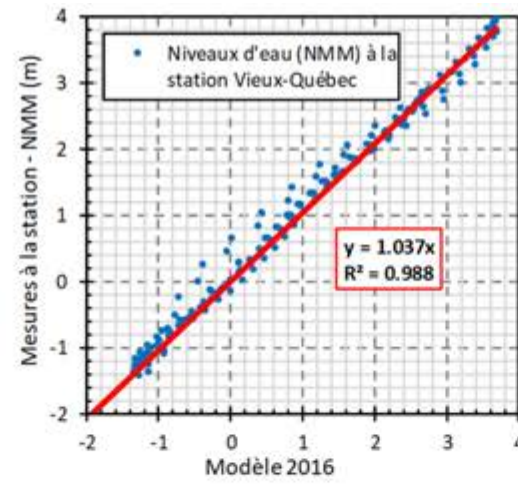


c) Comparaison entre les niveaux d'eau mesurés par la station et les niveaux calculés par les modèles numériques

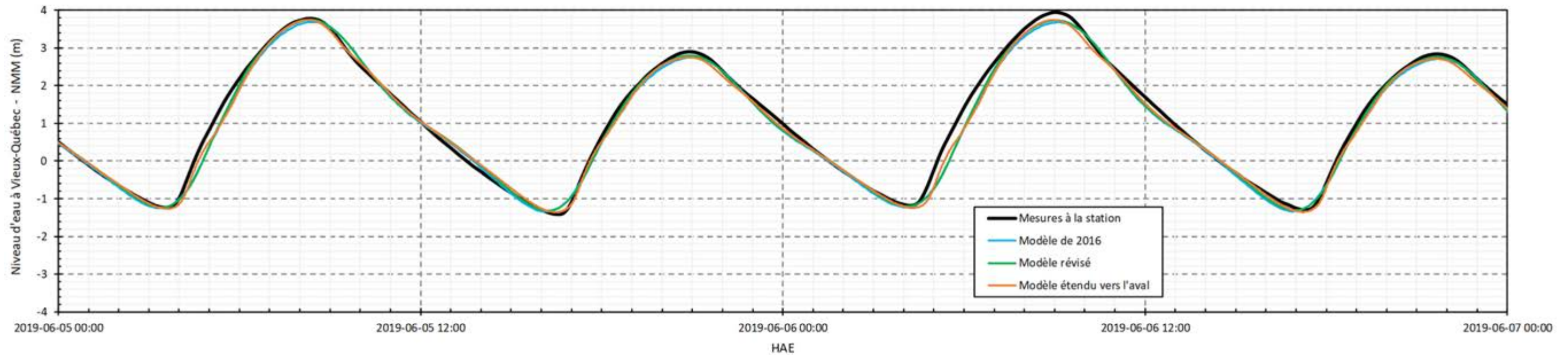
Figure 3.2 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 17 au 19 août 2016



a) Localisation de la station de mesures



b) Corrélation entre les niveaux d'eau mesurés par la station et calculés par les modèles numériques

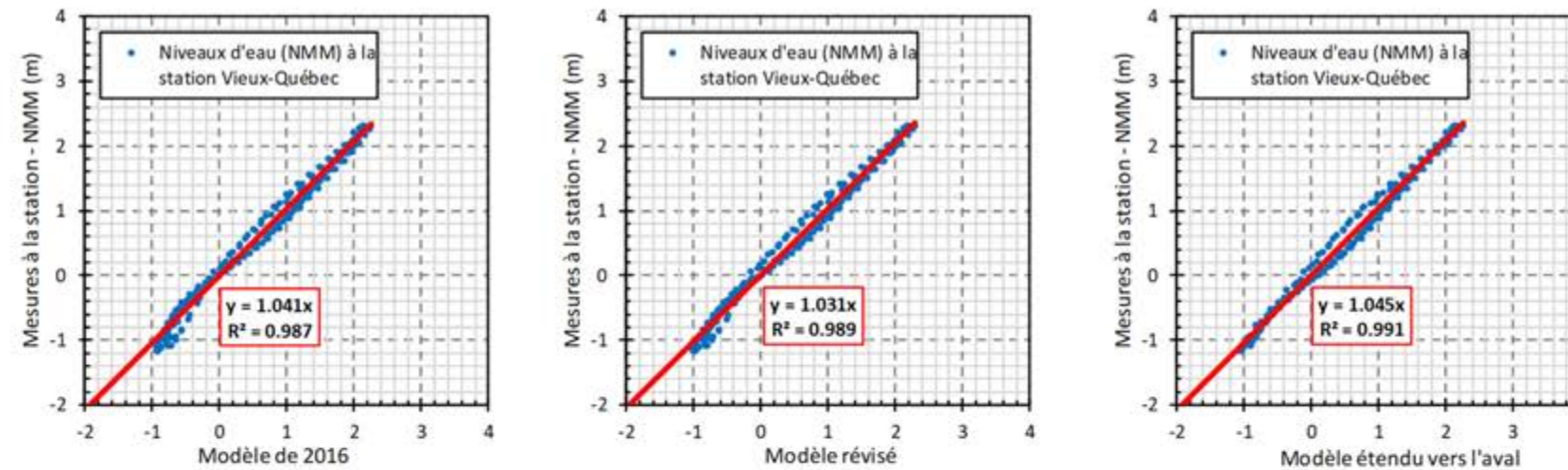


c) Comparaison entre les niveaux d'eau mesurés par la station et les niveaux calculés par les modèles numériques

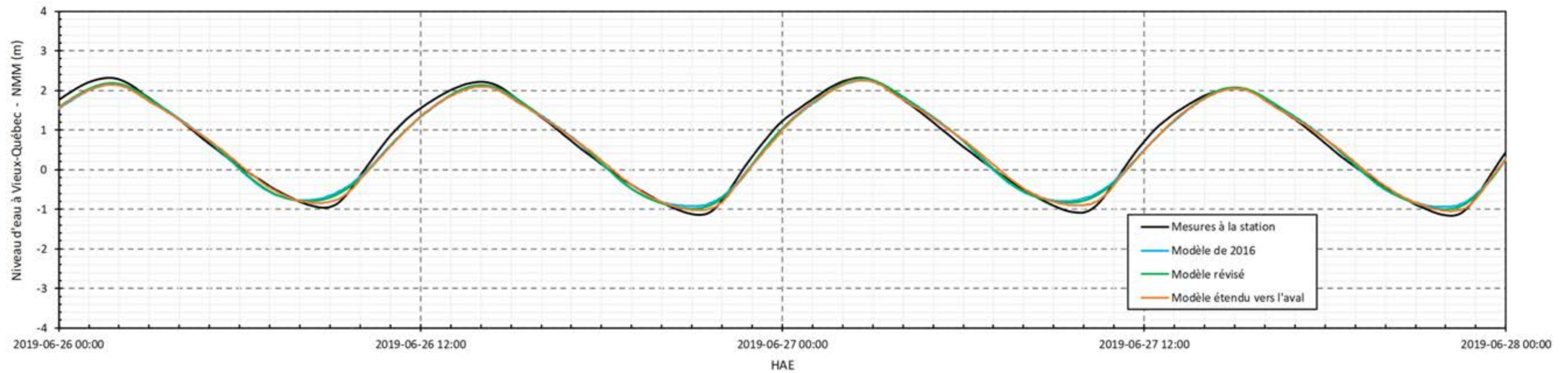
Figure 3.3 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 5 au 7 juin 2019



a) Localisation de la station de mesures



b) Corrélation entre les niveaux d'eau mesurés par la station et calculés par les modèles numériques



c) Comparaison entre les niveaux d'eau mesurés par la station et les niveaux calculés par les modèles numériques

Figure 3.4 : Validation des modèles – Niveaux à la station Vieux-Québec – 26 au 28 juin 2019

3.2 Validation des courants de marée

Pour chaque campagne de mesures, les courants de marée (vitesse et direction) ont été mesurés par Englobe à l'aide d'un ADCP le long de sections-en-travers. La figure 3.5 illustre l'emplacement des sections considéré pour chaque relevé. Après avoir au préalable confirmé que la variation des vitesses sur la verticale était suffisamment faible pour valider l'hypothèse de la modélisation 2D (voir rapport Lasalle|NHC no 0089 de 2016), les vitesses fournies par l'ADCP ont été intégrées sur la verticale puis traitées pour obtenir la variation des courants (en intensité et direction) en fonction du temps le long de chacune des sections-en-travers.

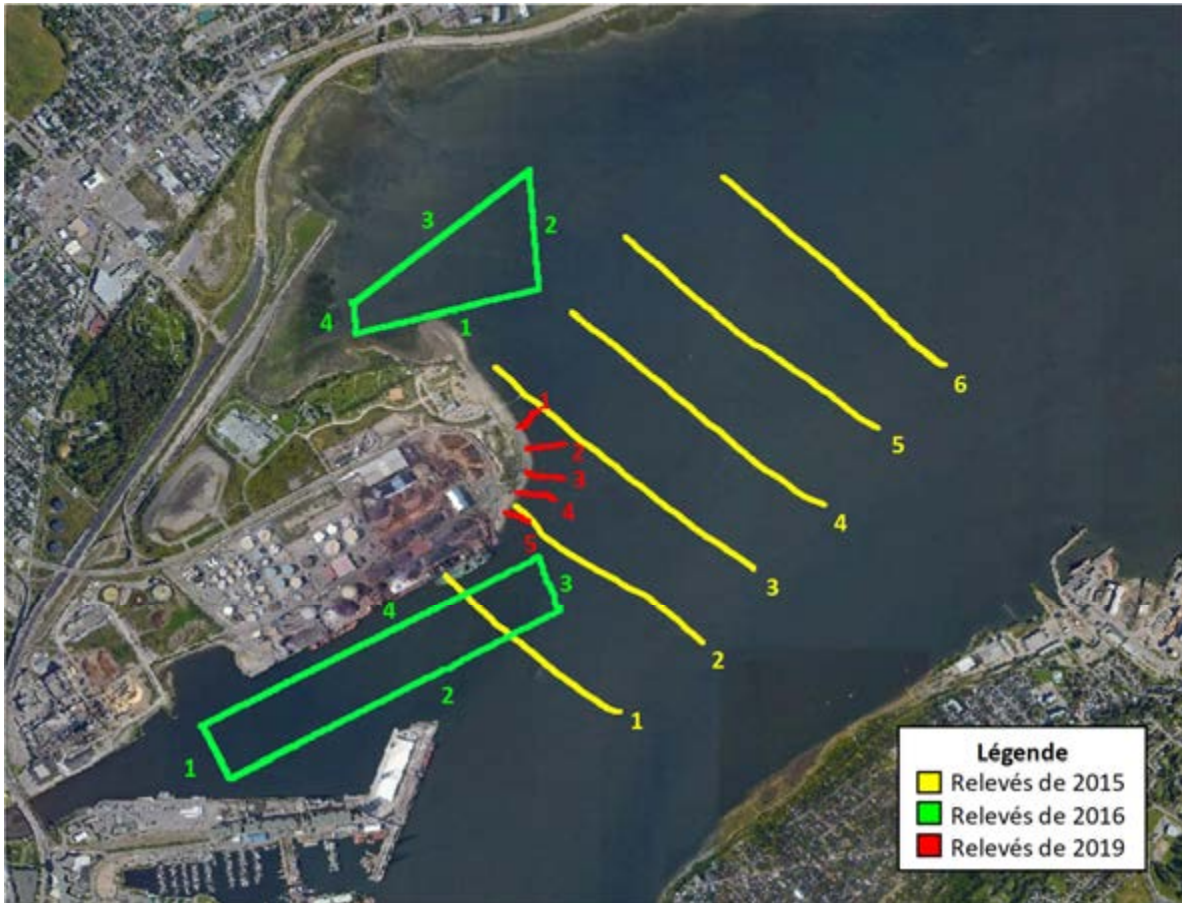


Figure 3.5 : Sections de mesure des courants 2015-2016-2019

Les vitesses et directions mesurées varient donc non seulement dans le temps mais également selon la position le long de chacune des sections. Les annexes B, C et D présentent les résultats détaillés obtenus lors des relevés de 2015, 2016 et 2019 respectivement. Les figures comparent également les mesures de terrain avec les valeurs correspondantes prédites par nos modèles numériques. Des outils de post-traitement ont été développés à cette fin en vue de bien « suivre » la progression de l'ADCP au cours des relevés. Les figures comportent des résultats issus de trois versions de notre modèle :

- Modèle de 2016 (relevés de 2015 et 2016);
- Modèle révisé (relevés de 2015, 2016 et 2019);
- Modèle étendu vers l'aval (relevés de 2015 et 2019).

Les figures 3.6 et 3.7 illustrent des exemples de résultats obtenus pour les relevés de 2015 et 2016.

L'exercice de validation est relativement compliqué, à cause de la complexité inhérente des écoulements, et ce surtout dans les zones de faibles vitesses soumises à de fréquents courants de retour (gyres), mais également à cause de la technique de mesure qui implique des relevés en mouvement plutôt qu'à une station fixe.

L'examen de l'ensemble des figures des annexes B, C et D conduit aux observations suivantes :

- Le modèle révisé et le modèle étendu conduisent à des résultats généralement assez similaires. La concordance avec les mesures in situ d'un modèle par rapport à l'autre peut être améliorée pour certains cas, mais se détériore pour d'autres cas. La similarité des résultats fournis par ces deux modèles, malgré les différences importantes des domaines modélisés et des conditions aux limites, tend à démontrer que l'utilisation du modèle « court » est tout à fait valable dans le cas présent;
- Ces deux modèles augmentent sensiblement la concordance avec les mesures par rapport au modèle de 2016, mais il est surprenant de constater que les résultats fournis par ce dernier sont souvent proches de ceux fournis par le modèle révisé et/ou le modèle étendu;
- Pour les relevés de 2015, qui incluent l'écoulement principal du fleuve, la concordance entre les résultats de modélisation et les mesures est généralement satisfaisante (voir exemple, figure 3.6);
- Pour les zones de faibles vitesses, donnant souvent lieu à la formation de gyres, la concordance est parfois moins bonne, mais demeure acceptable dans bien des cas (voir exemple, figure 3.7).

À la lumière de ces résultats, il apparaît clair que le modèle numérique révisé fournit des résultats satisfaisants pour la définition de l'impact de l'extension portuaire sur les conditions hydrodynamiques.

Des erreurs et incertitudes peuvent évidemment subsister si une représentation parfaite est requise pour l'ensemble des champs de vitesses mesurés dans la zone à l'étude. Il importe toutefois de souligner à cet égard que les données de validation dont nous disposons ne permettent pas une calibration aussi détaillée du modèle numérique, et ce surtout dans le cas du modèle étendu vers l'aval.

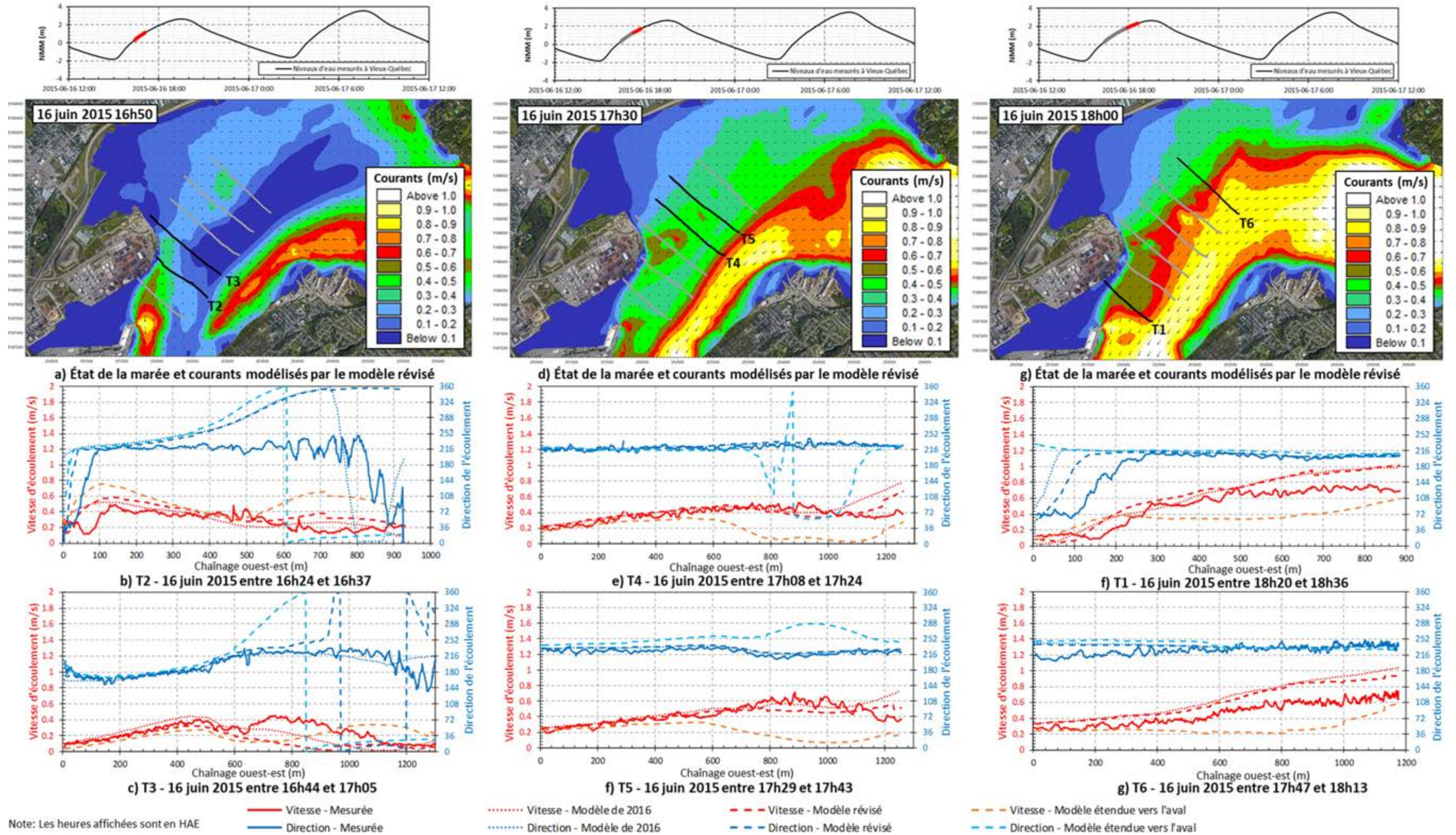


Figure 3.6 : Validation des modèles – Courants de marée – Juin 2015 (exemple)

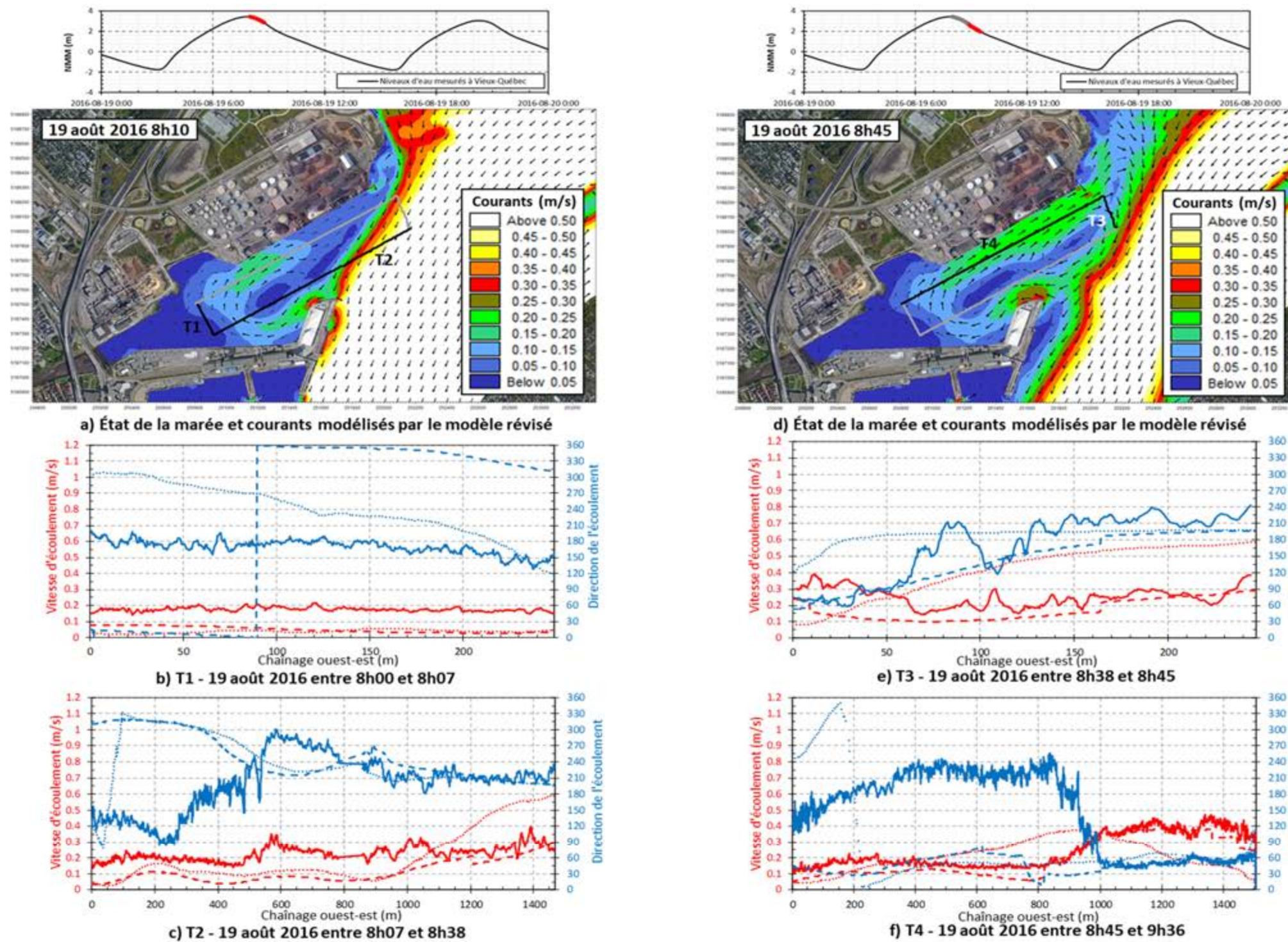


Figure 3.7 : Validation des modèles – Courants de marée - Août 2016 (exemple)

4 IMPACTS DE L'EXTENSION PORTUAIRE SUR LES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

4.1 Aménagement à l'étude

La figure 4.1 illustre la configuration la plus récente de l'extension portuaire projetée par l'APQ. L'aménagement est pratiquement identique à celui pris en compte dans les dernières études de Lasalle|NHC, sauf pour la diminution de la longueur de quai (l'extension comporte maintenant un remblai en enrochement dans le prolongement du quai) et la réduction qui en résulte pour l'emprise de la zone draguée à -16 m (ZC).

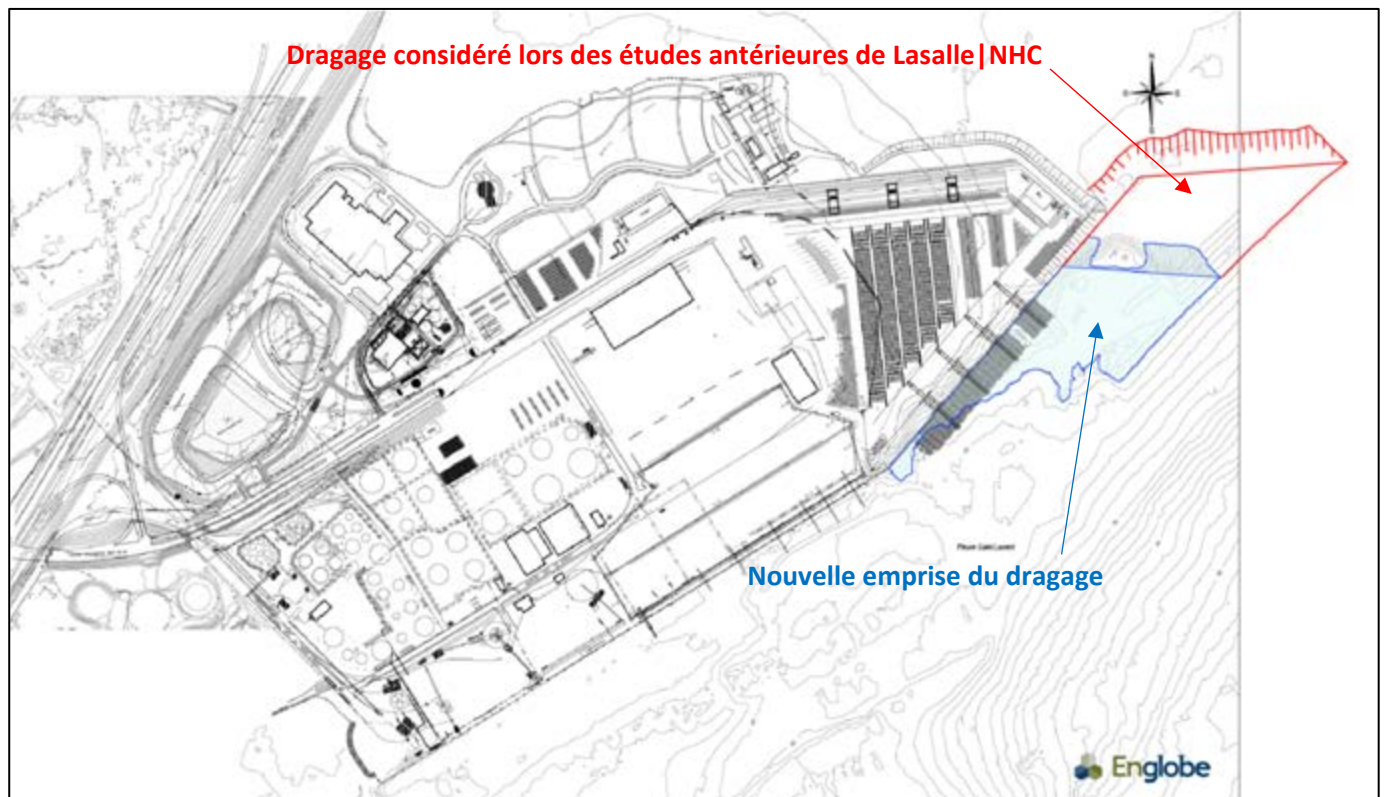


Figure 4.1 : Projet Laurentia - Extension portuaire (source : Englobe)

4.2 Conditions avant et après aménagement

La comparaison systématique des conditions hydrodynamiques avant et après aménagement a été reprise à l'aide du modèle hydrodynamique révisé.

Pour couvrir la gamme complète des conditions de marée, deux cas ont été simulés en conditions actuelles et projetées:

- La marée de vive-eau du 5 juin 2019 (marnage de 5 m);
- La marée de morte-eau du 26 juin 2019 (marnage de 3 m);

Les figures 4.2a à 4.2g donnent la direction et la vitesse des courants obtenues en vive-eau dans l'ensemble de la zone d'étude pour les conditions d'aménagement actuelles et futures. Les figures présentent également l'impact du projet sur les vitesses d'écoulement en illustrant l'écart entre les vitesses futures et actuelles des courants de marée. Ces résultats permettent d'identifier l'étendue de la zone d'influence du projet sur la vitesse des courants de marée. Il est à noter que pour l'ensemble du cycle de marée, l'impact du projet sur les courants de marée est observé en périphérie de l'extension portuaire mais ne se propage pas vers les portions amont ou aval du modèle. Les champs d'écoulement modélisés aux limites du modèle ne sont pas influencés par la présence de l'extension portuaire.

Les figures 4.3a à 4.3g reprennent les mêmes résultats, mais offrent un gros plan sur les abords immédiats du projet. On y observe notamment l'influence de l'extension portuaire sur les conditions d'écoulement dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles. Les patrons généraux d'écoulement dans cette zone demeurent similaires, avec la formation d'une gyre bien visible, mais de légers changements sont perceptibles quant à l'intensité et l'emprise de cette gyre.

Les figures 4.4a à 4.4g présentent les courants de morte-eau (26 juin 2019) obtenus dans le secteur Beauport. La zone d'influence du projet sur les vitesses des courants de marée est réduite par rapport à celle observée en conditions de vive-eau.

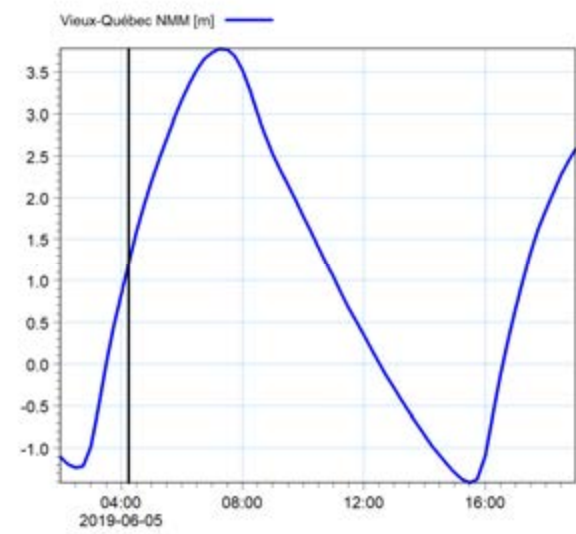
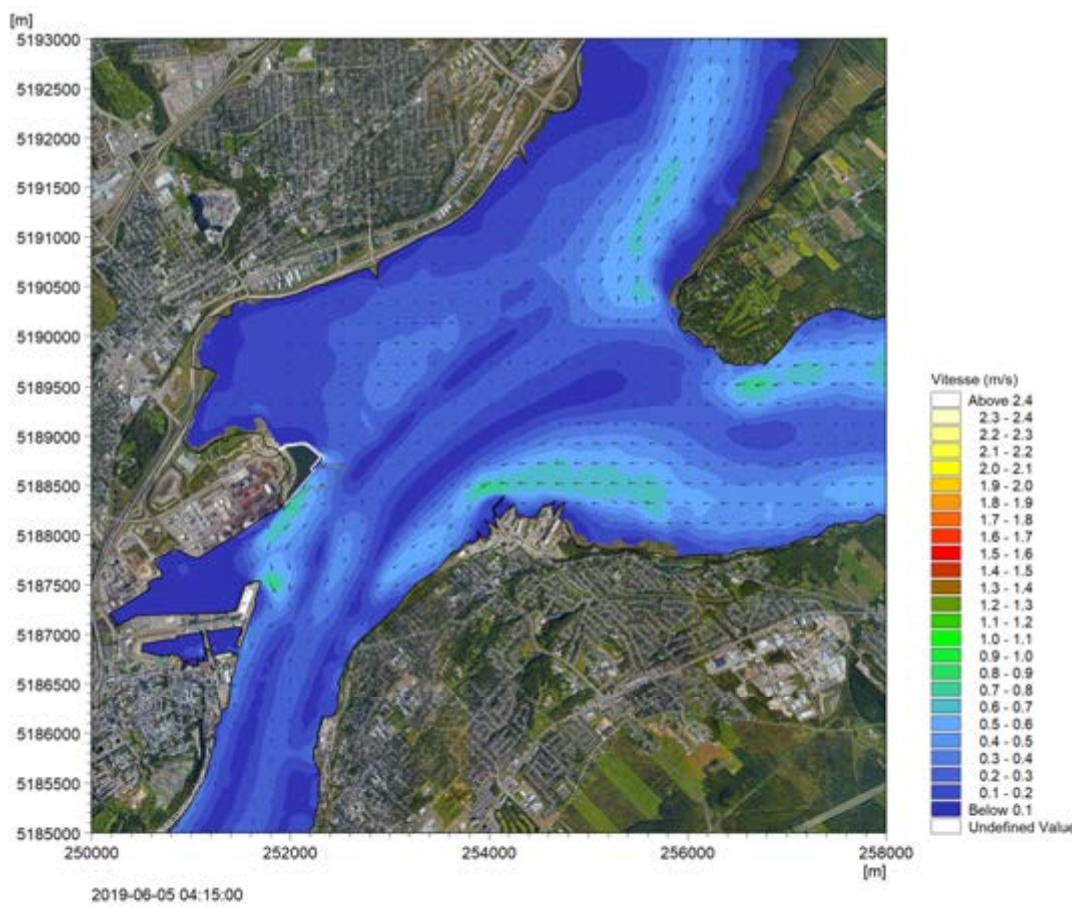
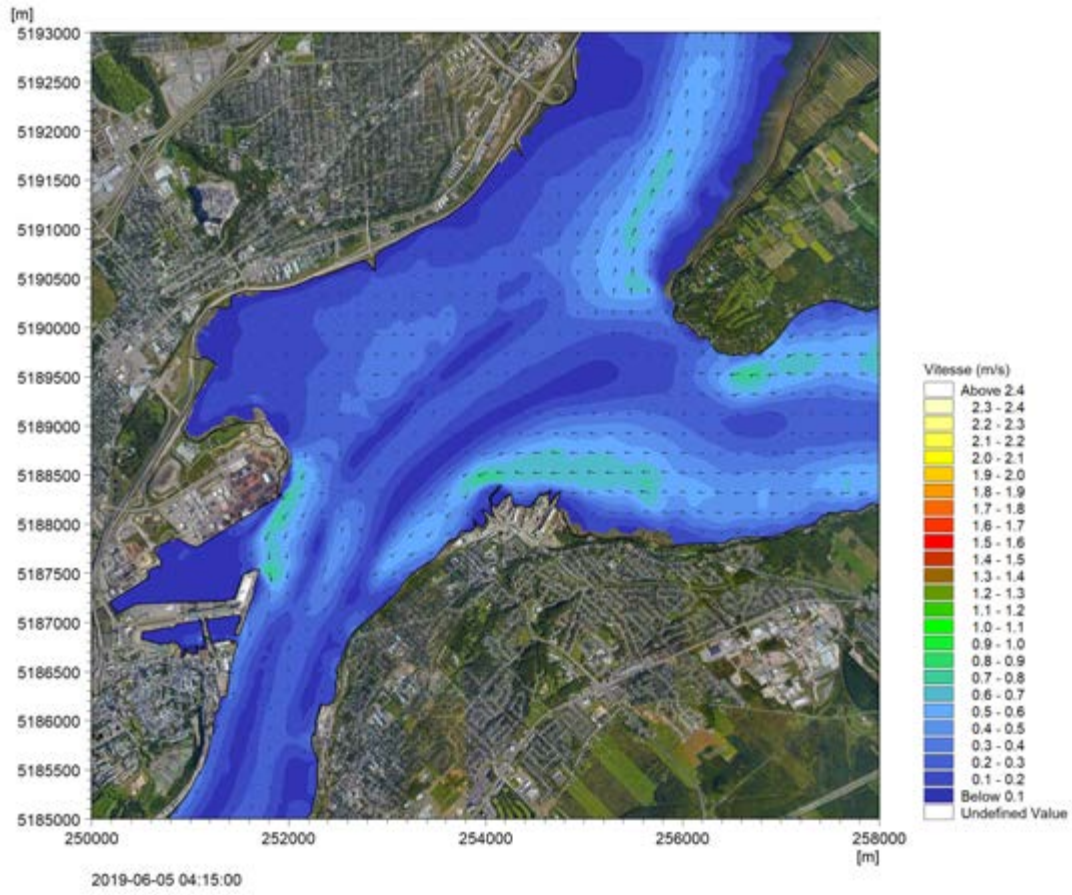


Figure 4.2a: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement

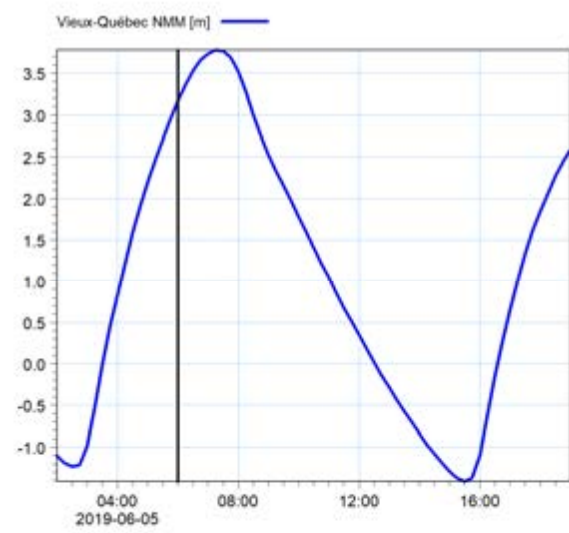
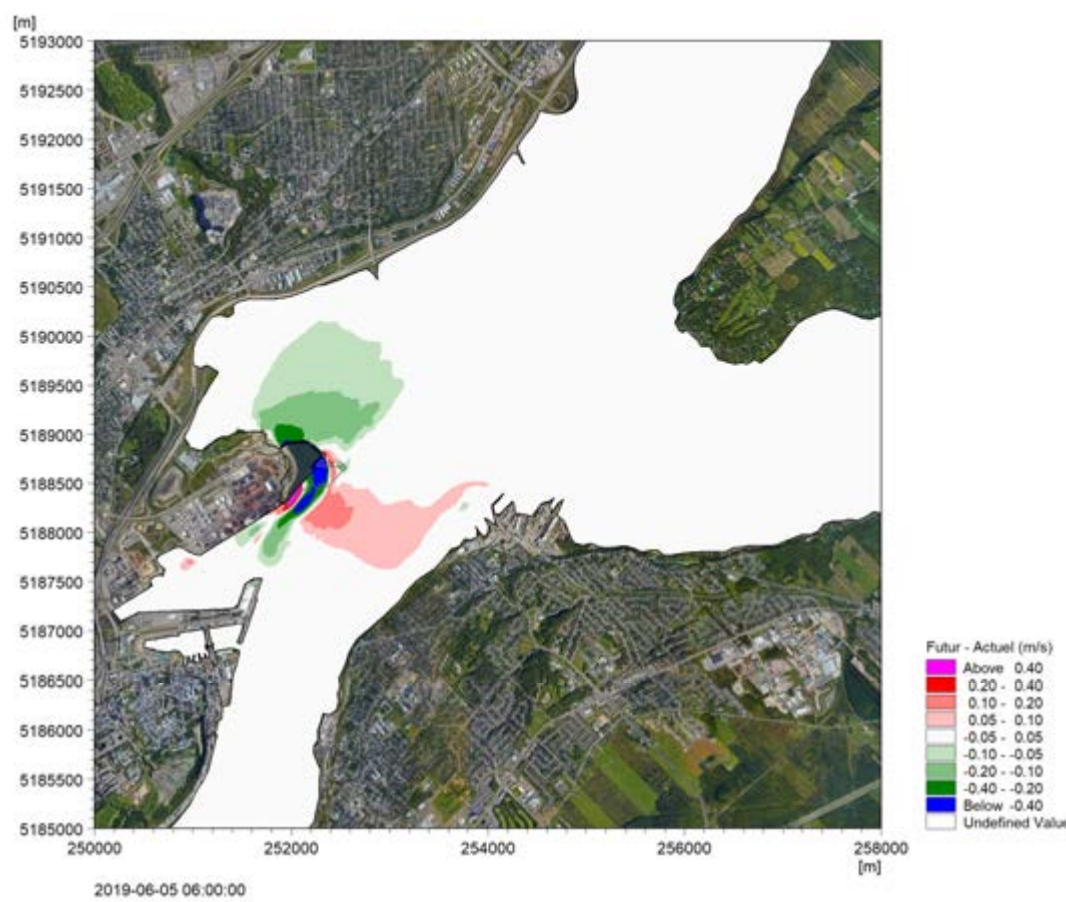
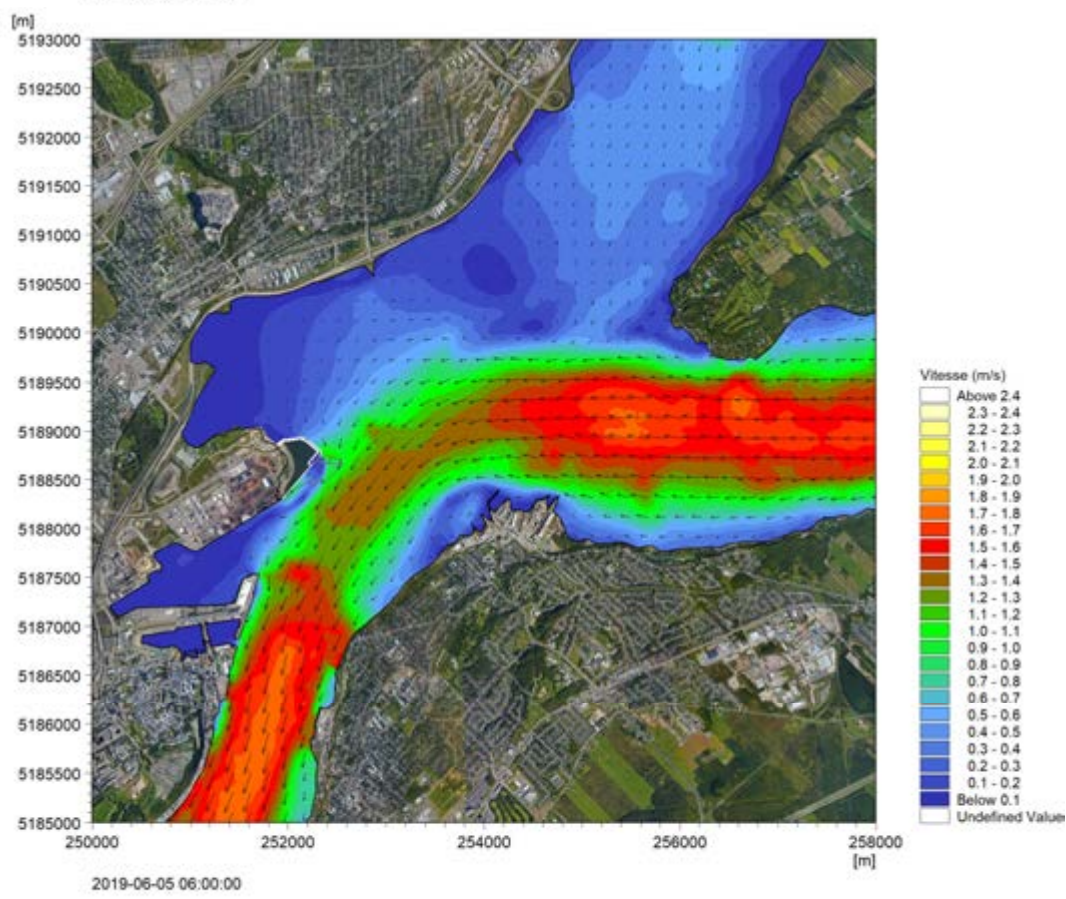
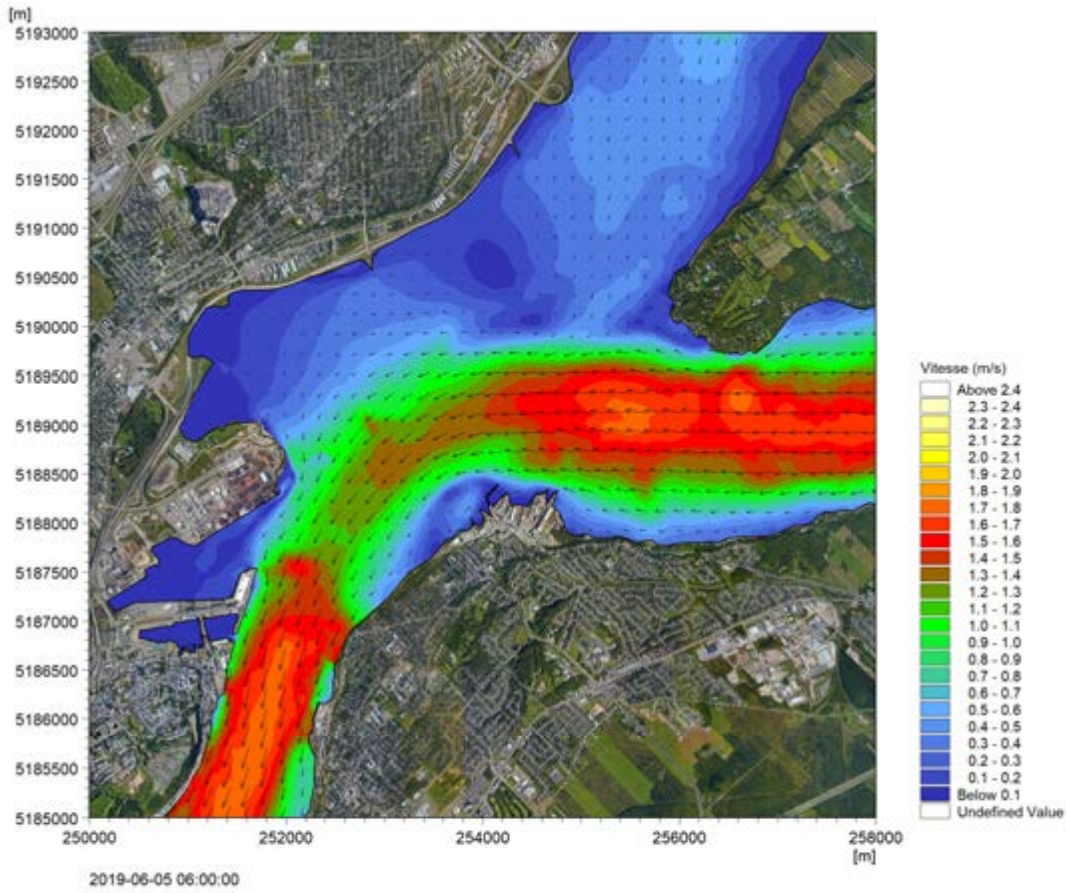


Figure 4.2b: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

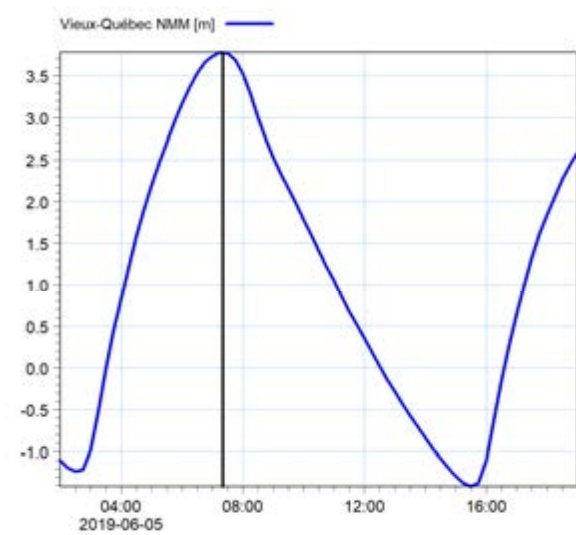
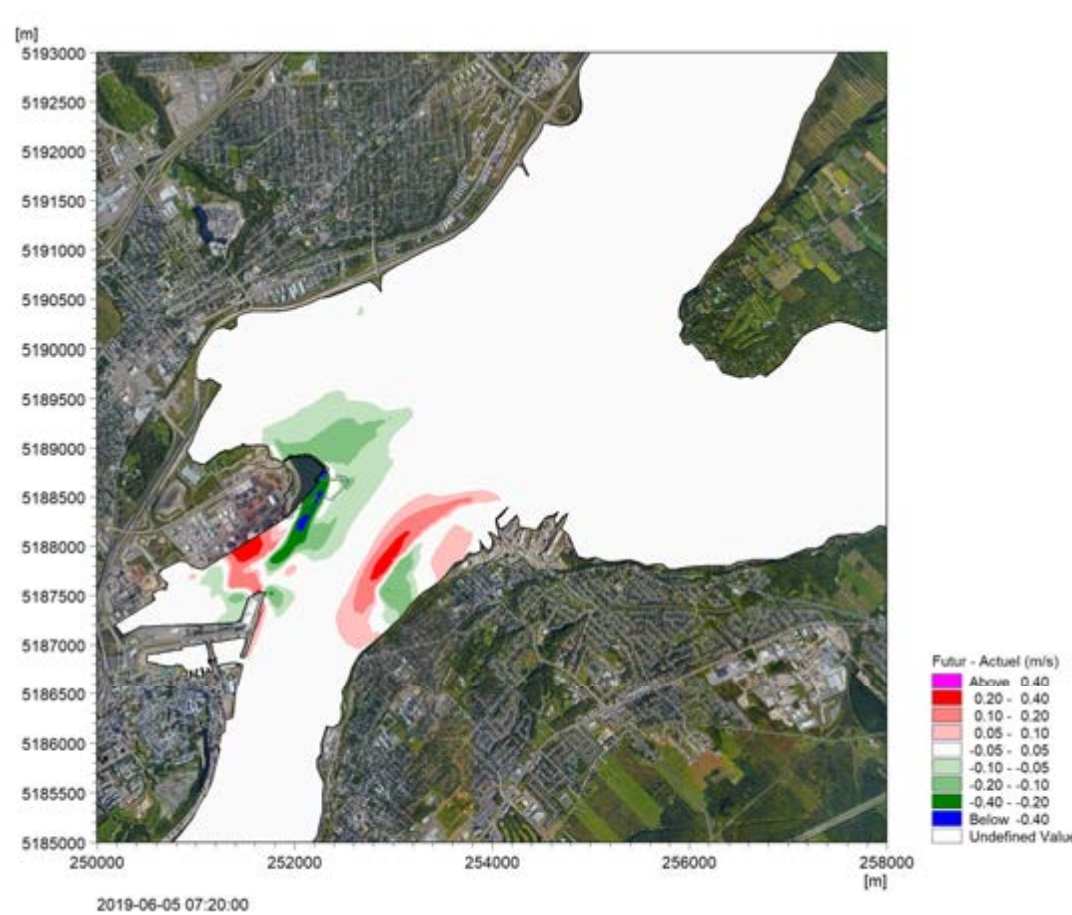
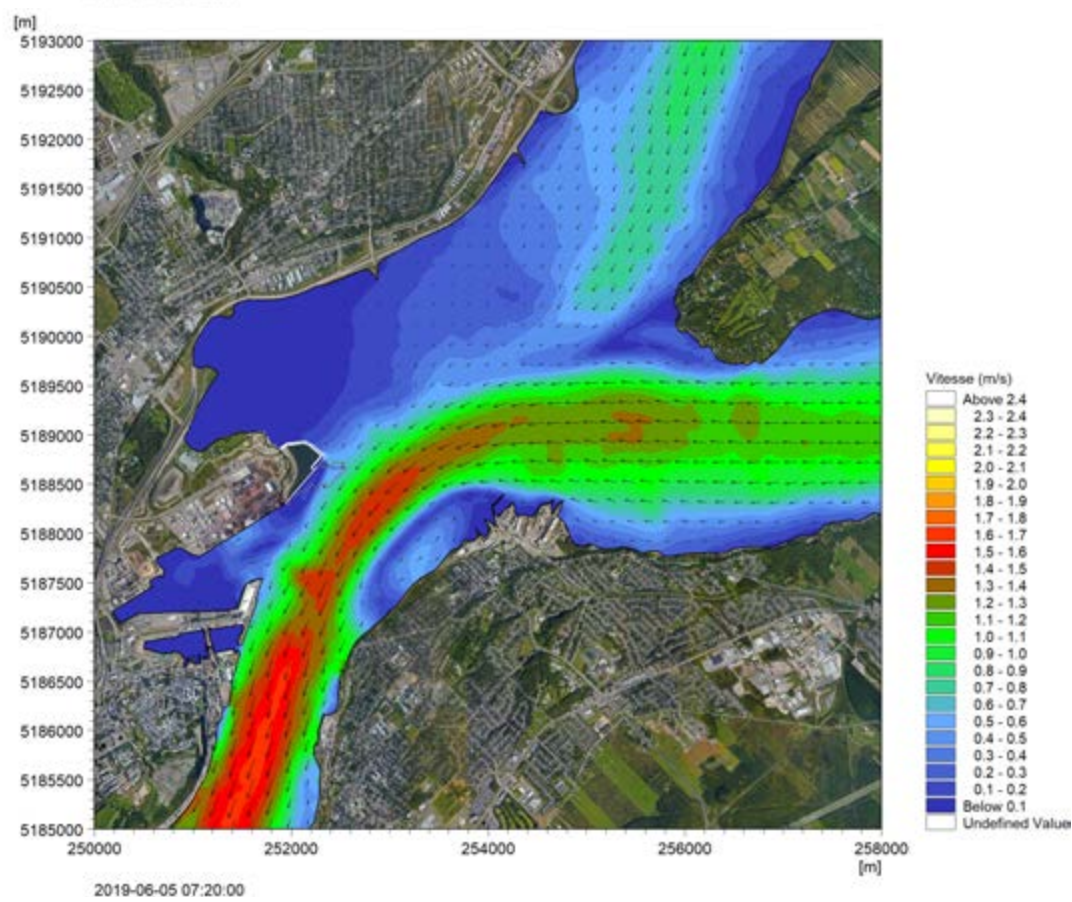
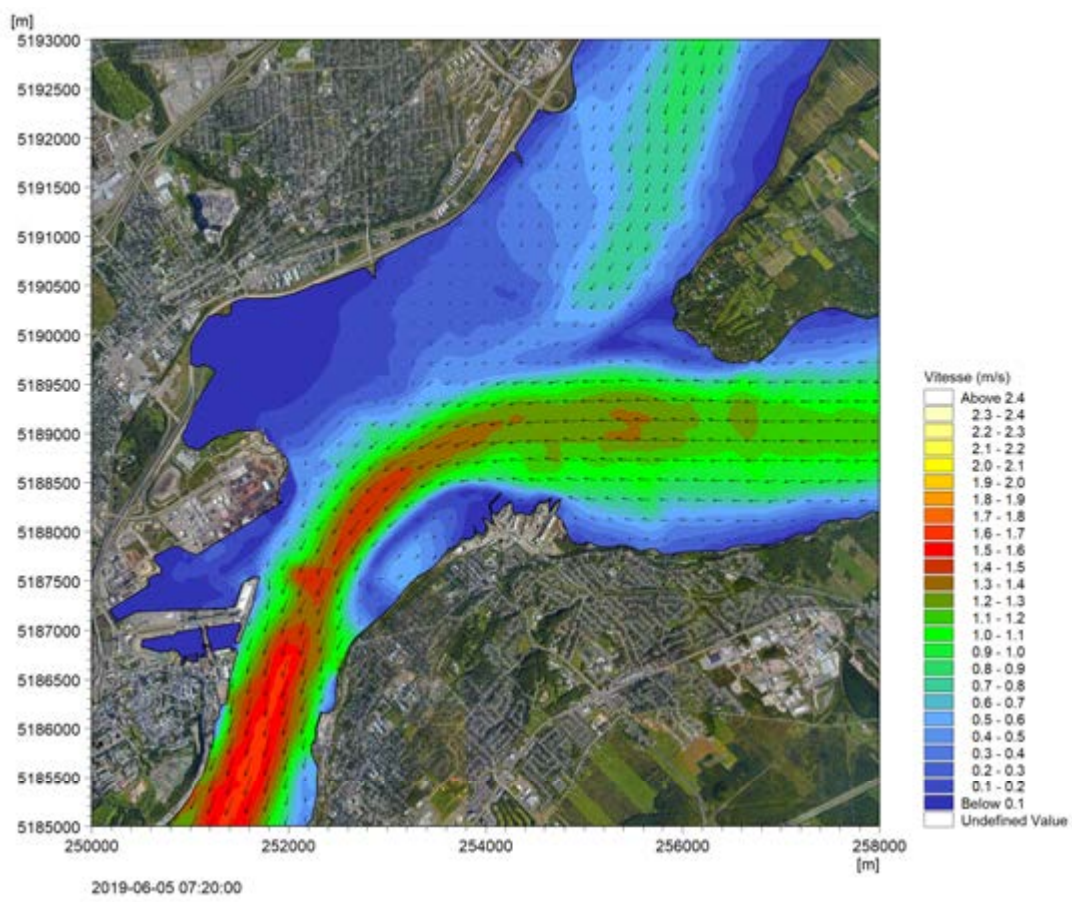


Figure 4.2c: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

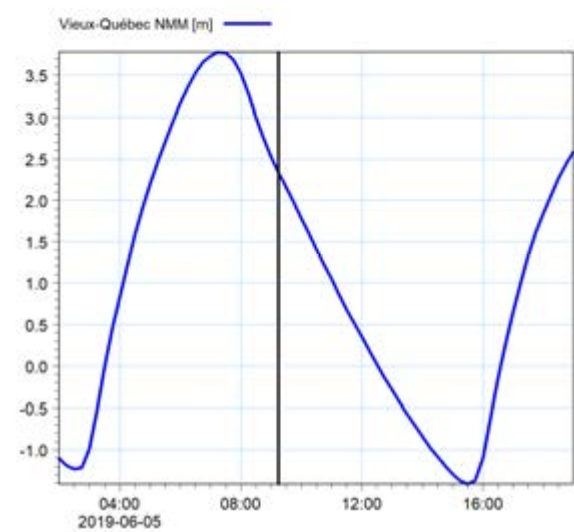
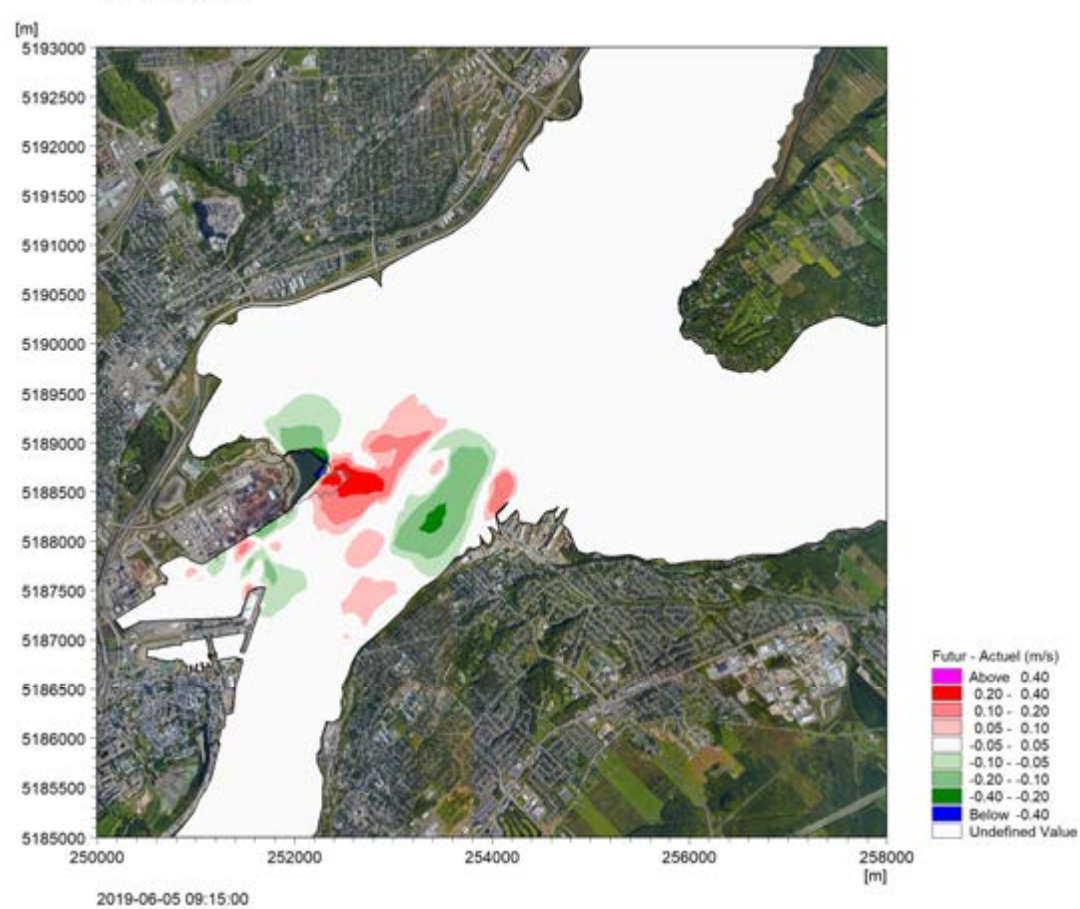
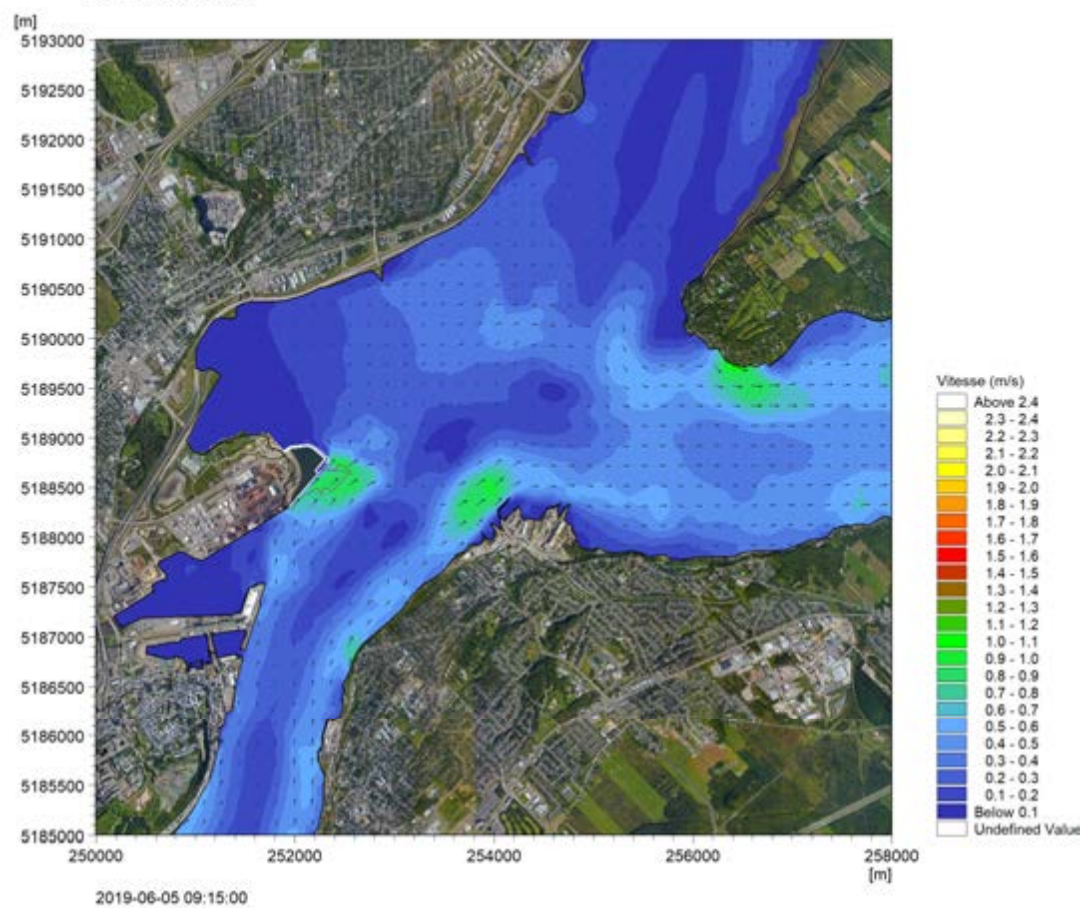
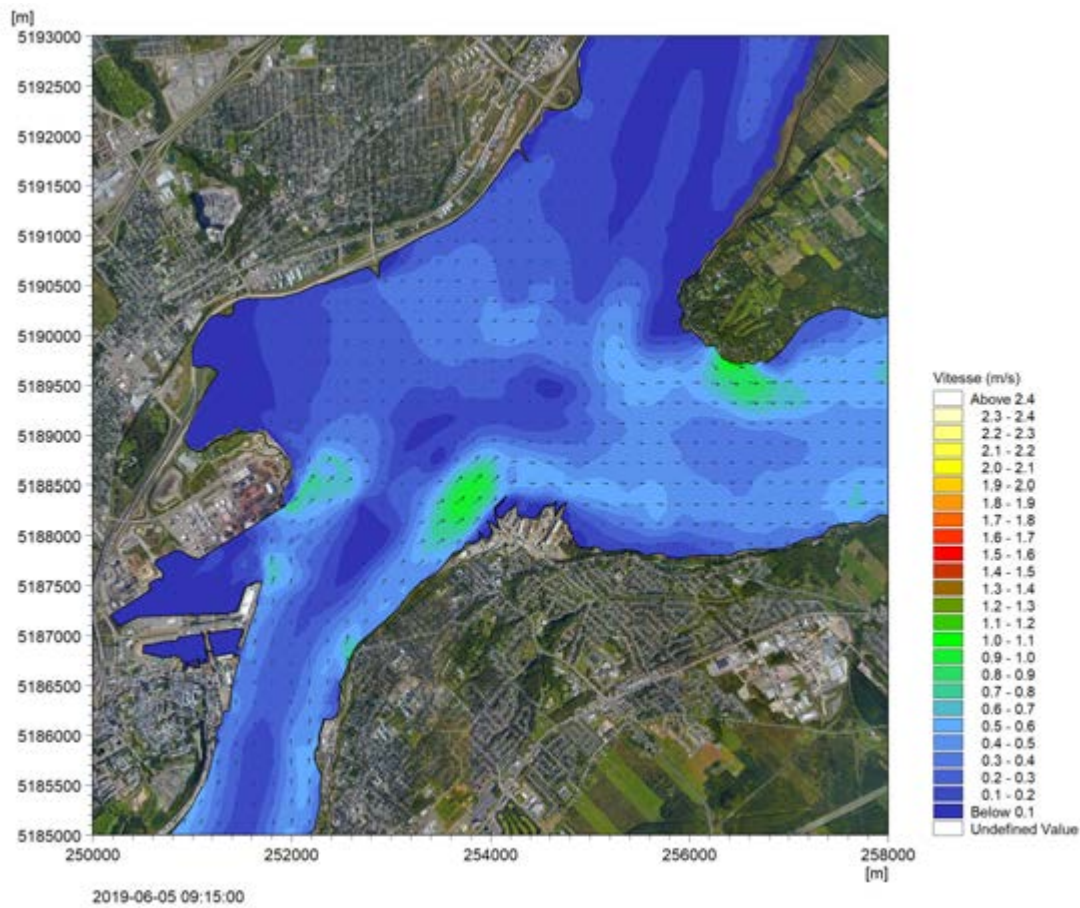


Figure 4.2d: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

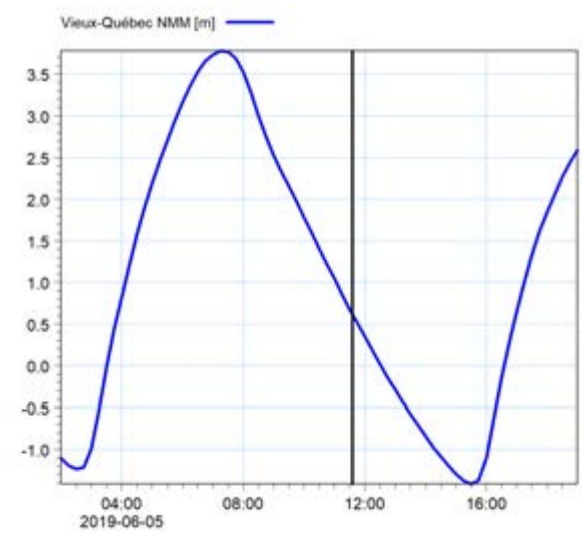
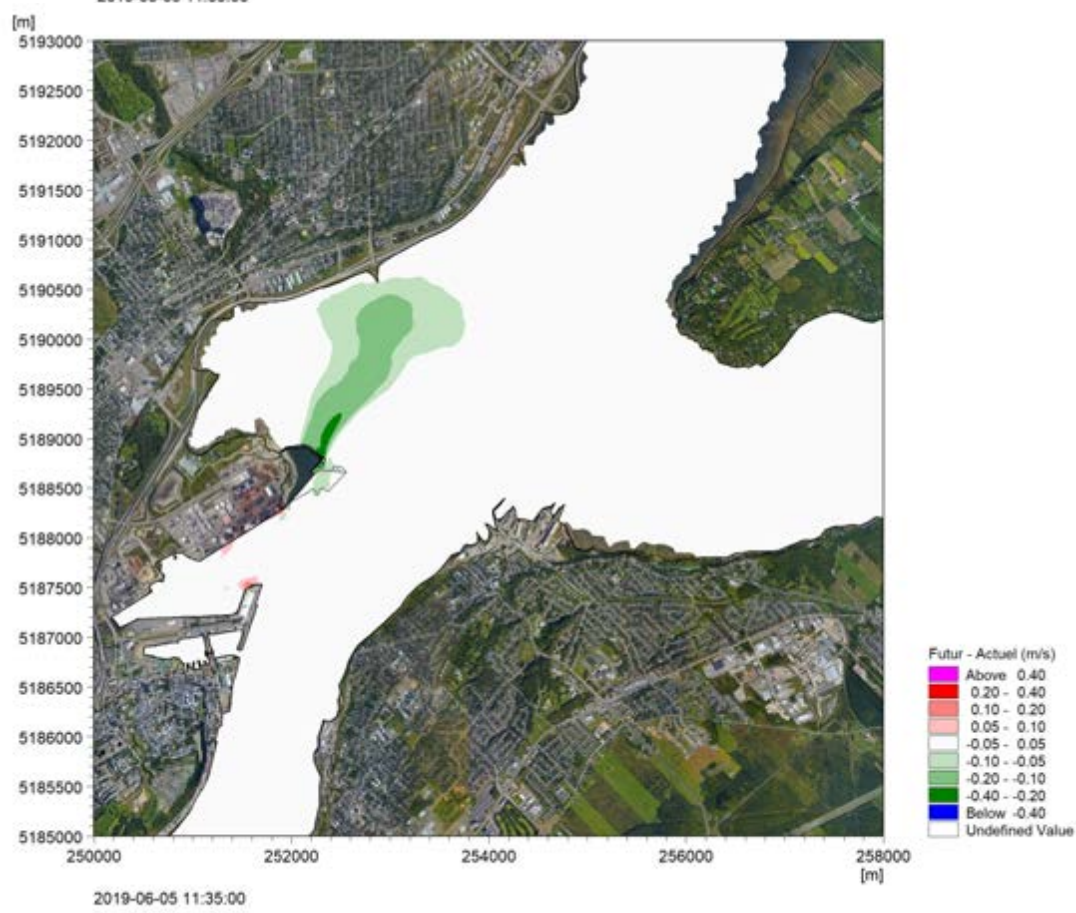
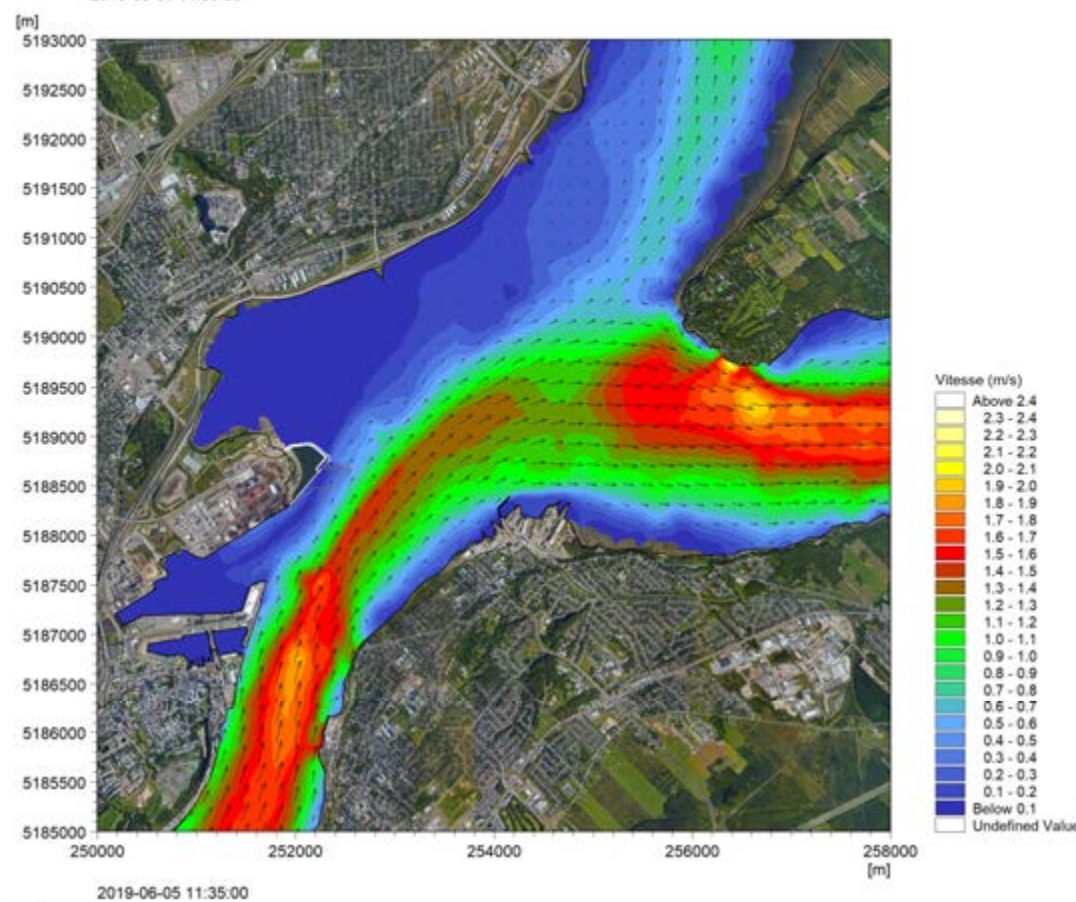
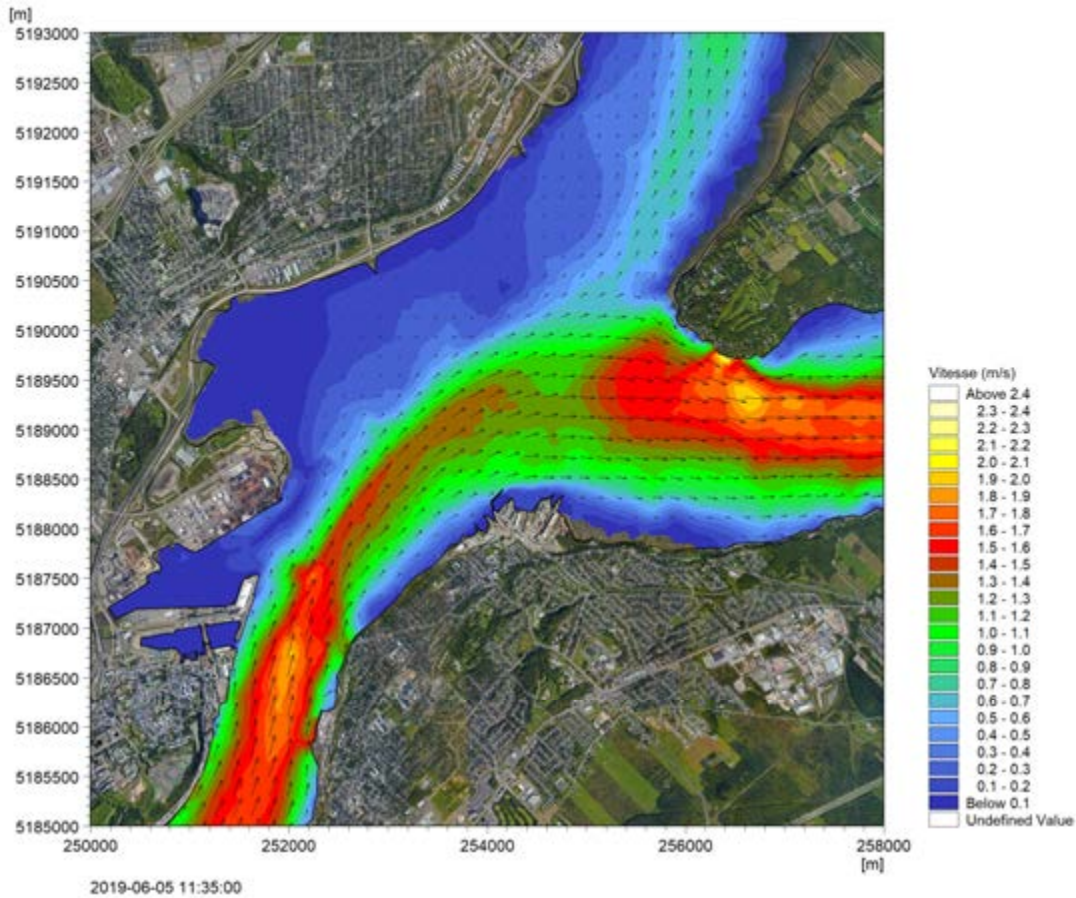


Figure 4.2e: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

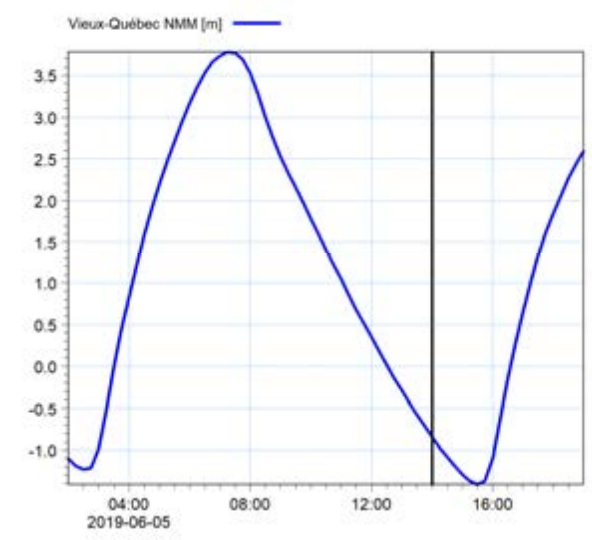
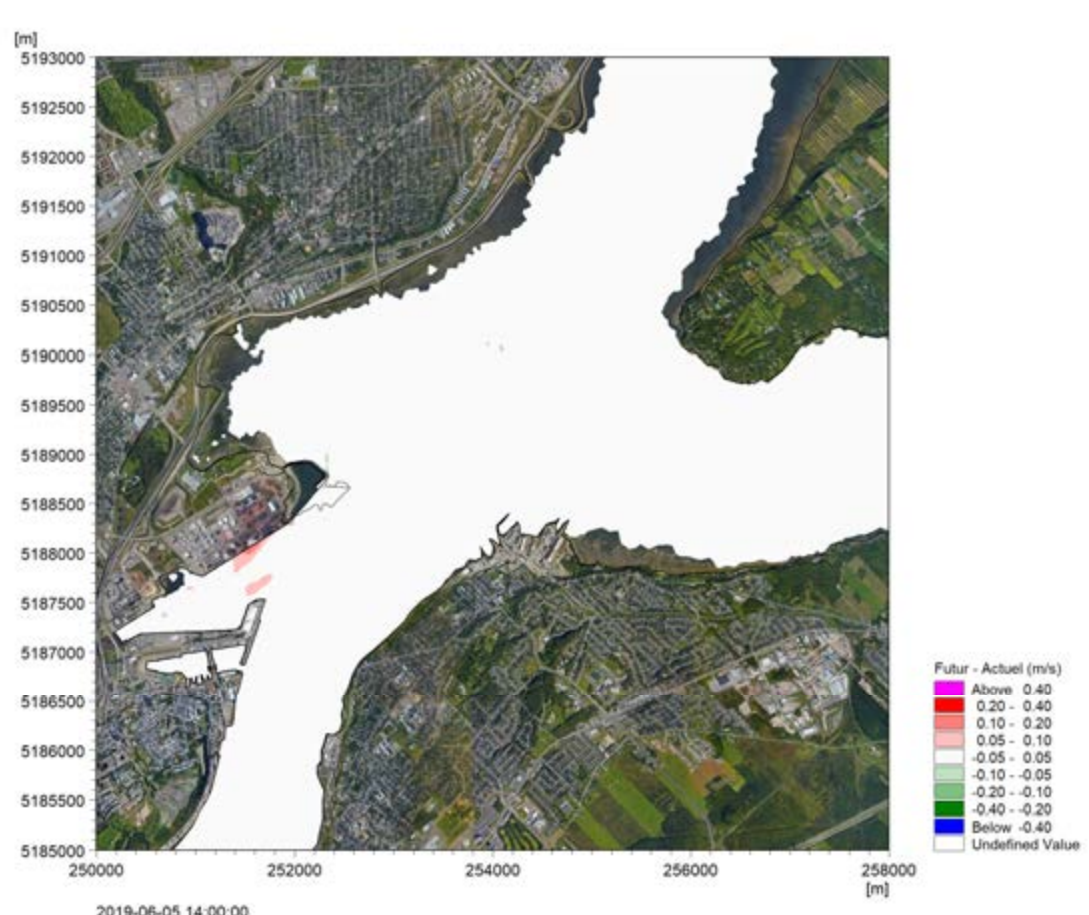
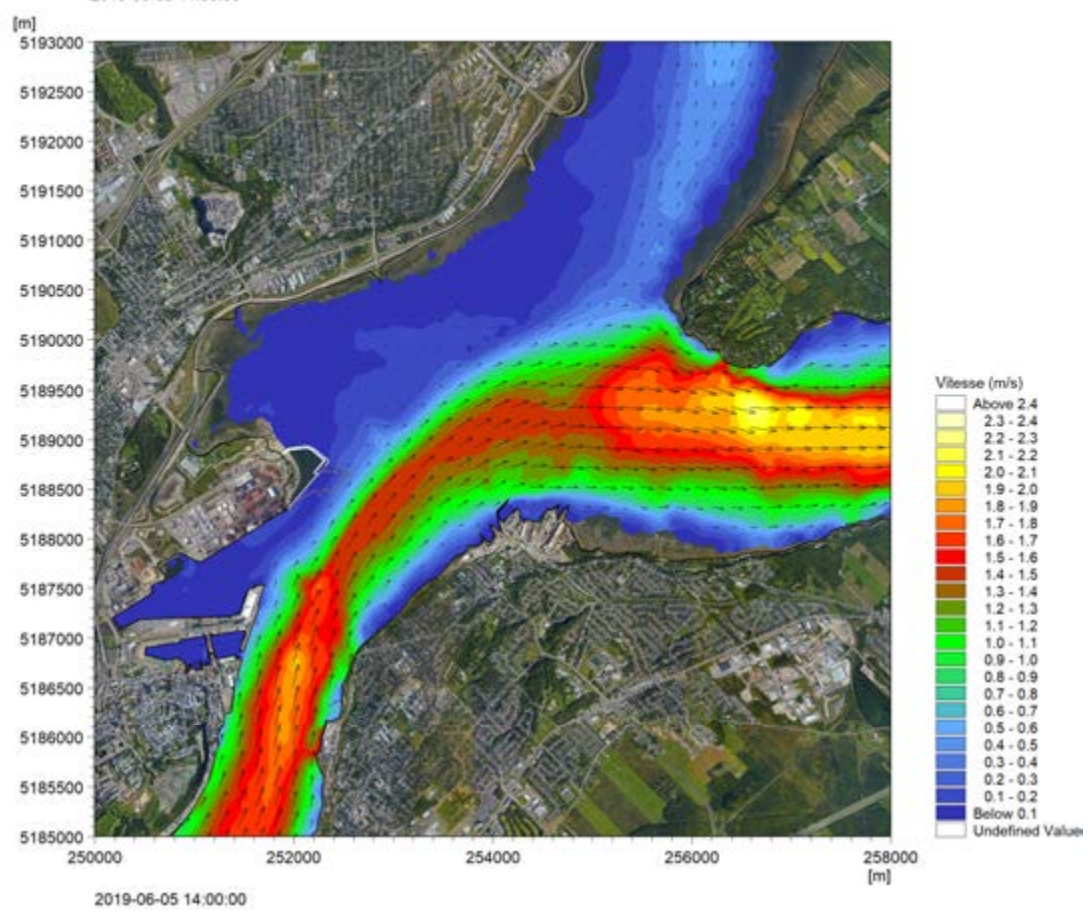
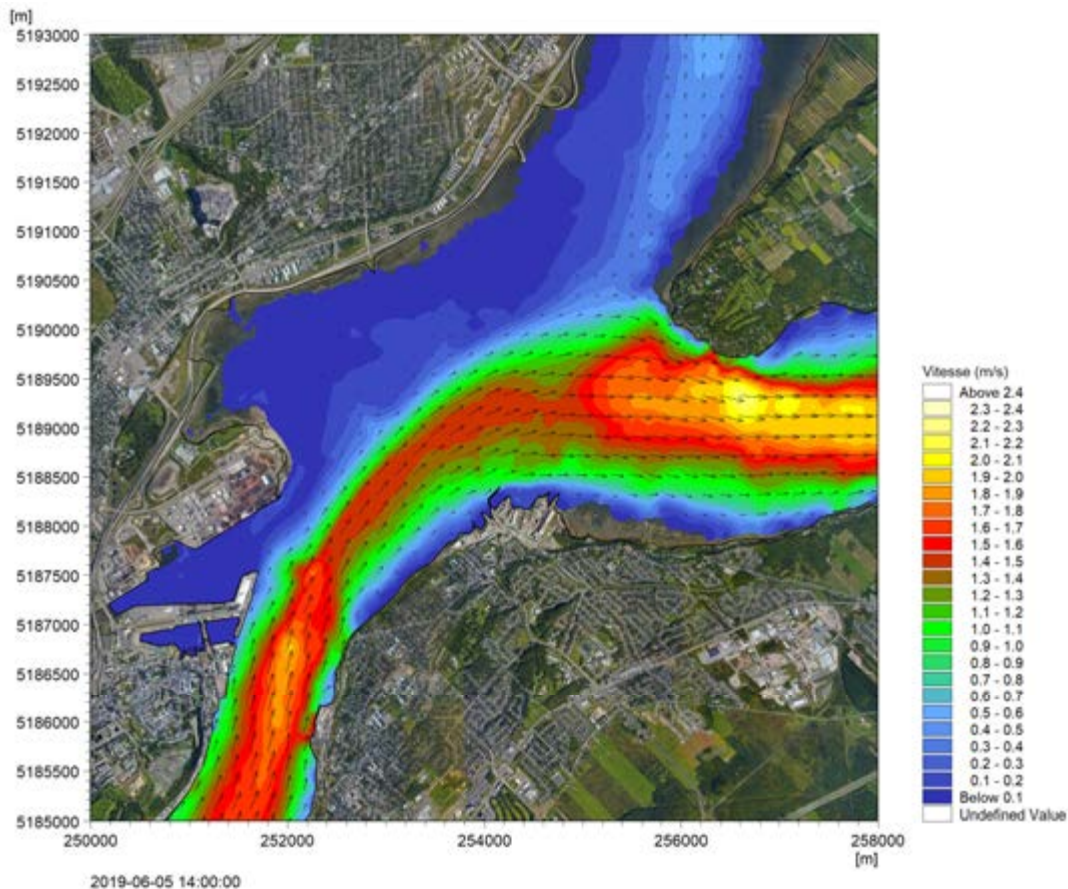


Figure 4.2f : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

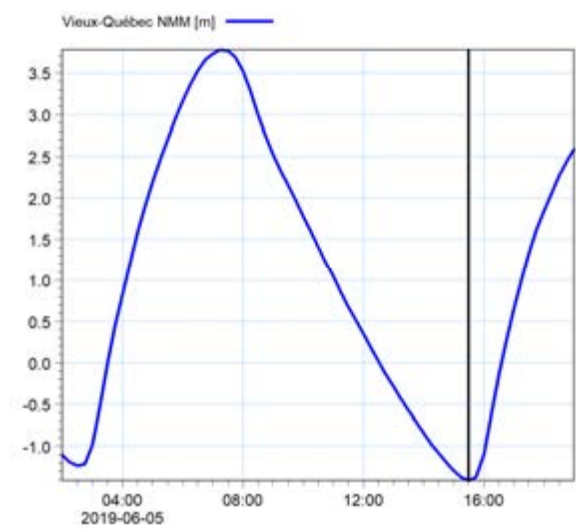
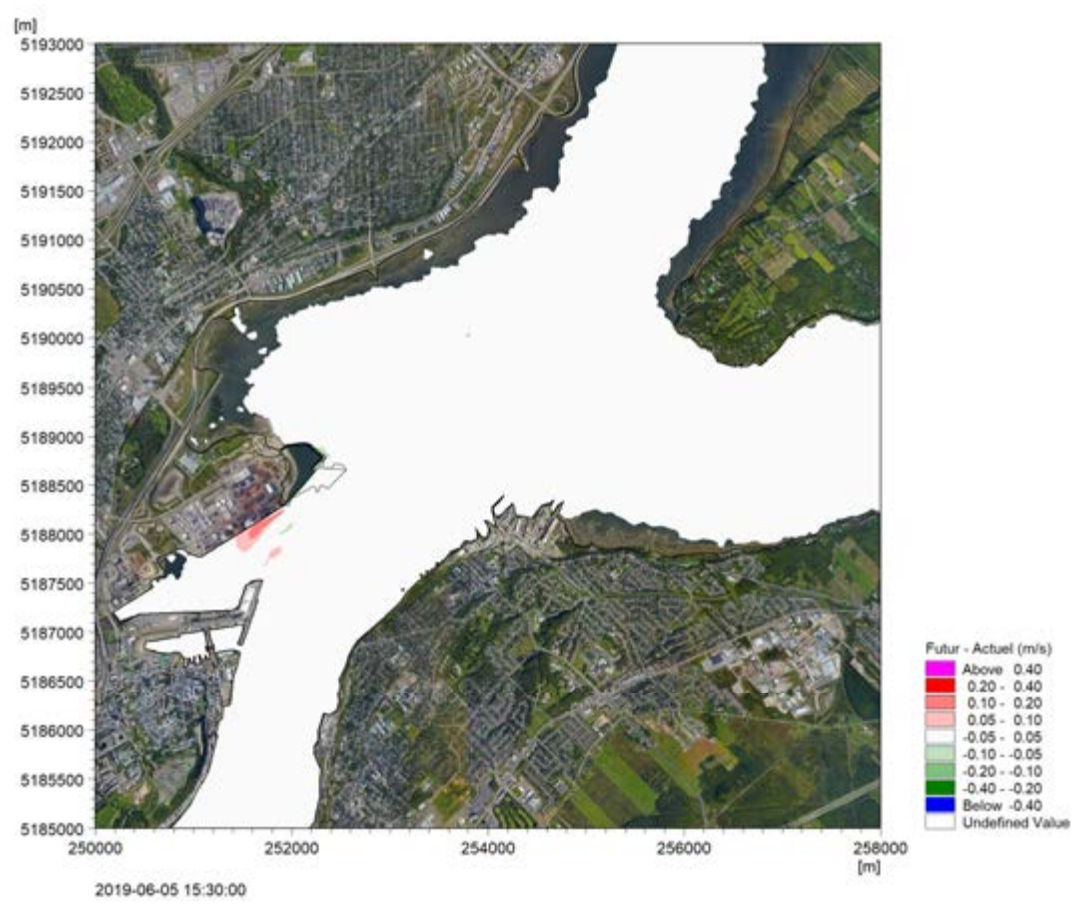
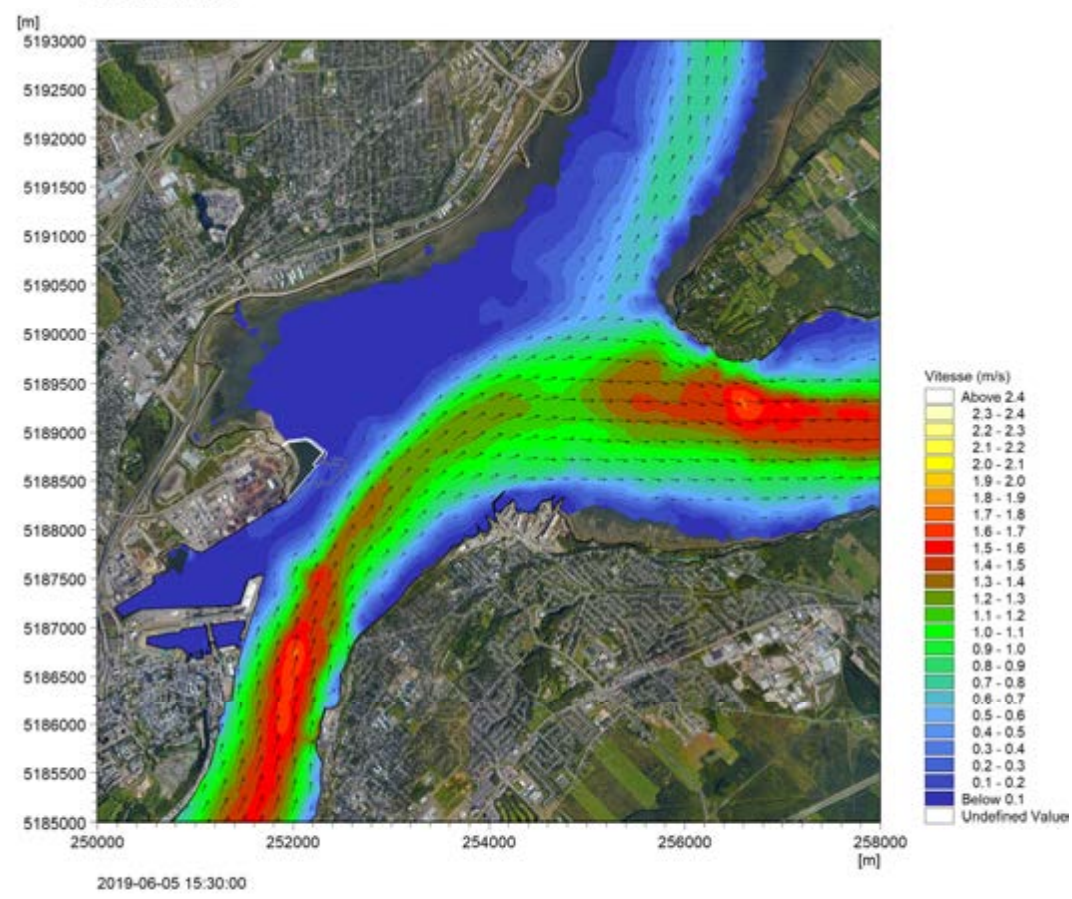
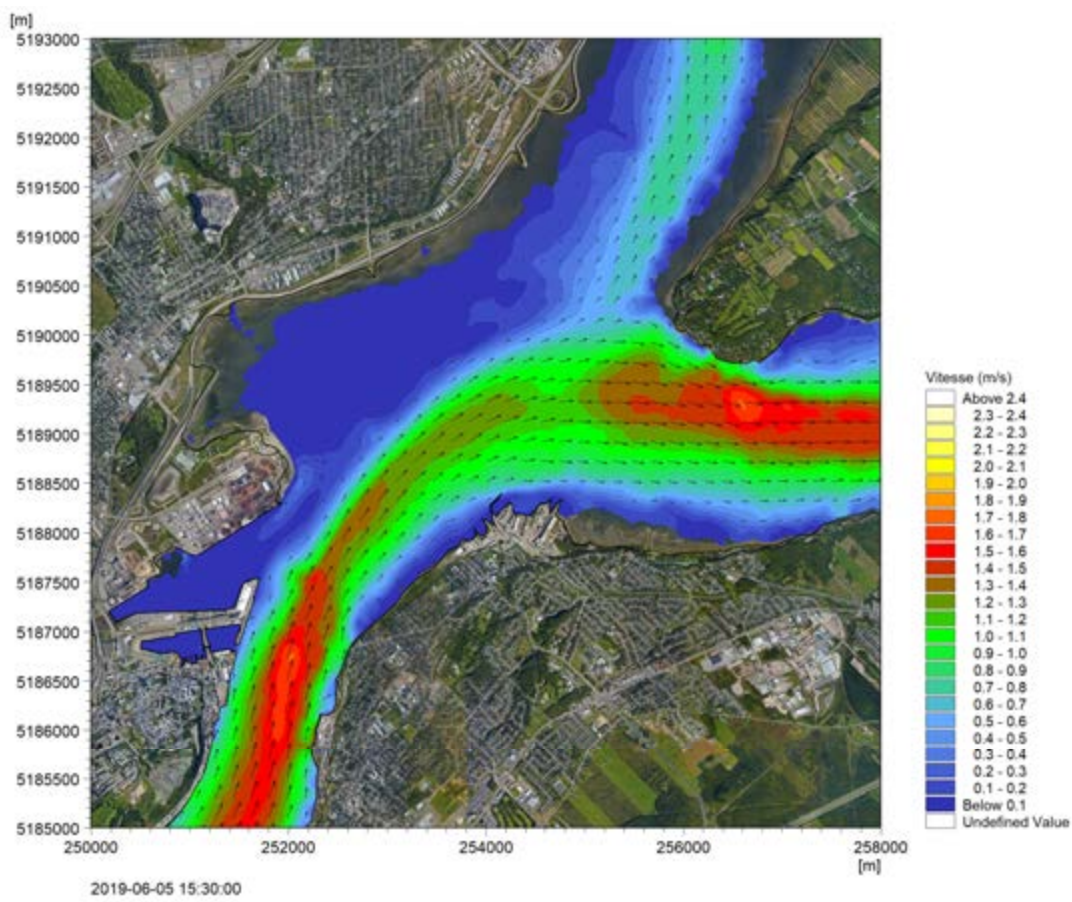


Figure 4.2g: Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement (suite)

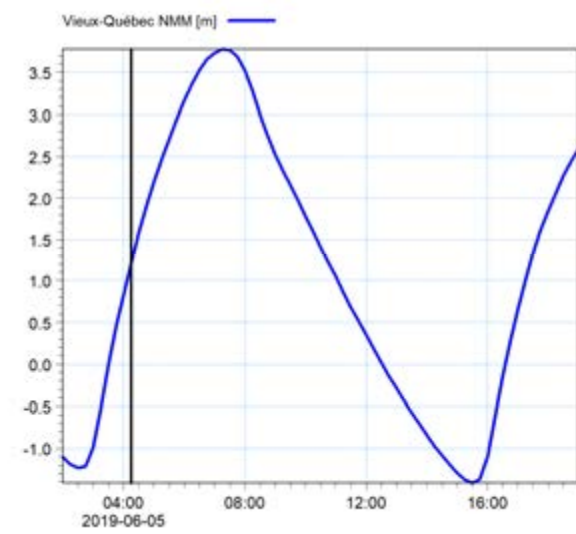
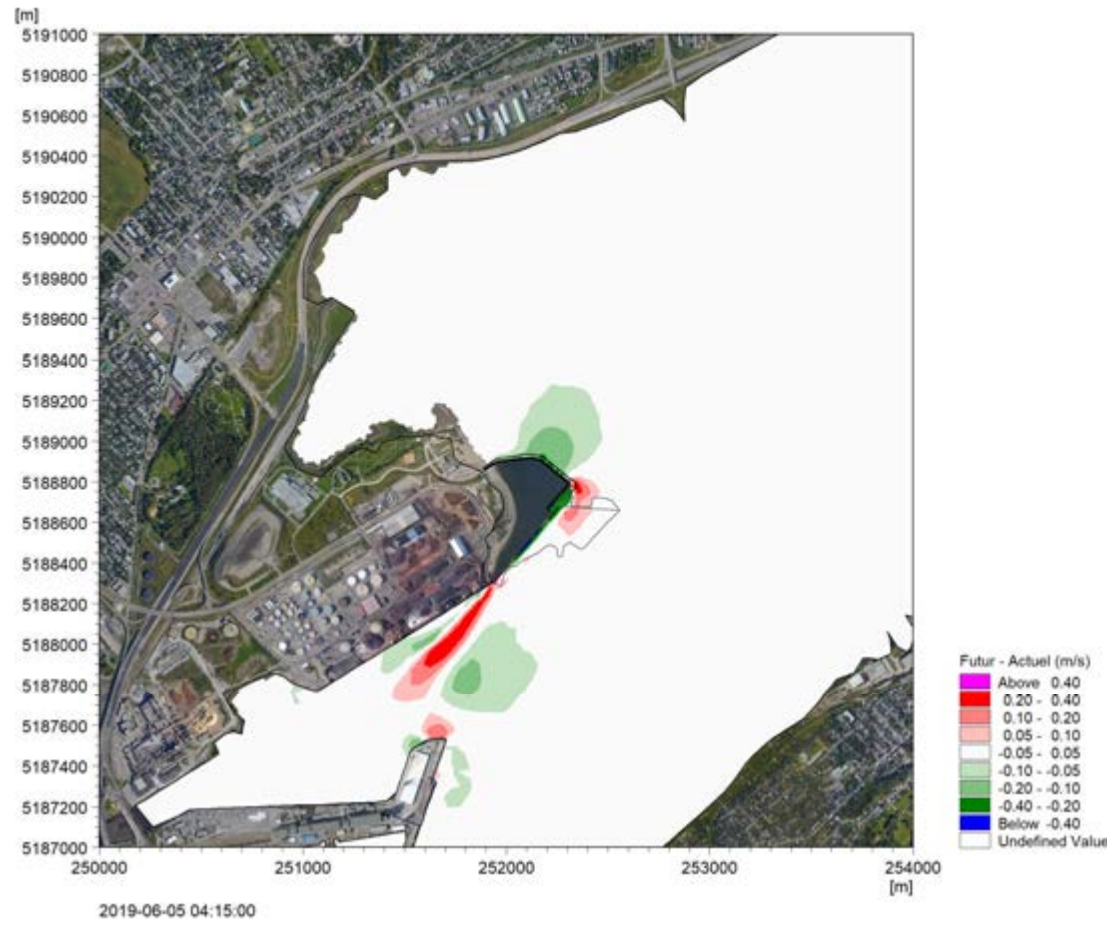
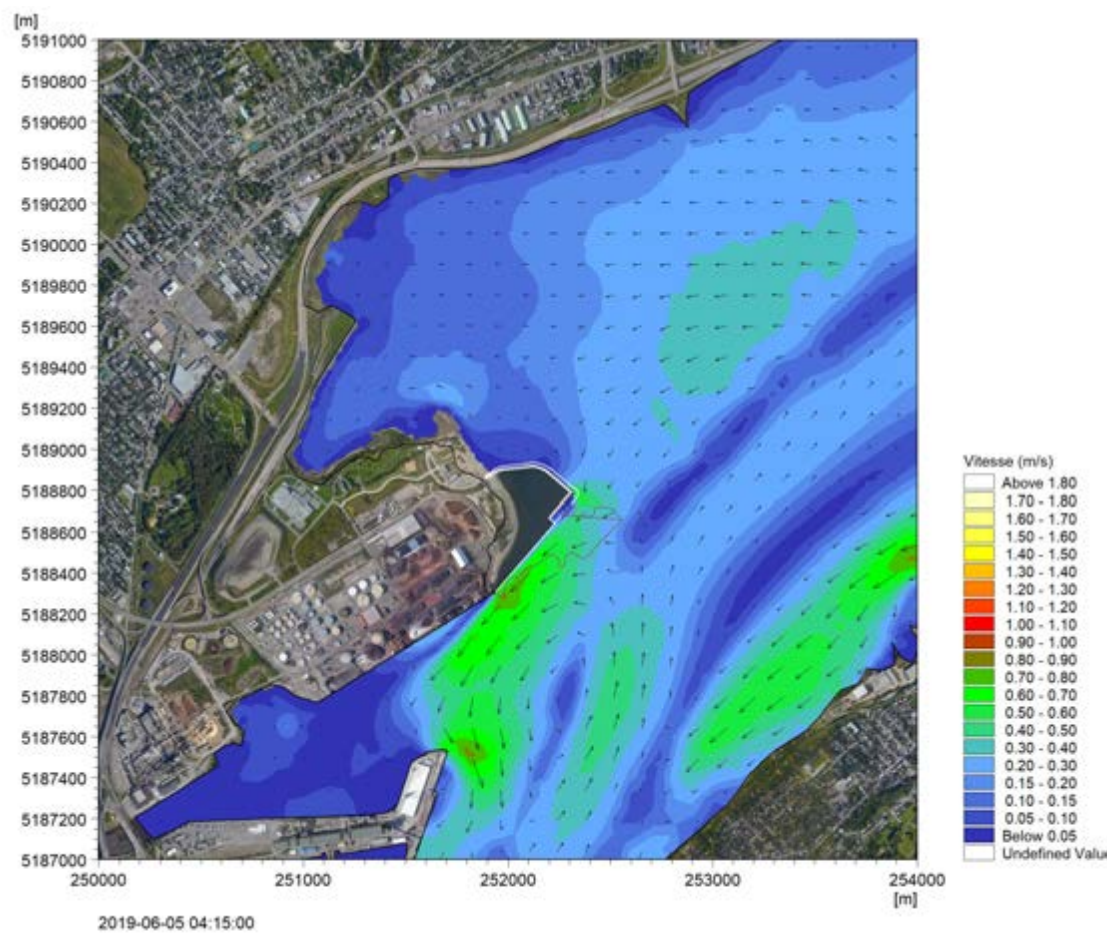
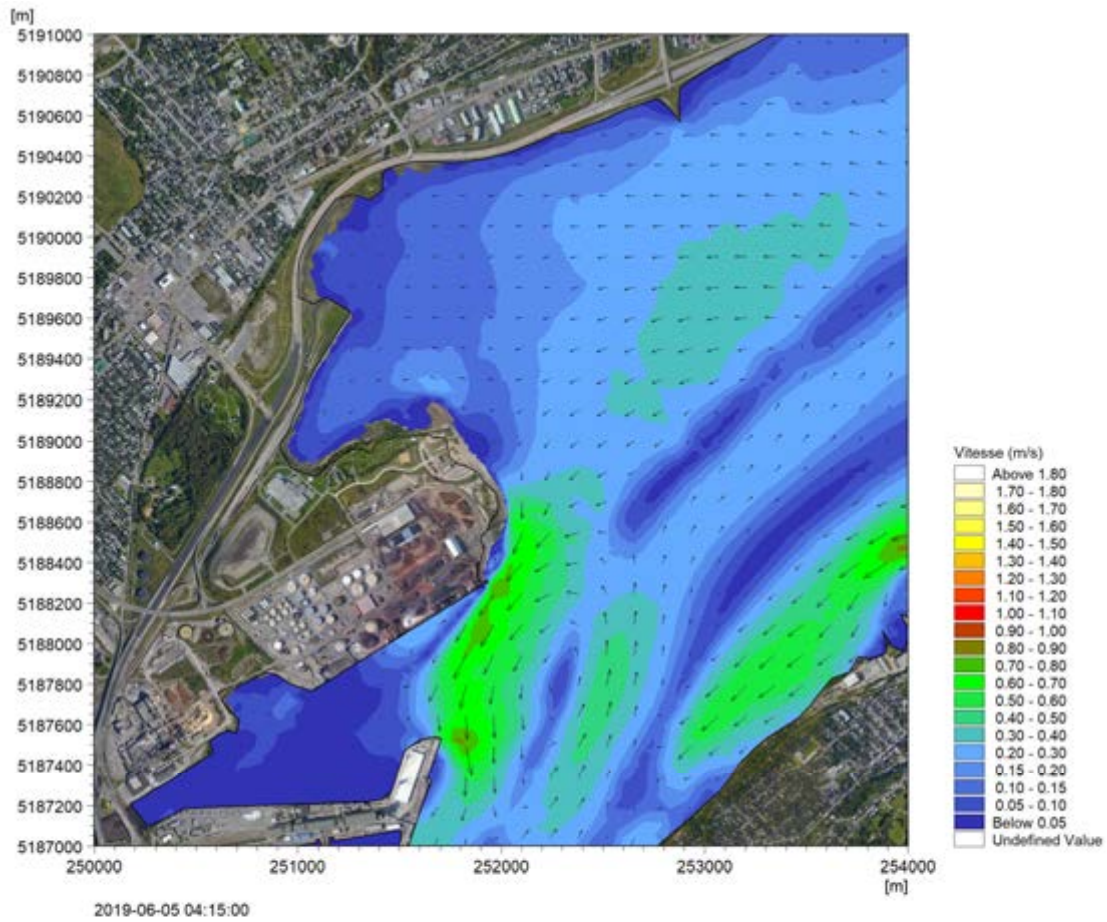


Figure 4.3a : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport

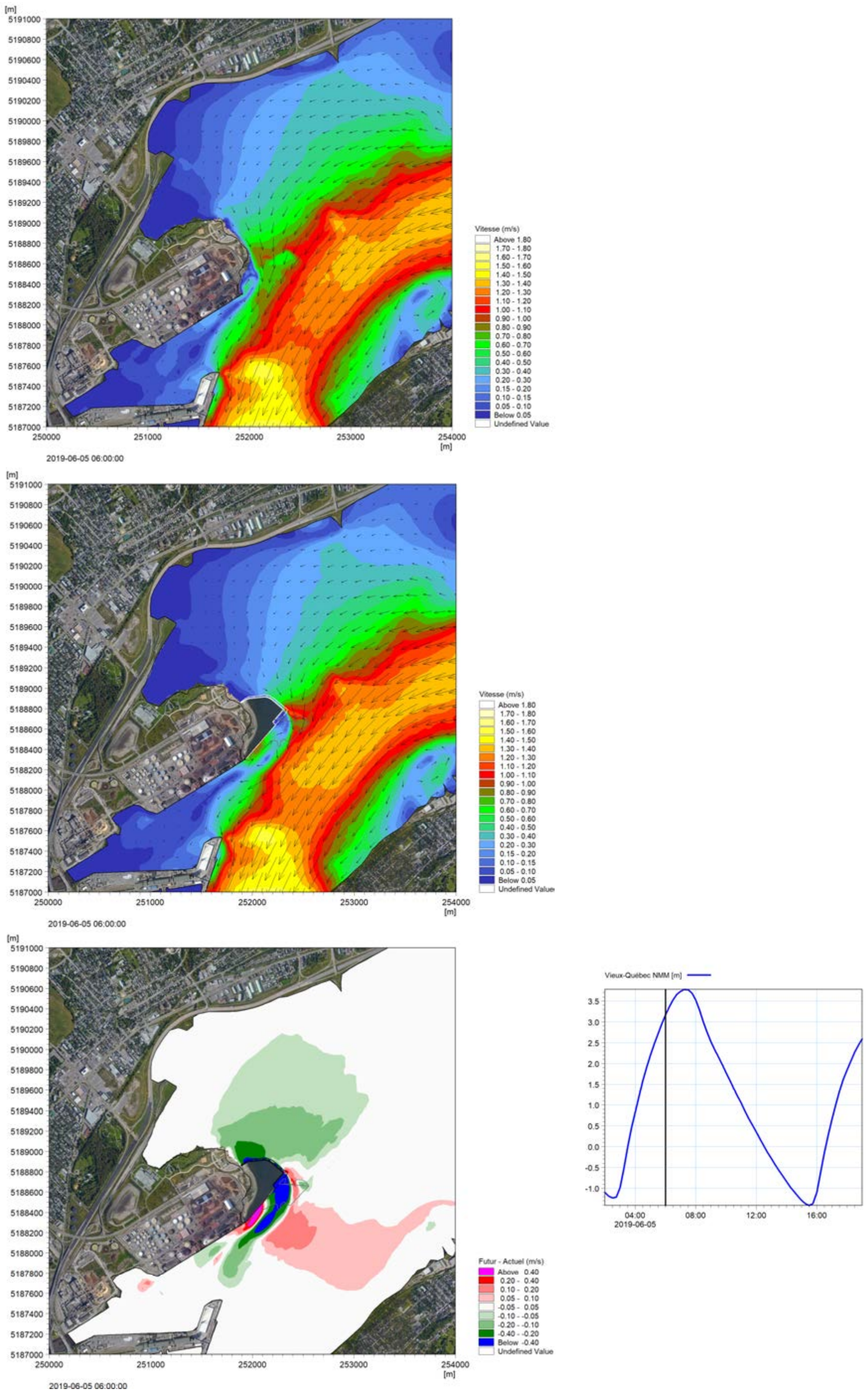


Figure 4.3b : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

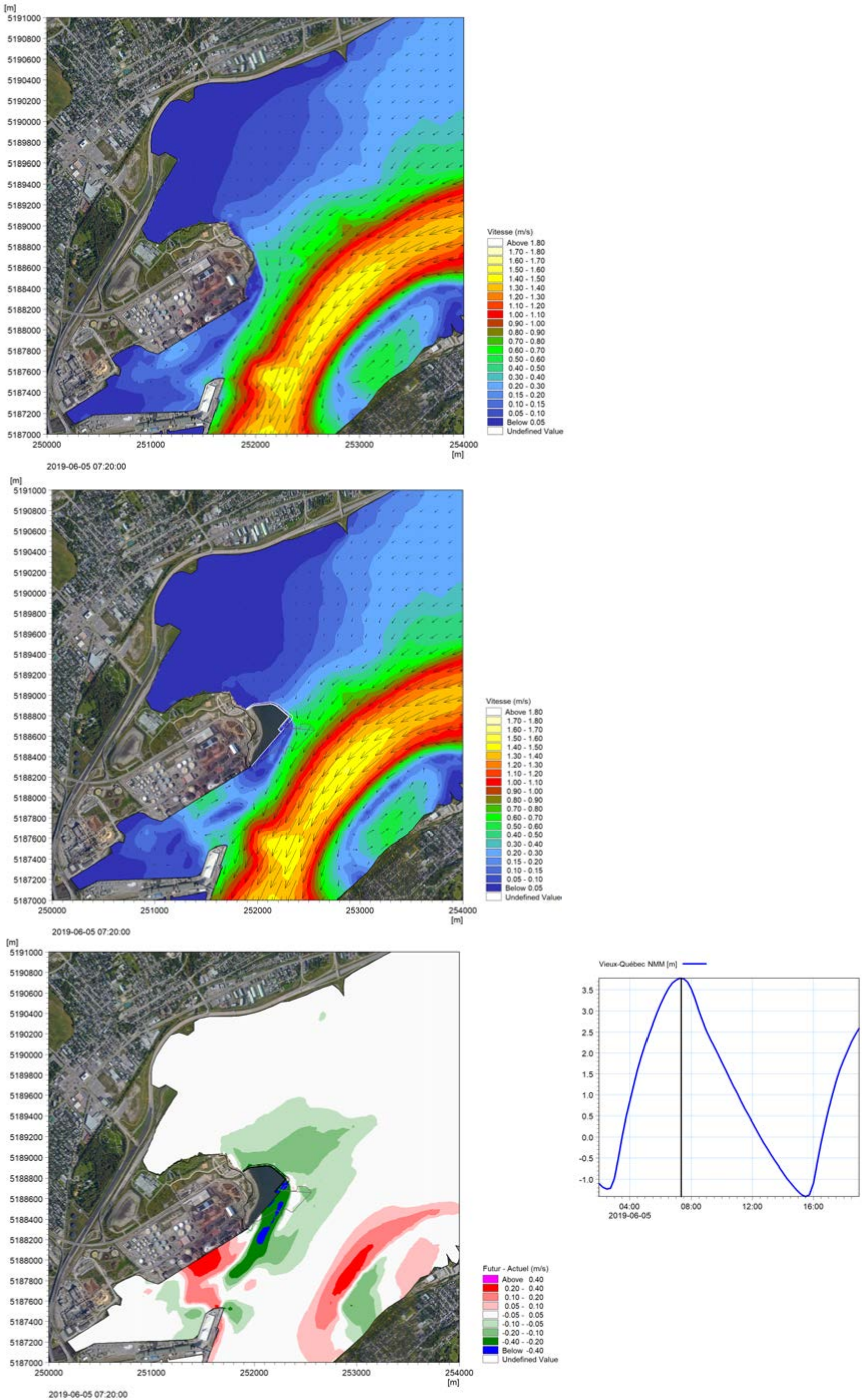


Figure 4.3c : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

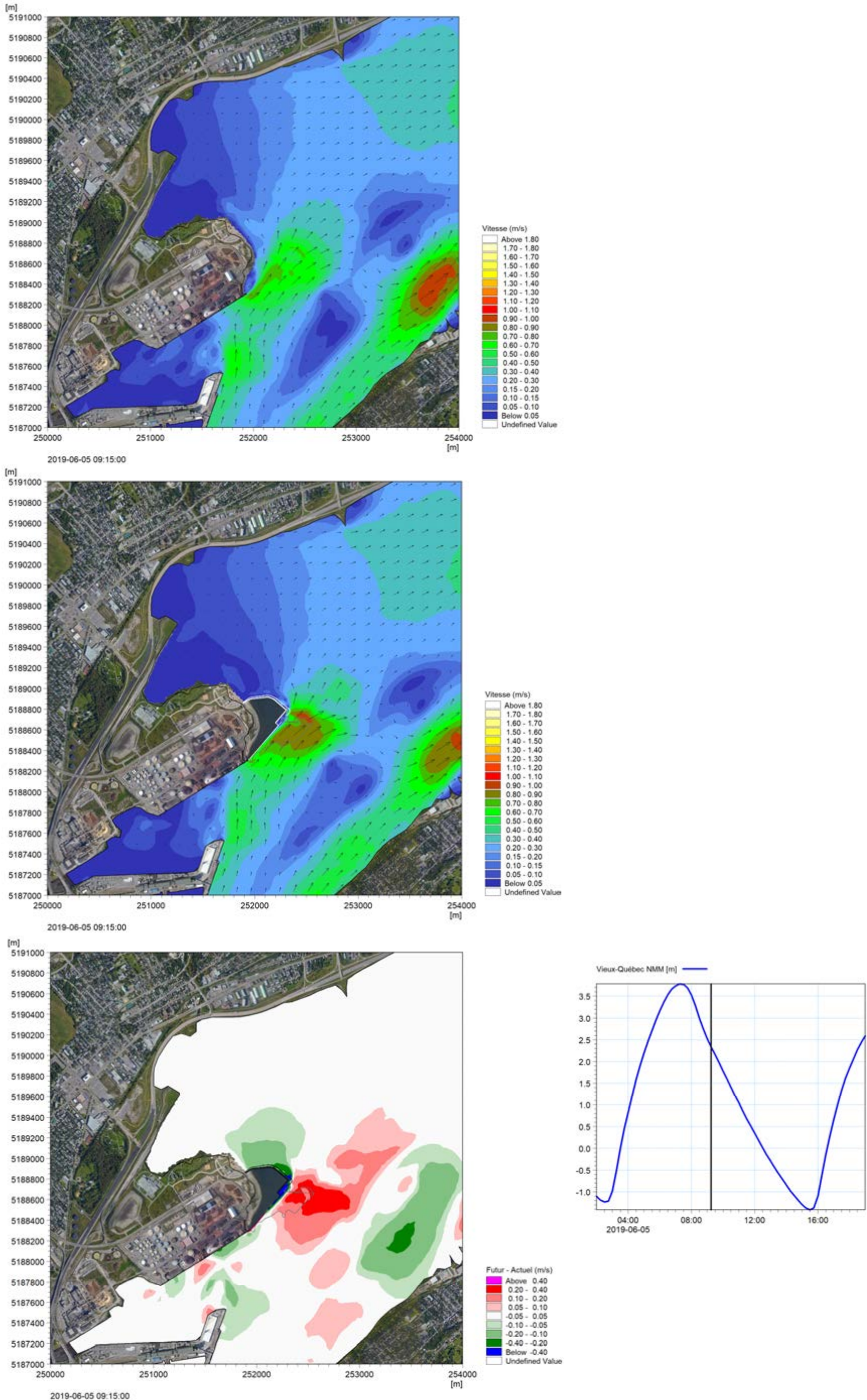


Figure 4.3d : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

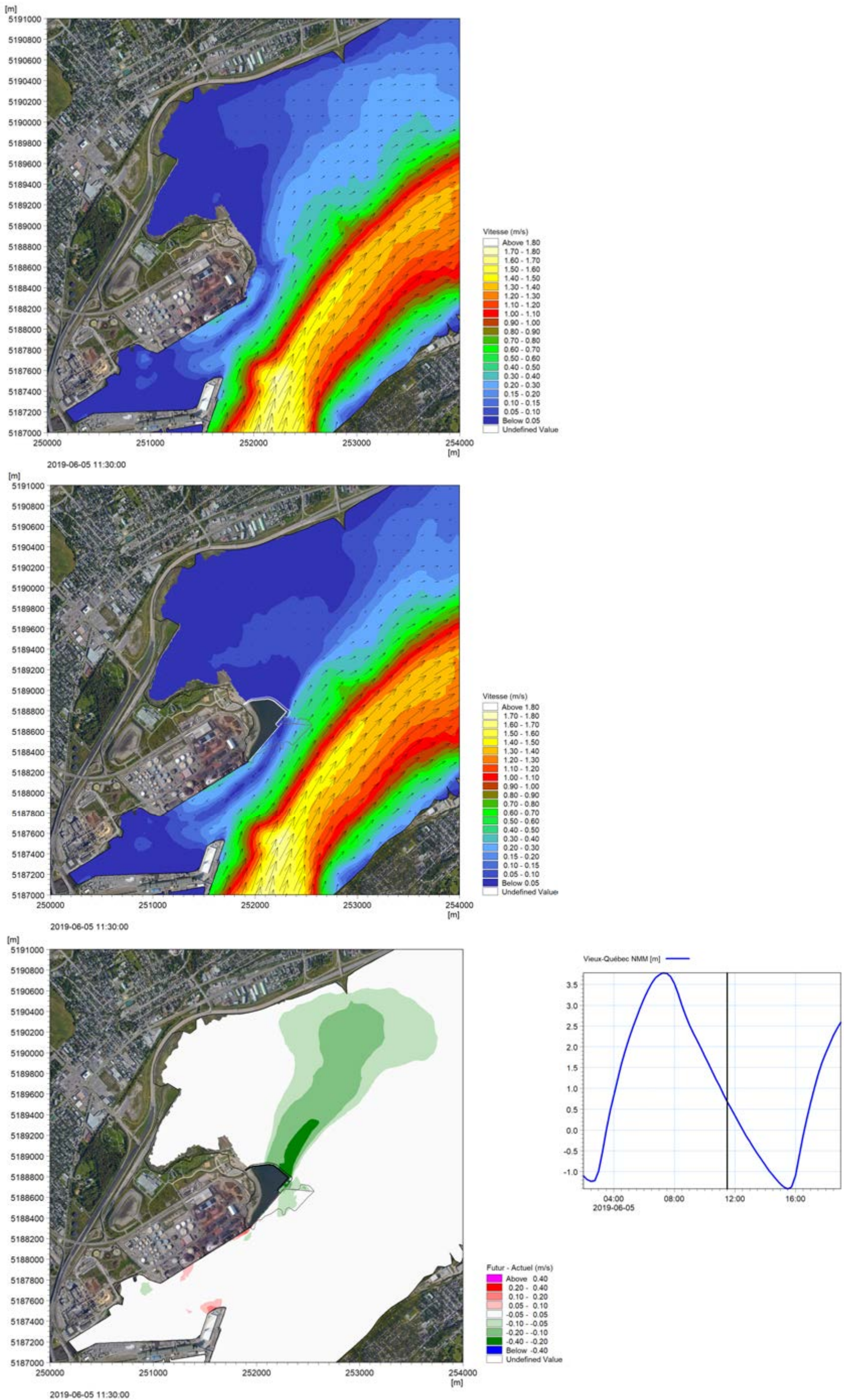


Figure 4.3e : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

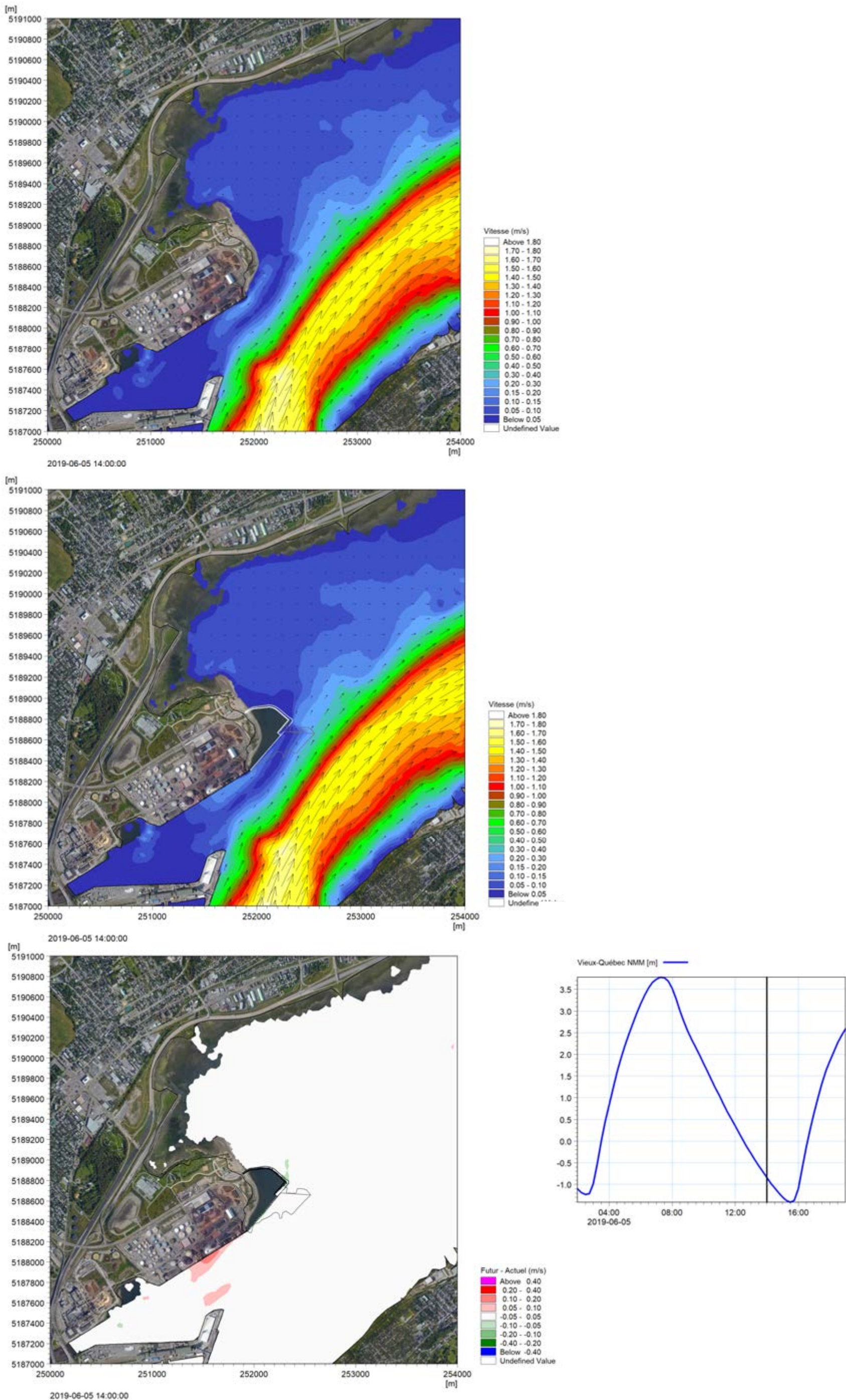


Figure 4.3f : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

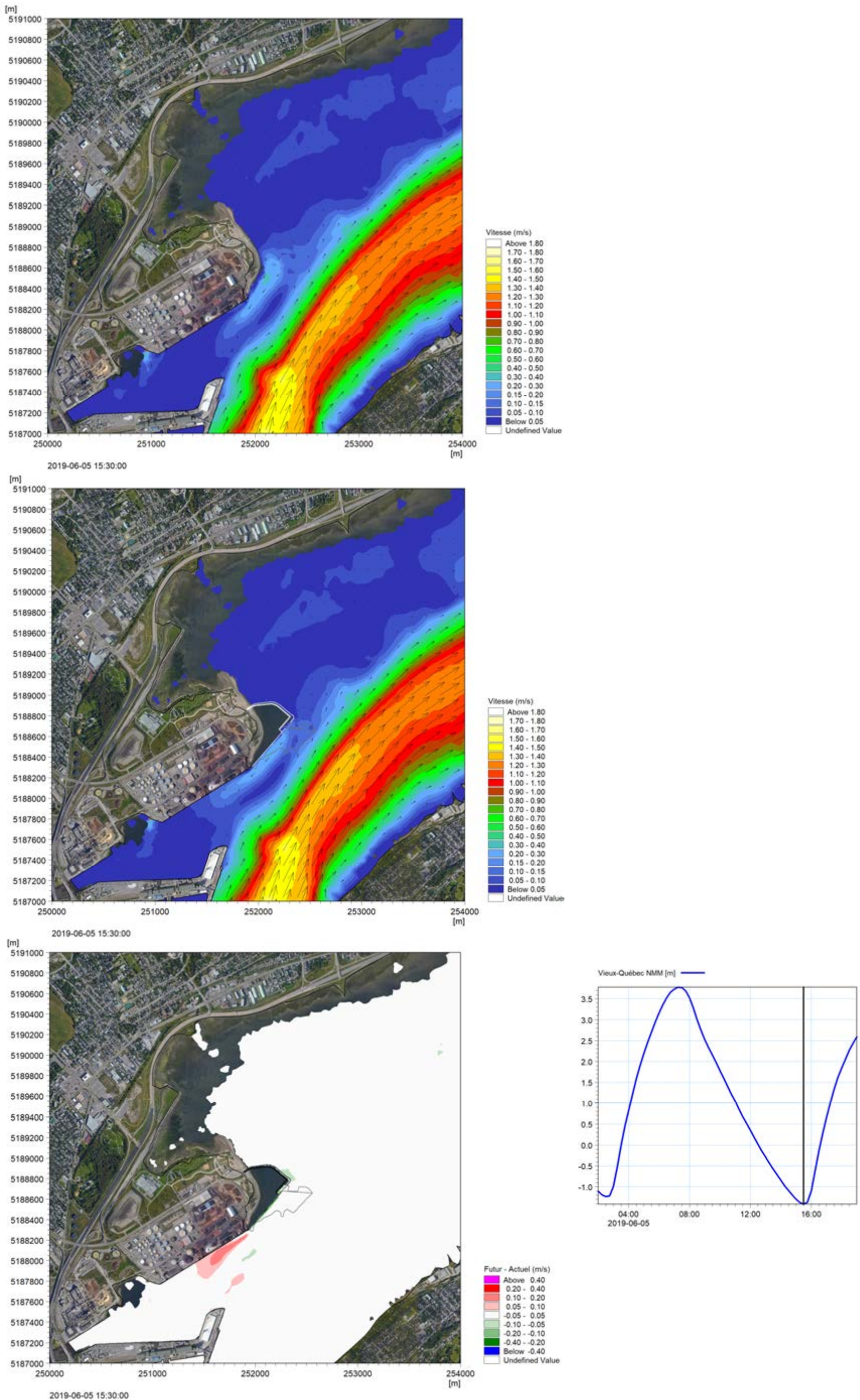


Figure 4.3g : Courants de marée de vive-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

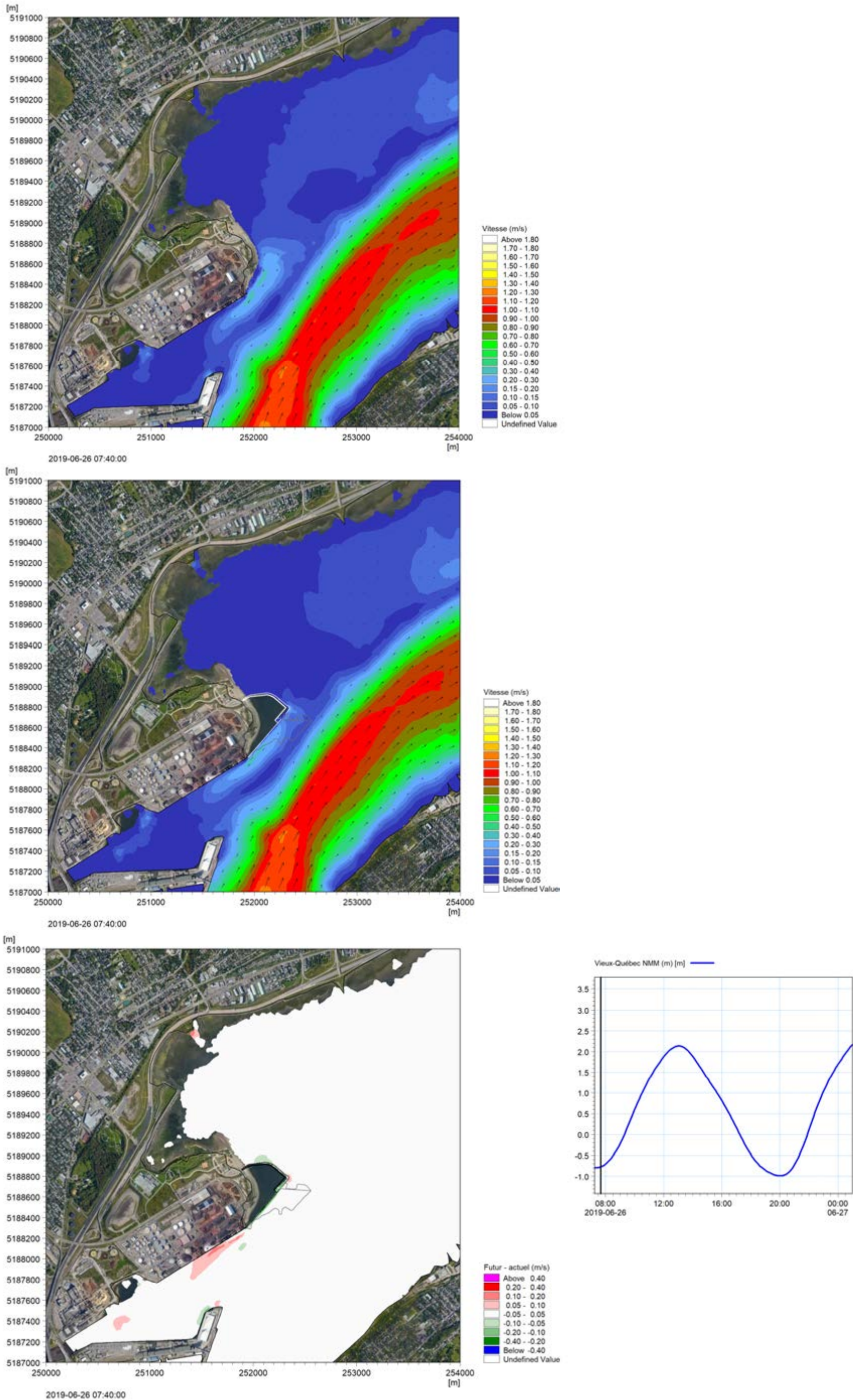


Figure 4.4a : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport

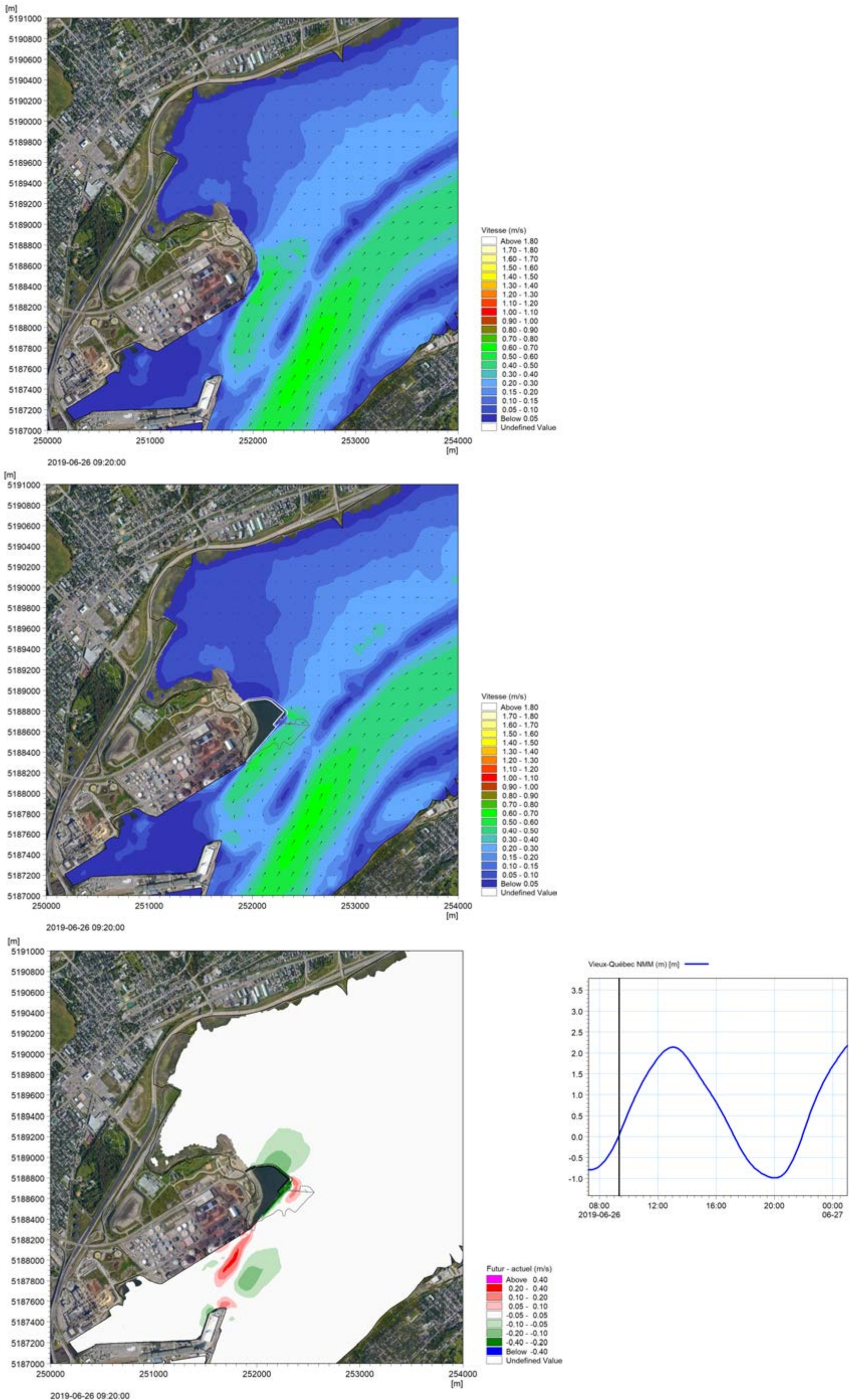


Figure 4.4b : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

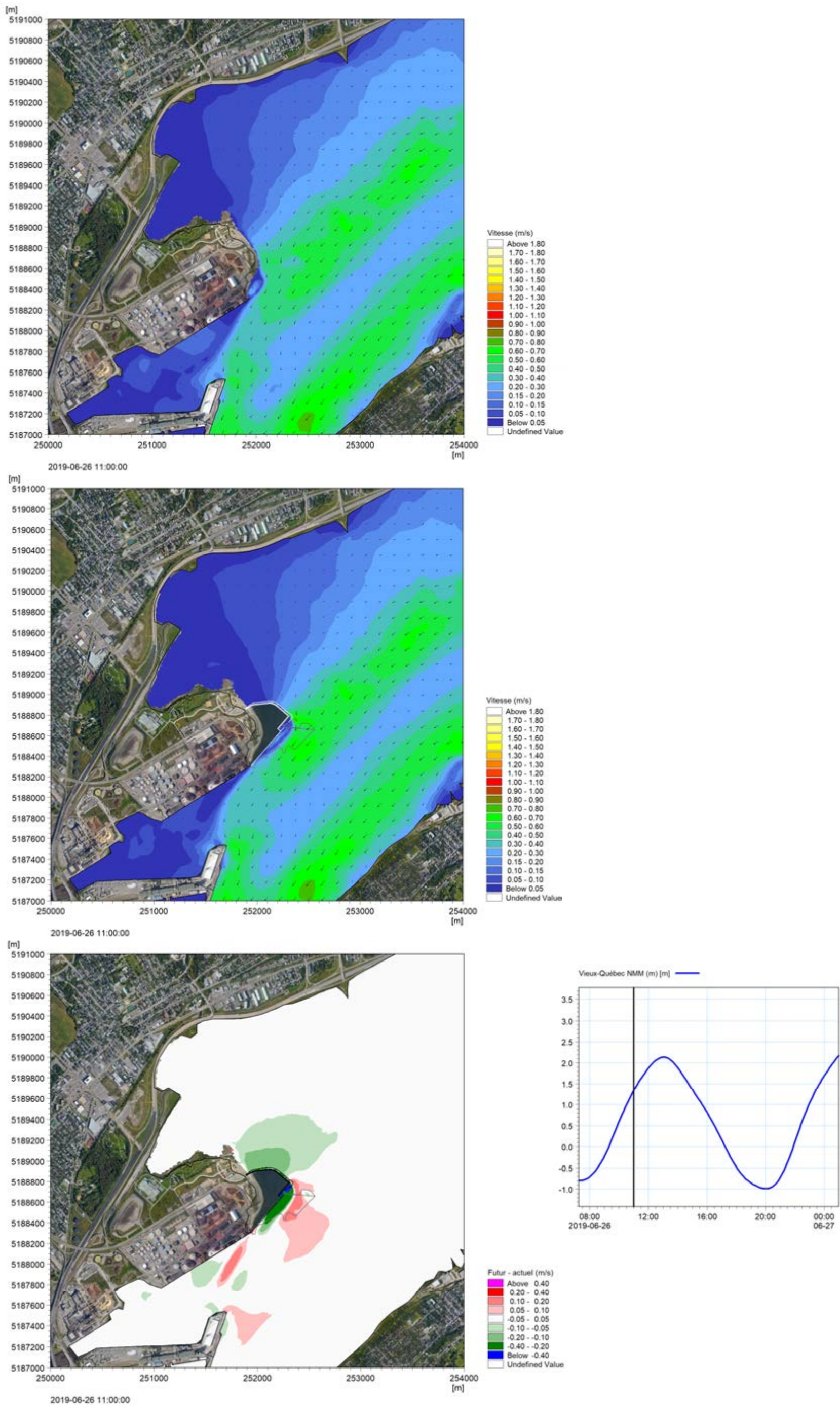


Figure 4.4c : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

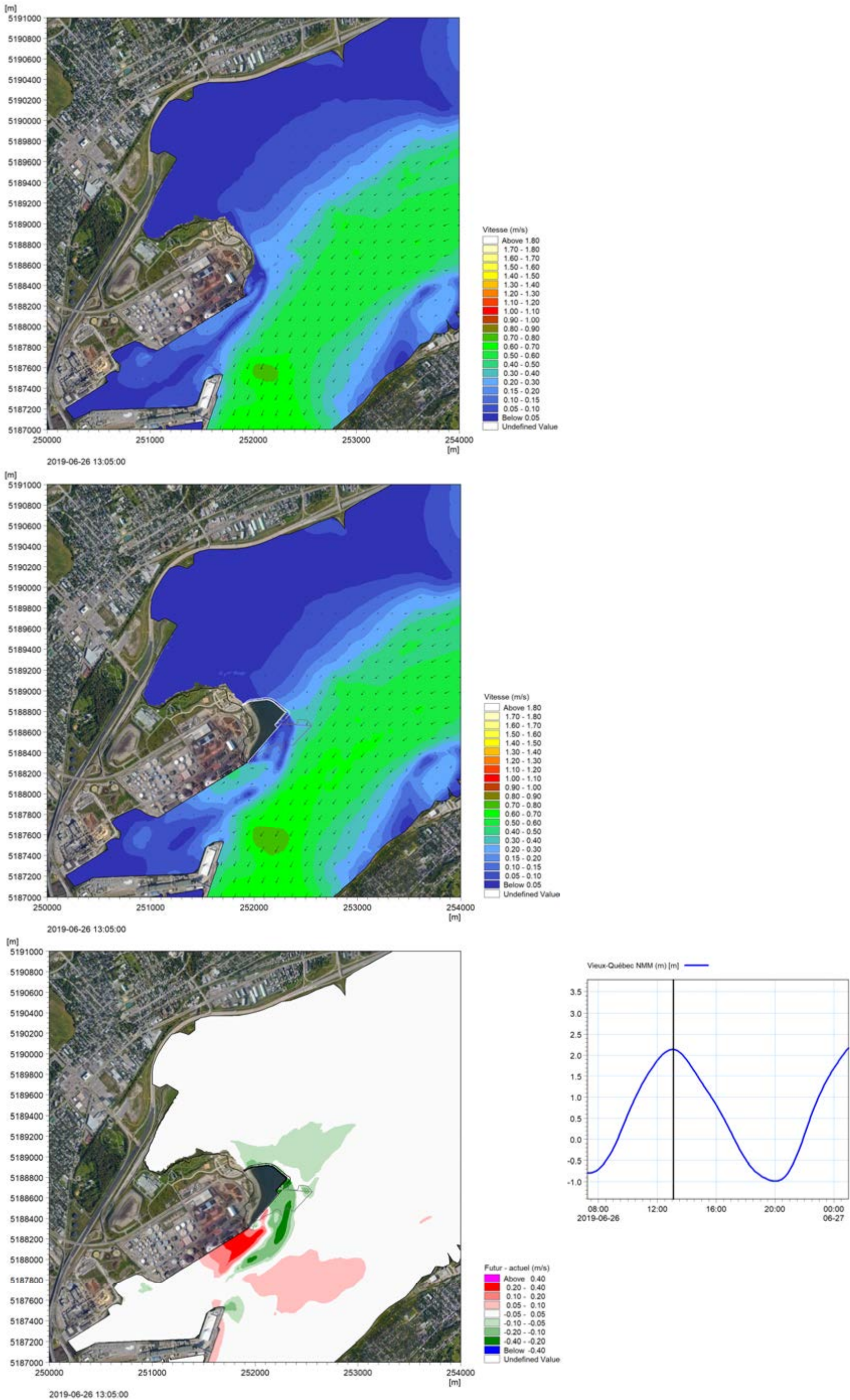


Figure 4.4d : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

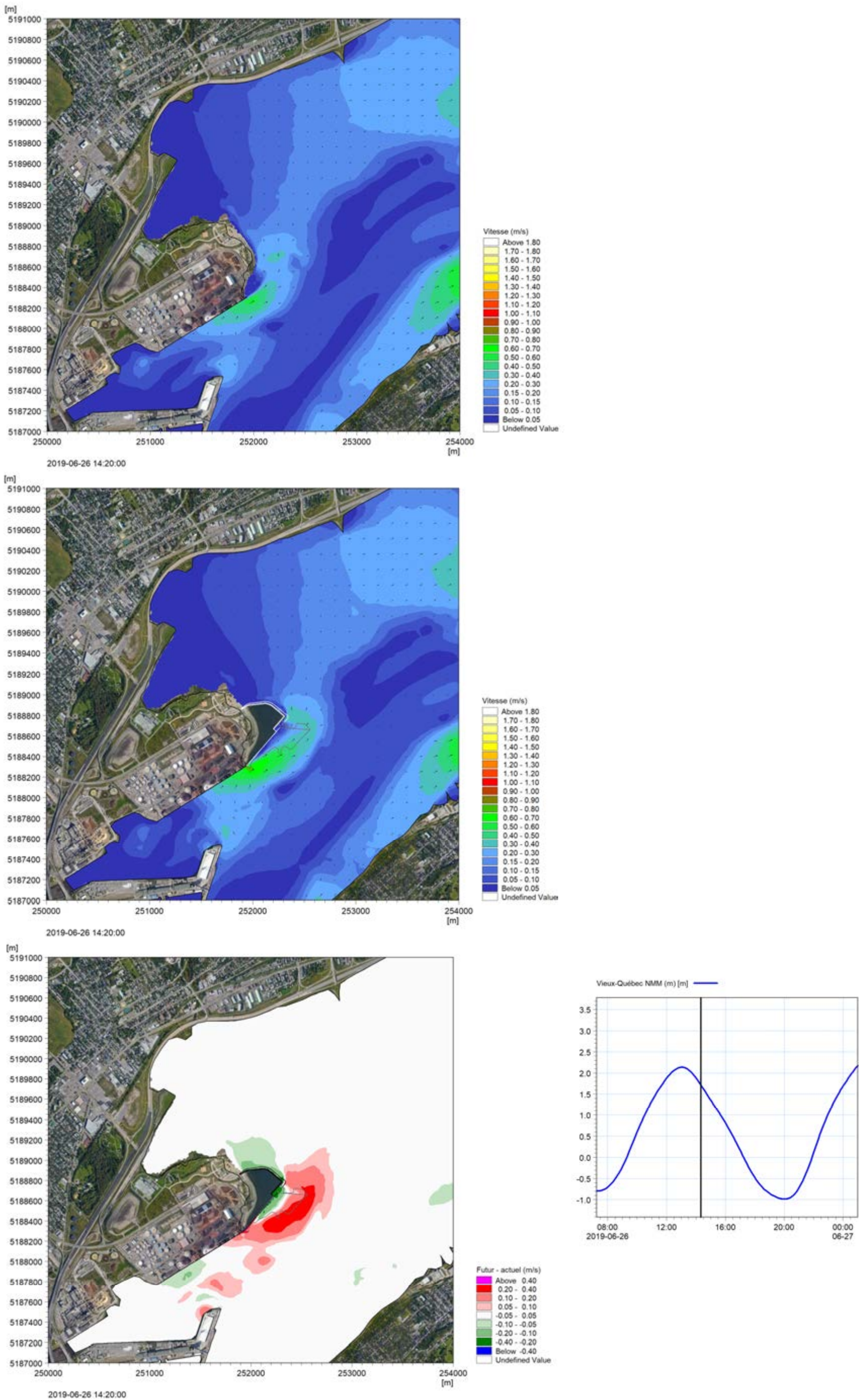


Figure 4.4e : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

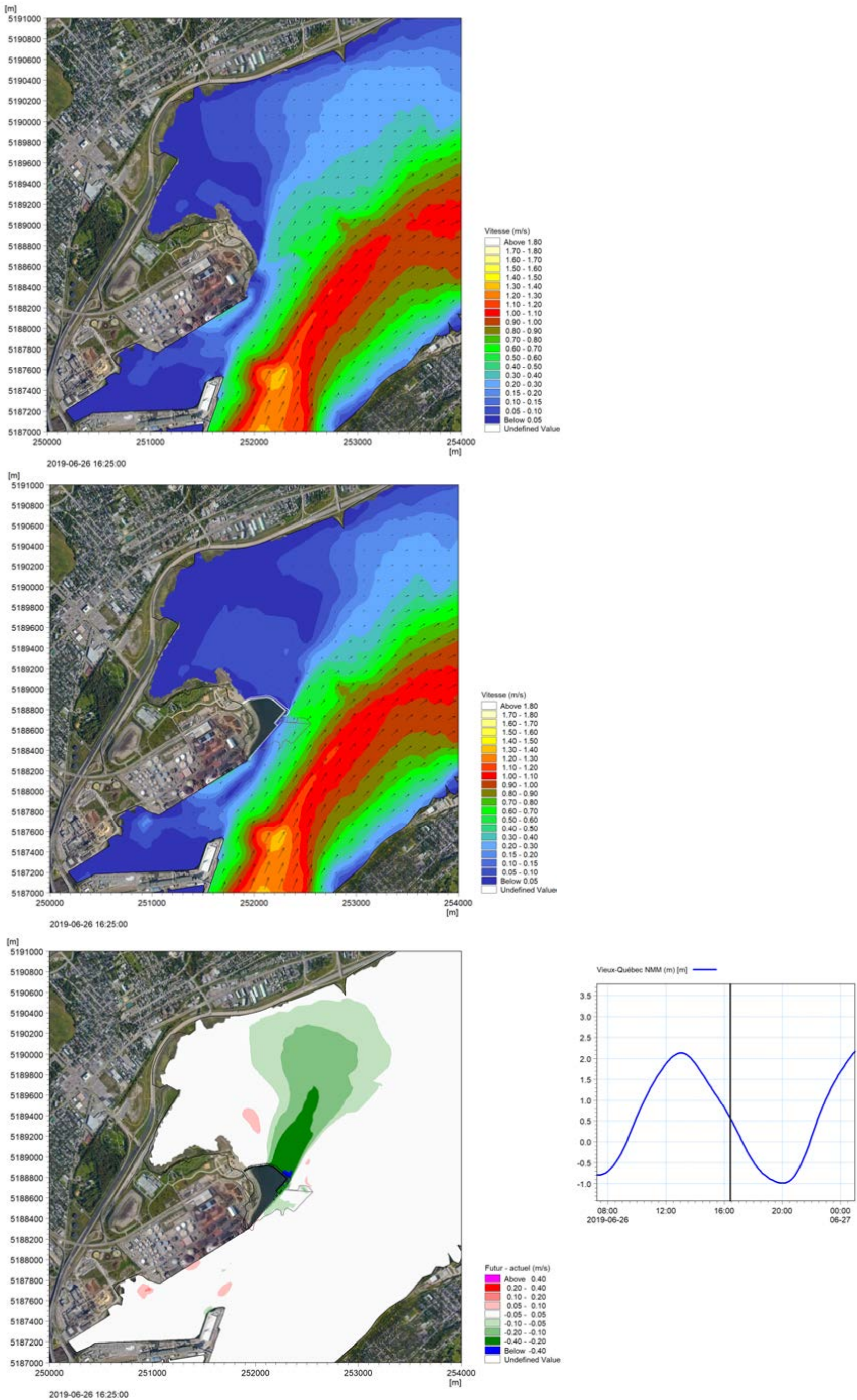


Figure 4.4f : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

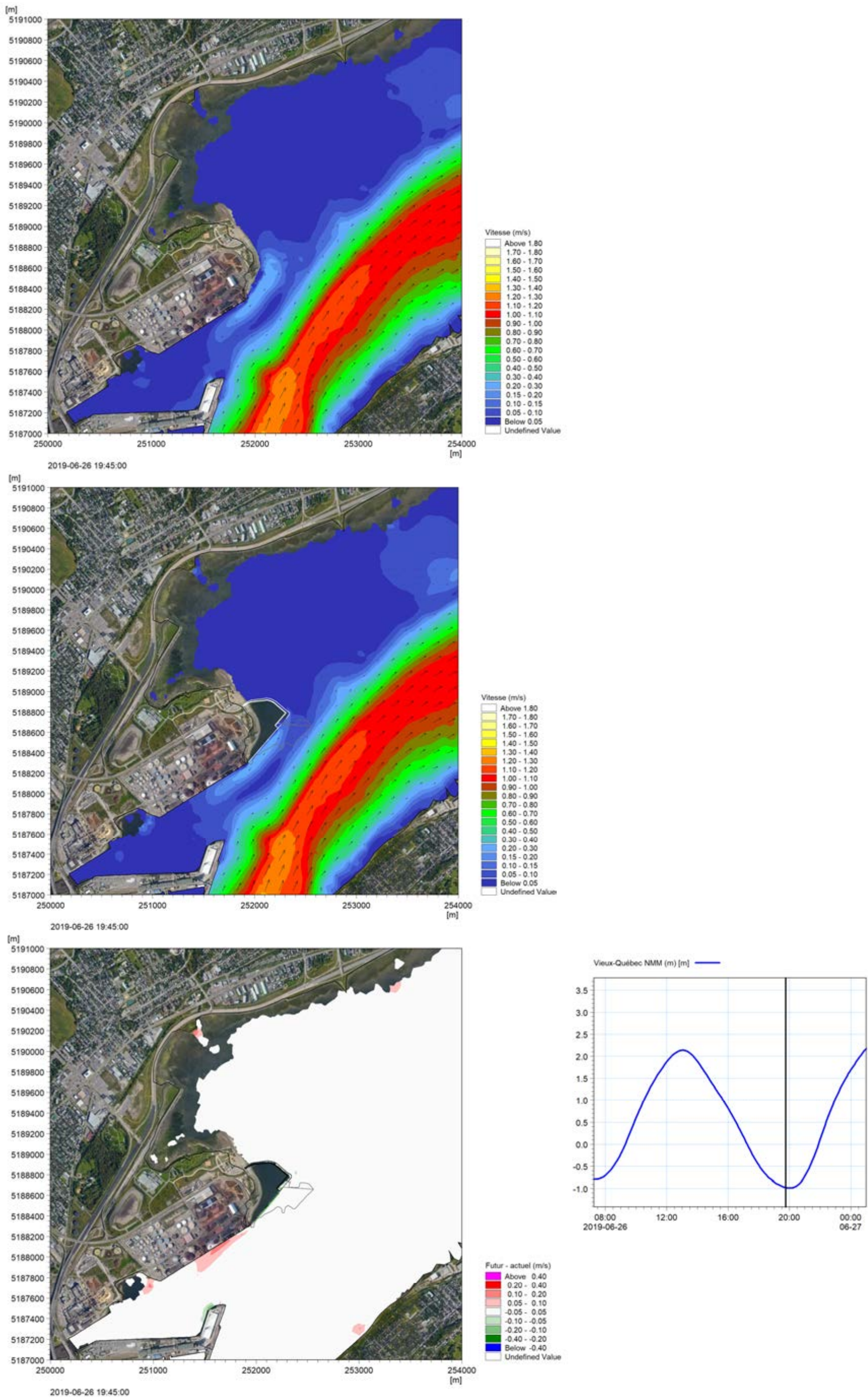


Figure 4.4g : Courants de marée de morte-eau avant et après aménagement – Secteur Beauport (suite)

5 IMPACT DU DÉBIT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES (ACEE-10)

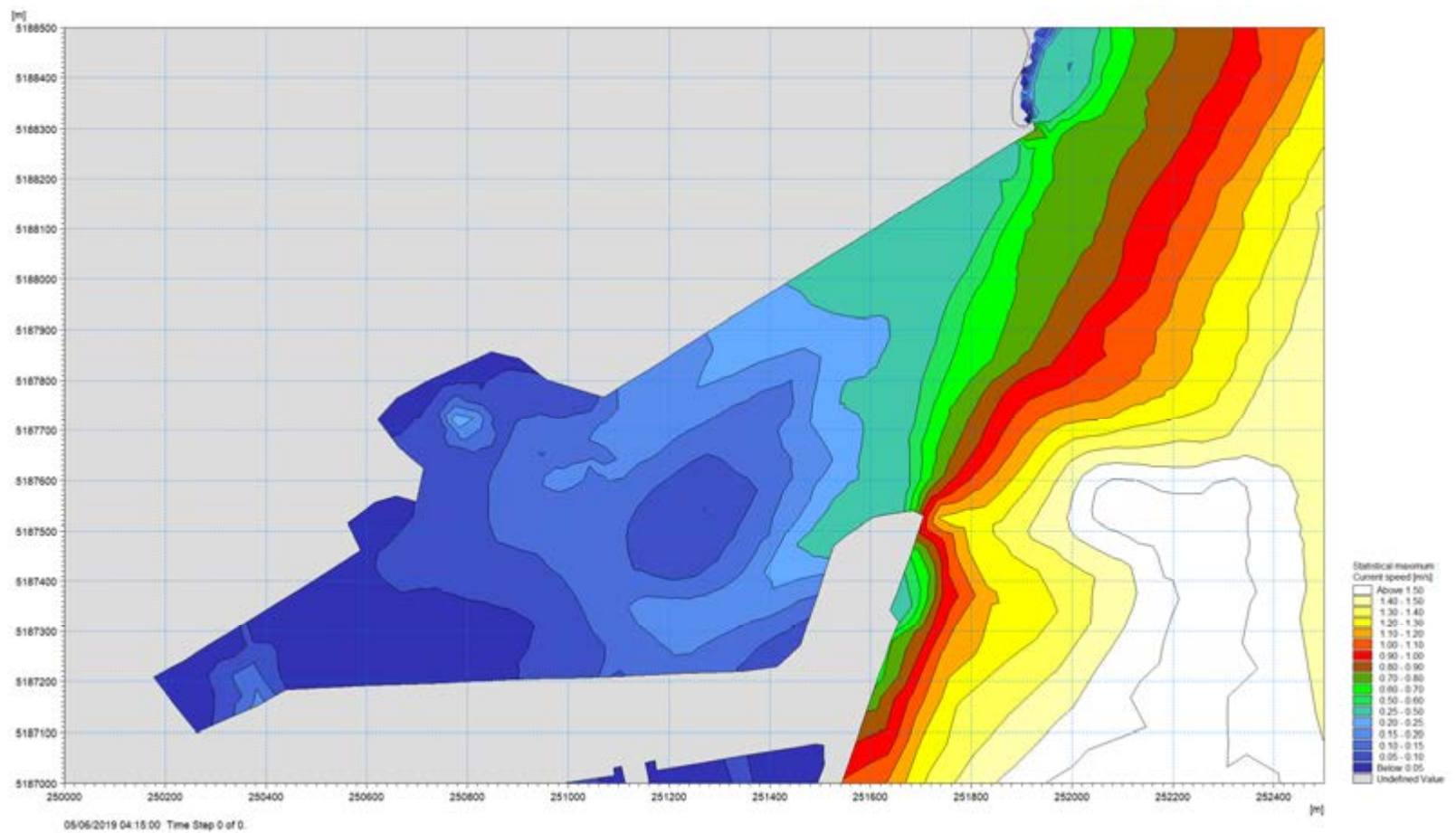
La question ACEE-10 demande des clarifications quant à l'influence du débit de la rivière Saint-Charles sur les conditions hydro-sédimentaires dans le secteur bordant le quai projeté et l'estuaire de la rivière Saint-Charles. Les études antérieures de Lasalle | NHC avaient déjà indiqué que le débit de la rivière Saint-Charles n'avait aucun impact tangible sur les courants de marée déjà prévus à l'aide de la modélisation hydrodynamique.

La figure 5.1 illustre bien ce point. On y compare, pour les conditions d'aménagement actuelles, la vitesse maximale des courants de marée de vive-eau du 5 juin 2019 avec celle obtenue en simulant, pour cette même marée un débit de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ à l'exutoire de la rivière Saint-Charles (i.e. au barrage Samson). Comme l'indique la figure 5.1c, cette valeur excède clairement les débits de crue journaliers de la rivière Saint-Charles, dont le maximum historique n'a jamais dépassé $93 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période 1969-2001.

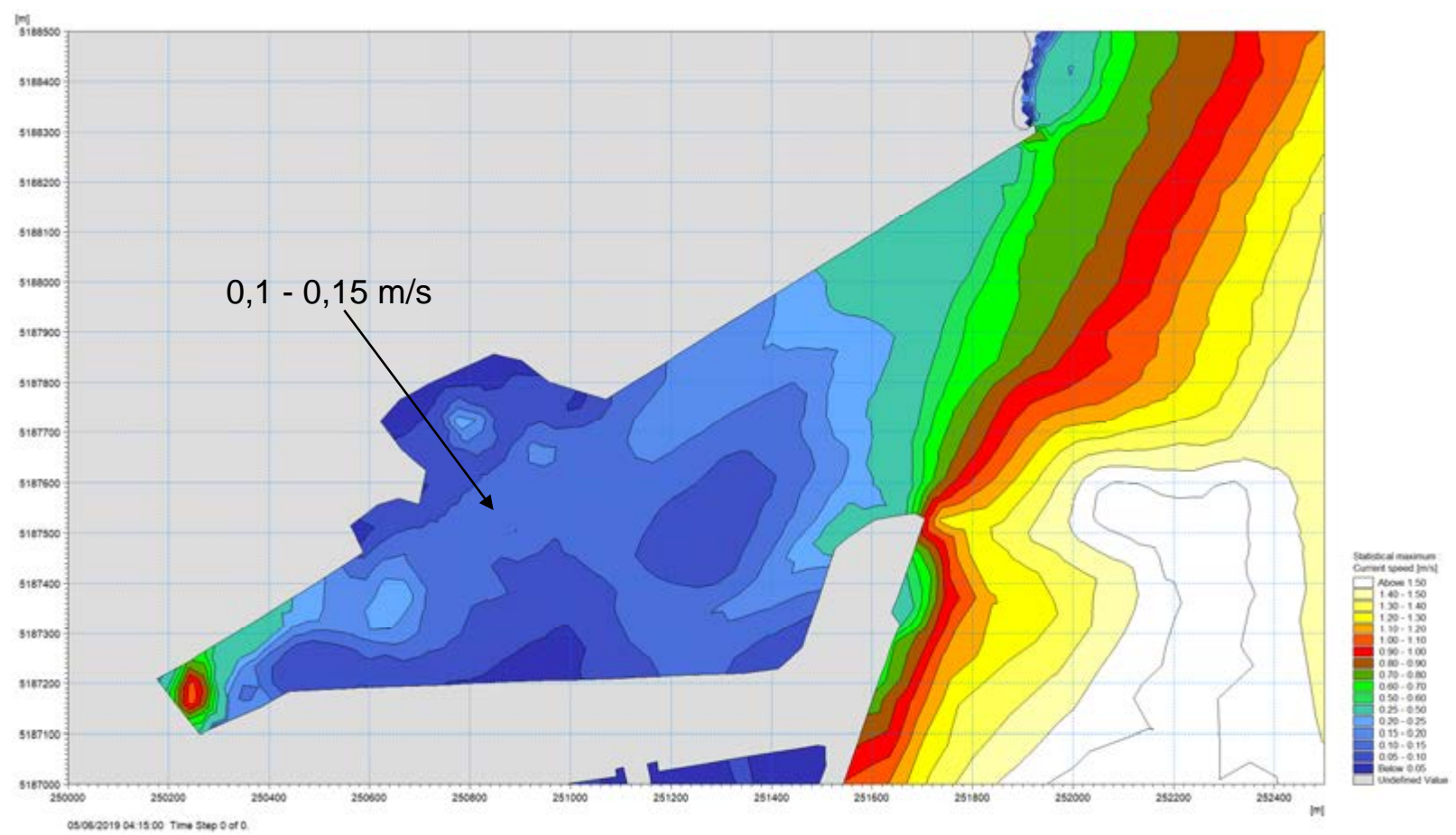
La figure 5.1a donne la vitesse maximale dans l'estuaire de la Saint-Charles intégrée pendant le cycle complet de marée et la figure 5.1b celle obtenue en présence d'un débit de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ imposé au site du barrage Samson. Sauf aux abords immédiats du barrage, les écarts de la vitesse maximal sont marginaux et il est clair que le régime des courants dans cette zone, même si elle se situe hors de l'écoulement principal du fleuve, est avant tout dicté par la marée.

À titre complémentaire, l'annexe E (figures E-1a à E-1g) compare de manière plus détaillée l'écart instantané des vitesses obtenu tout au long du cycle de marée du 5 juin 2019, avec débit nul puis débit de $100 \text{ m}^3/\text{s}$ dans la Saint-Charles. Les figures E-2a à E-2g reprennent cette comparaison pour la marée de morte-eau du 26 juin 2019.

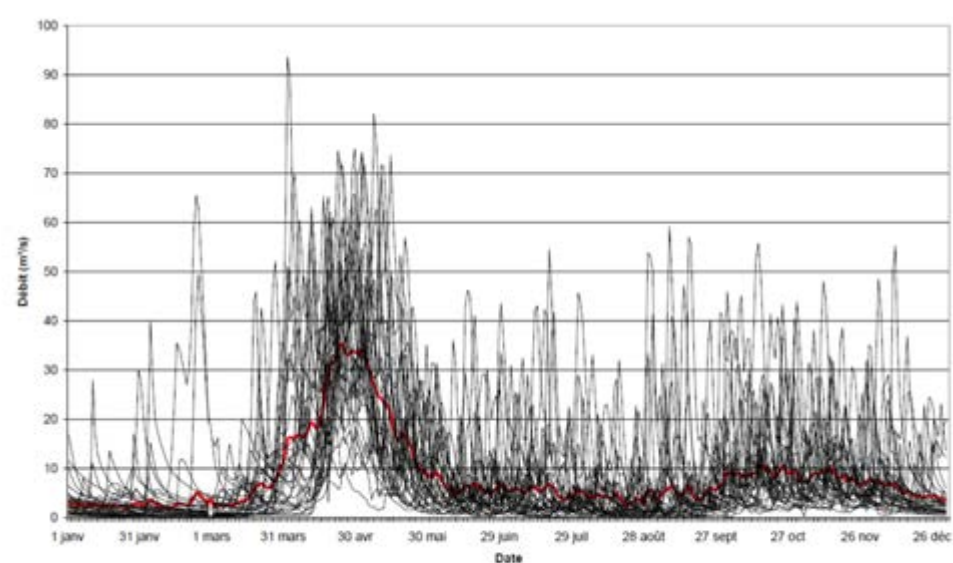
Comme nous l'avons souligné dans nos études antérieures, il importe de souligner que la présence du barrage Samson (et la configuration de ses pertuis) élimine à toutes fins pratiques le transport sédimentaire de la rivière Saint-Charles vers le secteur portuaire situé à l'aval du barrage.



a) Courants de marée seulement



b) Courants de marée et débit de 100 m³/s dans la Saint-Charles



c) Rivière Saint-Charles – Station 02PD010 – Hydrogrammes 1969-2001

Figure 5.1 : Impact du débit de la rivière Saint-Charles - Marée de vive-eau du 5 juin 2019

6 MODÉLISATION HYDRO-SÉDIMENTAIRE

6.1 Analyse de l'évolution morphologique (ACEE-9)

Notre dernière étude hydro-sédimentaire de la plage de Beauport a été réalisée en 2018³. Dans le cadre de cette étude, l'évolution morphologique de la plage actuelle avait notamment été documentée par la comparaison de relevés bathymétriques réalisés le long de la pointe de Beauport en 2009, 2013 et 2017.

Les écarts de niveau entre ces trois séries de relevés indiquaient clairement la progression de l'érosion de la plage et la migration des sables érodés vers le nord, conduisant à la formation et la lente évolution de la flèche sableuse adjacente au rentrant sud-ouest (figure 6.1). Outre l'érosion de la berge, la comparaison des relevés de 2009 et 2013, qui couvraient une zone plus étendue que ceux de 2017, semblait aussi indiquer une sédimentation généralisée de la batture située au droit de la pointe (épaisseur d'accumulation de l'ordre de 20 cm). Nous avons conclu que cet écart était probablement lié à un problème de calage des relevés de 2009 puisque, d'une part, l'étendue de cette zone d'accrétion n'était pas compatible avec l'érosion de la pointe et, d'autre part, parce qu'une sédimentation généralisée de la batture serait difficile à expliquer et ne serait appuyée par aucune donnée ou information antérieure.

Afin d'approfondir cette question, la présente section fournit plus d'information sur les caractéristiques des relevés de 2009, 2013 et 2017. La figure 6.2 illustre la zone couverte par chacun de ces relevés. Les sondages de 2009 couvraient la zone plus étendue, s'étendant non seulement le long de la pointe de Beauport mais également dans le rentrant sud-ouest et sur une portion importante de la batture, incluant des informations topographiques relativement détaillées au-dessus du zéro marégraphique (figure 6.2a). Les relevés de 2013 étaient également étendus mais offraient moins de couverture en tête de plage et ne couvraient pas le rentrant sud-ouest ni la portion de la batture longeant la rive nord du fleuve (figure 6.2b). Les relevés de 2017 étaient les plus limités, étant uniquement concentrés dans la zone littorale de la pointe (plage) de Beauport (figure 6.2c).

Le tableau 6.1 donne les principales caractéristiques de chacune de ces séries de relevés. A priori, les relevés de 2013 effectués par le Service hydrographique du Canada à l'aide d'un sonar multi-faisceau peuvent difficilement être mis en doute et, sans présumer de la qualité des relevés de 2009, les relevés de 2013 sont probablement plus précis que ceux de 2009.

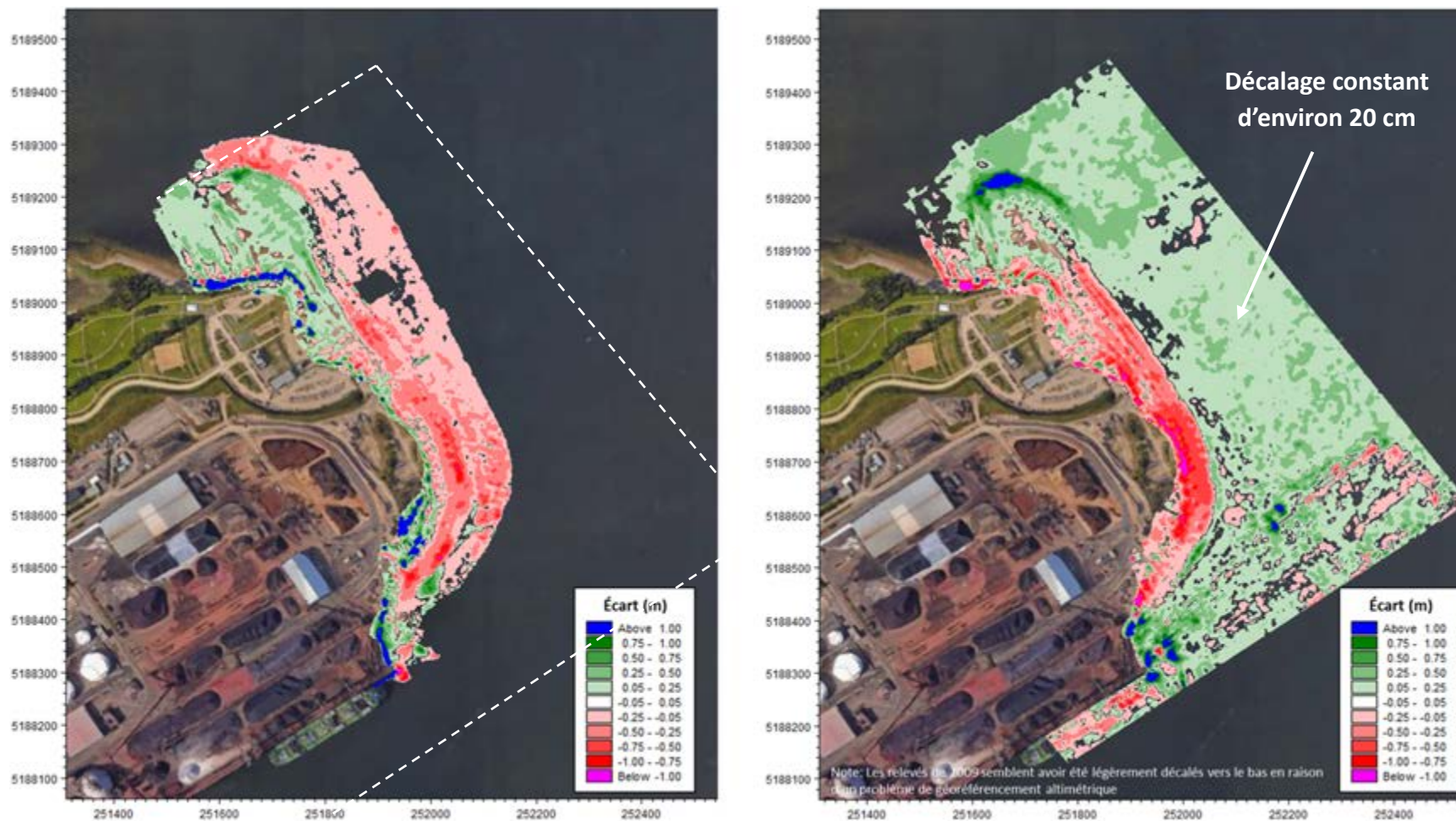
³ GALLANT, N., AUBEL, T., VILLENEUVE, M. & ROPARS, Y. (2018), « Port de Québec – Extension du secteur Beauport - Étude hydro-sédimentaire de la plage dans les conditions d'aménagement actuelles et futures », Rapport Lasalle | NHC no 0137 préparé pour le compte de l'Administration portuaire de Québec, Mars 2018.

Tableau 6.1 : Caractéristiques des relevés de 2009, 2013 et 2017

<i>Année</i>	<i>Date des relevés</i>	<i>Relevés effectués par</i>	<i>Instruments</i>
2009	11 juin - 3 septembre 2009	Entreprises Normand Juneau	Échosondeur monofaisceau Odom Hydrotrac pour la bathymétrie et relevés DGPS (ou RTK) pour la portion terrestre
2013	9 -12 juillet 2013	Service hydrographique du Canada	Échosondeur multifaisceau Kongsberg EM-3002
2017	10 - 12 juillet 2017	WSP	Information non disponible (données x, y, z fournies directement par l'APQ)

Les profils de plage extraits de ces relevés dans le cadre de notre étude de 2018 permettent d’approfondir la comparaison. Ces profils, reproduits à la figure 6.3, indiquent qu’un rehaussement vertical de 20 cm des relevés de 2009 ne compromet pas la cohérence des résultats, ne faisant qu’augmenter légèrement le recul de la plage observé à partir de 2009. Toutefois, si ce sont plutôt les relevés de 2013 qui sont ajustés par un abaissement vertical de 20 cm, la comparaison des profils montrent un problème de cohérence en tête de plage (élevations ZC de +3.5m et plus). En effet, on obtiendrait alors pour les profils 2 et 3 un recul de plage (érosion) entre 2009 et 2013, suivi d’une avancée (accrétion) entre 2013 et 2017, ce qui semble très difficile à expliquer sur la base des observations effectuées sur le site.

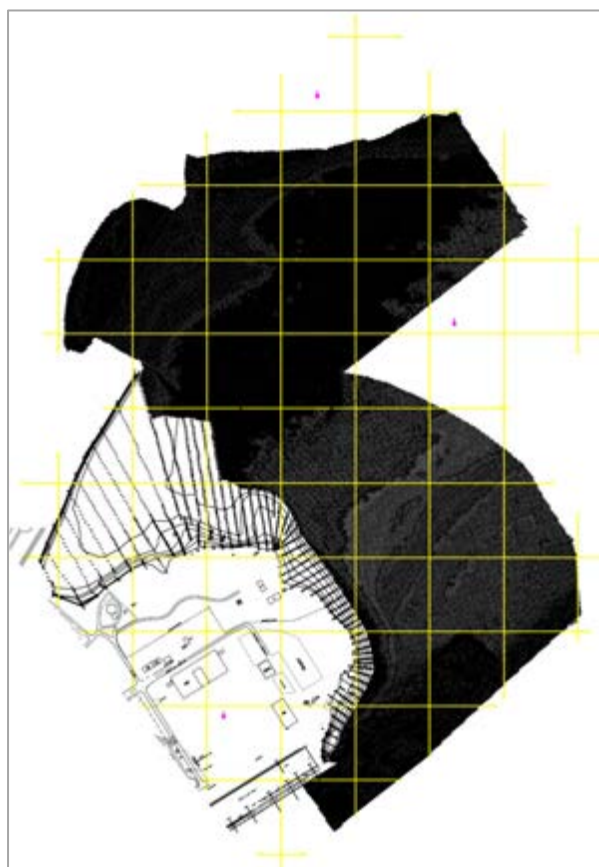
À noter également que le pied des profils de la figure 6.3 se situe toujours dans la pente de la plage et non dans la portion plus uniforme de la batture et ne permet donc pas de statuer sur les écarts potentiels de niveau entre les relevés de 2009 et 2013.



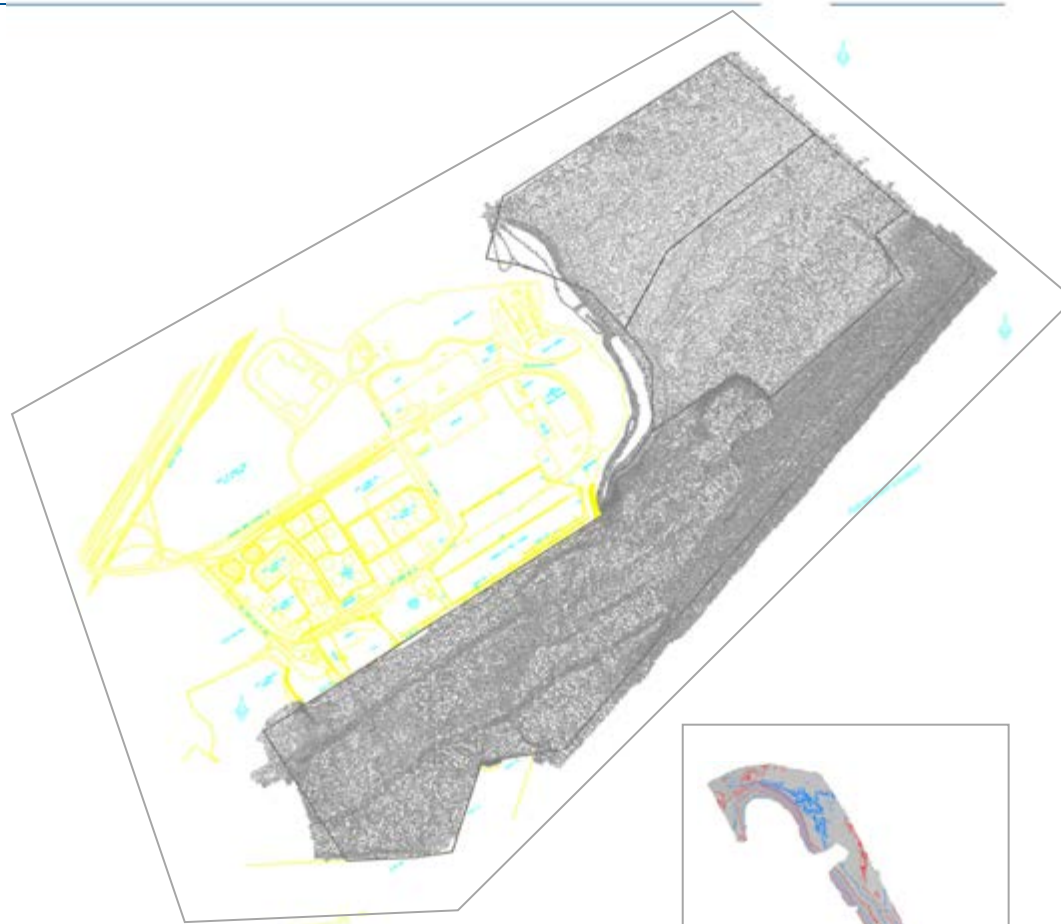
a) Écart 2017-2013

b) Écart 2013-2009

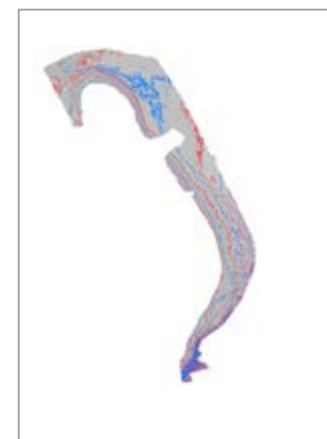
Figure 6.1 : Évolution morphologique de la plage actuelle – Bathymétries 2009, 2013 et 2017



a) Relevés de 2009 – Pointe de Beauport, batture et rentrant sud-ouest

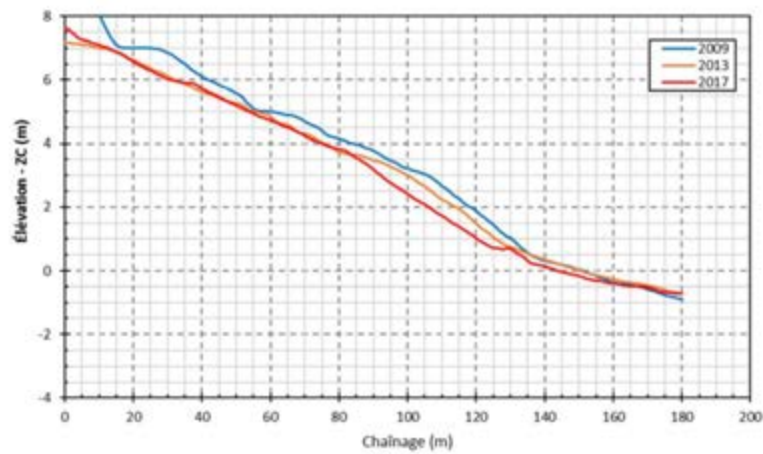


b) Relevés de 2013 – Estuaire de la Saint-Charles, pointe de Beauport et portion de la batture

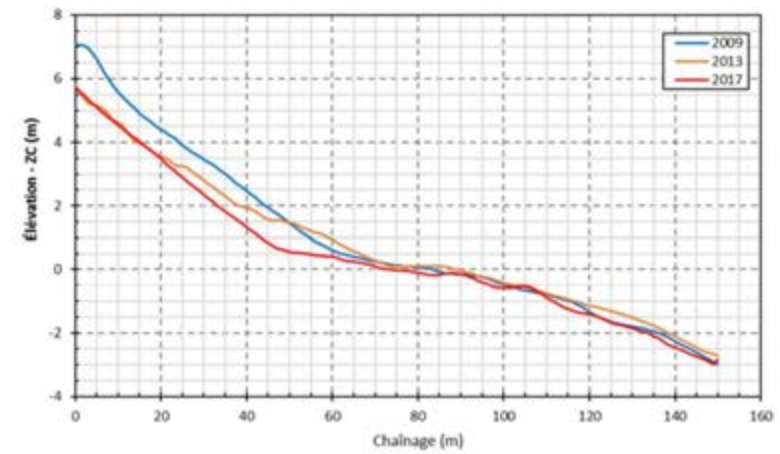


c) Relevés de 2017 – Pointe de Beauport seulement

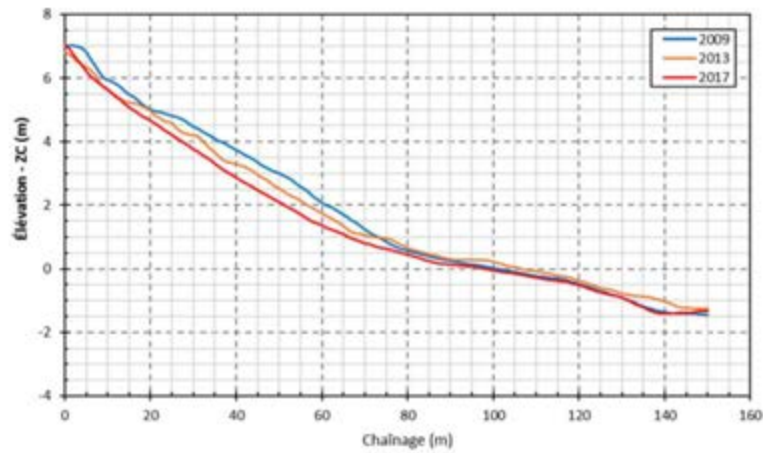
Figure 6.2 : Étendue des relevés de 2009, 2013 et 2017



a) Profil #1



c) Profil #3



b) Profil #2



d) Localisation des profils de comparaison

Figure 6.3 : Profils de plage extraits des relevés de 2009, 2013 et 2017

Ces nouveaux éléments tendent donc à confirmer que le décalage de 20 cm observé sur la batture entre les relevés de 2009 et 2013 est probablement dû à une imprécision des relevés de 2009.

Il importe par ailleurs de souligner que les profils de la figure 6.3 et l'estimation du recul de plage effectuée dans notre étude de 2018 (rapport no 0137) ne prenait pas en compte ce décalage d'élévation pour les relevés de 2009. Le recul de berge estimé dans cette étude entre 2009 et 2017 était donc légèrement sous-estimé. Le tableau 6.2 compare le recul moyen annuel 2009-2017 obtenu à chacun des trois profils de la figure 6.3, avec et sans la correction (rehaussement) de 20 cm des élévations relevées en 2009.

Tableau 6.2 : Recul moyen annuel de la plage entre 2009 et 2017

<i>Correction aux relevés de 2019</i>	<i>Profil1</i>	<i>Profil2</i>	<i>Profil3</i>
Aucune = Étude de 2018 (rapport no 0137)	-1.75 m	-1.50 m	-1.38 m
Rehaussement de 20 cm	-2.00 m	-1.88 m	-1.63 m

Avec la correction des sondages de 2009, le recul moyen annuel augmente d'environ 25 cm dans le secteur de la future plage (profil 1). Cet écart est toutefois clairement inférieur à la variabilité des reculs de plage observés sur le site et simulés par modélisation à l'ensemble des profils considérés dans notre analyse (figure 6.5b).

L'étalonnage de notre modèle de transport littoral en conditions actuelles demeure donc valide et l'érosion légèrement accrue découlant de l'ajustement des relevés de 2009 ne modifie donc pas les conclusions de notre étude de la stabilité de la plage.

6.2 Approche méthodologique - Évolution à long terme de la plage (ACEE-9)

La question ACEE-9b demande plus de détails sur la méthodologie de la modélisation hydro-sédimentaire et la question ACEE-9c vise à justifier l'absence des courants de marée dans la modélisation.

Nos simulations des courants de marée, de même que celles de l'agitation et des courants littoraux dus aux vagues, ont clairement montré que la dynamique sédimentaire de la plage était essentiellement régie par l'action des vagues. Les mécanismes de transport sédimentaire engendrés par l'attaque des vagues et les courants littoraux qui en résultent dans la zone de la plage, sont à toutes fins pratiques indépendants des courants de marée se développant au large de la plage. Ainsi, les incertitudes sur les courants de marée du modèle hydrodynamique n'ont pas d'impacts tangibles sur l'étude de la dynamique de la plage.

En effet, le transport solide ayant un impact sur le bilan sédimentaire de la plage, et donc sur la tendance au recul, a essentiellement lieu dans la zone active du profil de plage qui n'est que marginalement soumise aux courants de marée. Les calculs indiquent que 75% du transport se produit au-dessus de l'élévation 1,4 m (ZC) ou -0,58 m (NMM), dans une zone de courants de marée de très faible vitesse, et que la totalité du transport sédimentaire se produit au-dessus de l'élévation -0,2 m (ZC) ou - 2,18 m (NMM). Les simulations des courants de marée (avec le modèle de 2016 de même que le modèle révisé développé pour le présent mandat) montrent que des courants de marée significatifs ne sont observés à cette profondeur que pendant une courte période du flot. Par ailleurs, les observations de l'évolution morphologique à long terme de la plage actuelle (érosion et recul graduel de la plage, avec formation résultante de la flèche sableuse) montrent une grande similarité avec la trajectoire des courants littoraux dus aux vagues, mais aucune avec les courants de marée simulés dans cette zone.

L'approche méthodologique de la modélisation hydro-sédimentaire est présentée de manière schématique à la figure 6.4. Pour simuler l'évolution à long terme de la plage, en conditions actuelles et pour l'aménagement futur, cette dernière est soumise à la séquence des vagues de tempête 2000-2016, les épisodes de tempête étant définis comme suit :

- Une vitesse minimale de 30 km/h pendant au moins 12 heures consécutives avec au moins 3 heures de vents supérieurs à 50 km/h

OU

- Une vitesse minimale de 30 km/h pendant au moins 6 heures consécutives avec au moins 1 heure de vents supérieurs à 60 km/h

Le module de vagues SW (Spectral Waves) de Mike 21 permet d'abord de calculer la hauteur et la direction des vagues dans l'ensemble de la zone à l'étude, sur la base des vents enregistrés à la station météo Beauport. La simulation tient compte du niveau d'eau variable fourni par le modèle hydrodynamique, et ce dernier permet en retour de calculer les courants littoraux générés par les contraintes de radiation associées aux vagues.

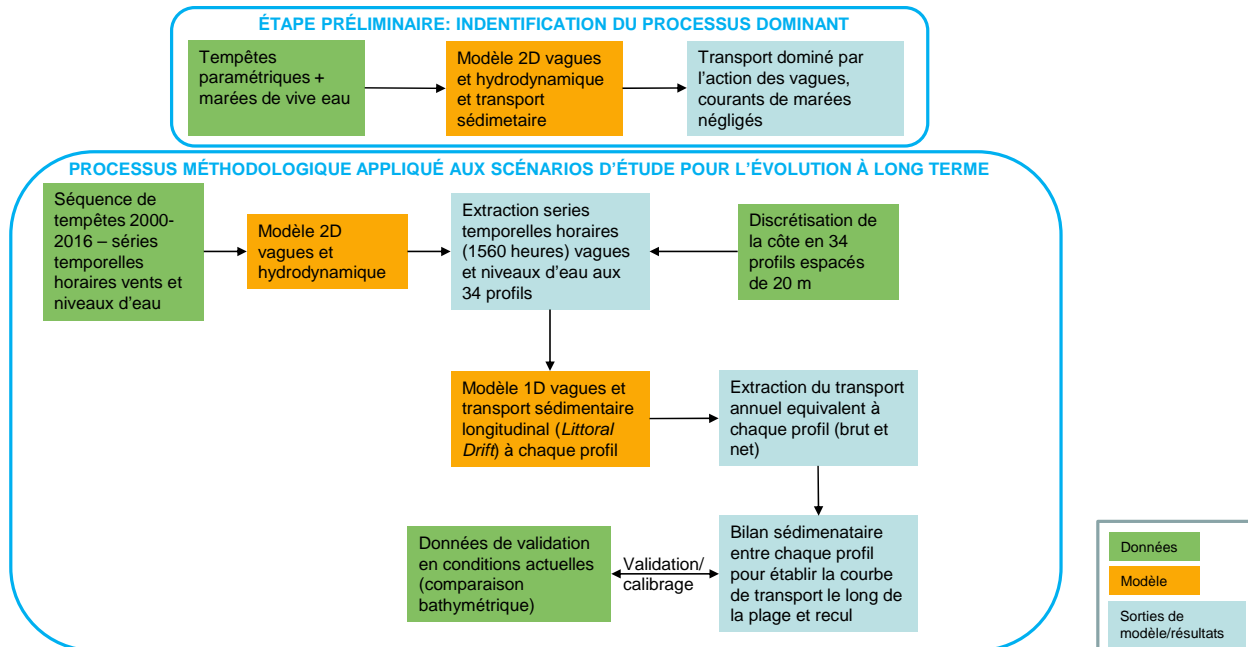


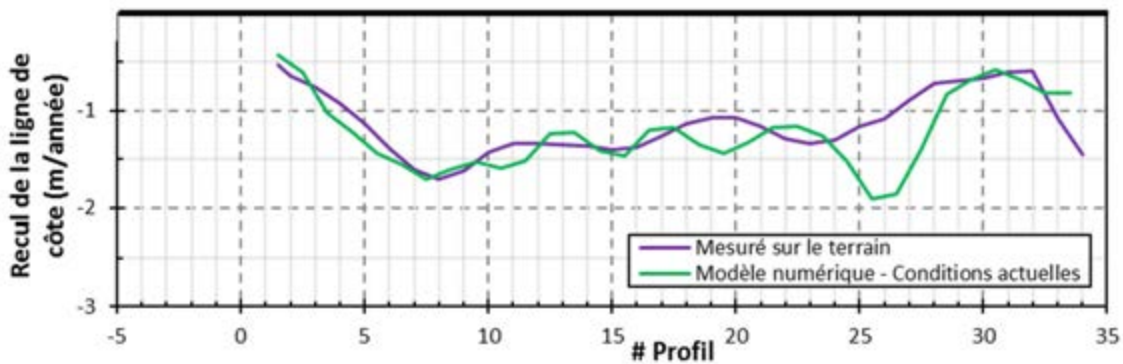
Figure 6.4 : Modélisation hydro-sédimentaire de la plage – Approche méthodologique

En utilisant les résultats des modèles 2D (niveau d'eau, hauteur et direction des vagues), l'évolution à long terme de la plage est prédite à l'aide d'un modèle filaire (Litpack) établissant le bilan sédimentaire à une trentaine de sections-en-travers situées le long de la plage (figure 6.5a). Il en résulte un bilan du recul ou de l'avancée de la plage pendant la période considérée (figure 6.5b).

Plus de détails sur cette approche sont fournis dans le rapport 0137 de Lasalle | NHC.



a) Sections-en-travers utilisées dans le modèle filaire



Note: Le recul de la ligne de côte a été modélisé entre 2000 et 2016 (17 ans) alors que le recul mesuré sur le terrain a été mesuré entre 2009 et 2017 (8 ans)

b) Recul de la plage actuelle – Comparaison des valeurs observées sur le site et modélisées

Figure 6.5 : Plage actuelle – Modélisation à long terme du transport littoral

6.3 Reprise des simulations hydrodynamiques (ACEE-11)

Tel que mentionné à la section précédente, la dynamique sédimentaire de la plage est avant tout dictée par l'action des vagues et non par les courants de marée.

La révision du modèle hydrodynamique et la prise en compte de la référence altimétrique NMM plutôt que ZC n'ont donc aucun impact sur les résultats déjà obtenus pour la modélisation hydro-sédimentaire de l'évolution de la plage actuelle et future.

6.4 Transport de sable vers le rentrant sud-ouest (ACEE-12)

La question ACEE-12 demande des précisions sur le transport de sable vers le rentrant sud-ouest en conditions d'aménagement actuelles et projetées.

La figure 6.6 est extraite du rapport no 0137 de Lasalle|NHC (2018). Elle présente les résultats de calcul du transport littoral à long terme. Le graphique de transport (en m³/année en fonction du chainage de la plage) permet une lecture du bilan sédimentaire sur l'ensemble de la plage. En conditions futures, la présence de l'extension portuaire conduit à un transport net vers le nord plus faible qu'en conditions actuelles. Les résultats de modélisation des vagues (voir rapport no 0137 et exemple à la figure 6.7) montrent que l'extension atténue les vagues incidentes sur la plage ainsi que les courants littoraux, moteurs du transport sédimentaire, ce qui se traduit effectivement par un transport plus faible vers le nord. Le bilan sédimentaire de la zone dont le transport est dirigé vers le nord permet d'établir un volume annuel d'environ 2 500 m³/année en conditions actuelles et d'environ 2 000 m³/année en conditions futures. Il y a donc un volume annuel de 500 m³/année (soit 20%) de moins en conditions futures transporté vers la flèche sableuse. Soulignons que, selon les informations les plus récentes fournies par l'APQ et Englobe, aucune recharge n'est prévue.

Le volume érodé en conditions actuelles provient d'un tronçon d'environ 400 m (sections 1 à 20, figure 6.6), ce qui conduit à un gradient de transport d'environ 7 m³/m/année alors qu'en conditions futures, le volume érodé provient d'un tronçon d'environ 240 m (sections 1 à 13), ce qui correspond à un gradient de transport d'environ 9 m³/m/année. Le gradient de transport en conditions futures est donc 25% supérieur à celui obtenu en conditions actuelles et, par conséquent, le recul de plage requis pour atteindre un tel volume d'érosion est supérieur à celui obtenu en conditions actuelles. En d'autres mots, le volume annuel de sable érodé le long de la future plage est moins important qu'en conditions actuelles mais puisque l'érosion s'effectue sur un tronçon de plage plus court, le recul de la plage s'en trouve augmenté.

En somme, malgré un recul prévu plus important, le volume transporté vers la flèche sableuse et le rentrant sud-ouest sera plus faible en conditions futures, mais l'ordre de grandeur reste tout de même comparable à ce qui prévaut en conditions actuelles (avant aménagement).

Ainsi, on anticipe une évolution morphologique (progression) de la pointe sableuse légèrement ralentie à long terme. Considérant un volume transporté vers la pointe réduit de 20% par rapport aux conditions actuelles, on peut s'attendre à un taux de progression réduit de 20% de la flèche sableuse en supposant que toutes les classes de sédiments sont affectées de la même manière. En considérant une superficie de la flèche sableuse de l'ordre de

60 000 m² (incluant toute la profondeur active), cela représente une réduction de l'accumulation d'une couche uniforme de 5 à 10 mm d'épaisseur par an à long terme.

Il faut garder à l'esprit que cette évaluation vise à établir un ordre de grandeur global qui doit être interprété à long terme, c'est-à-dire qu'il peut y avoir des variations saisonnières de plus grande amplitude non seulement selon l'occurrence des tempêtes (direction et intensité) mais aussi du fait de l'englacement de l'estran en hiver.

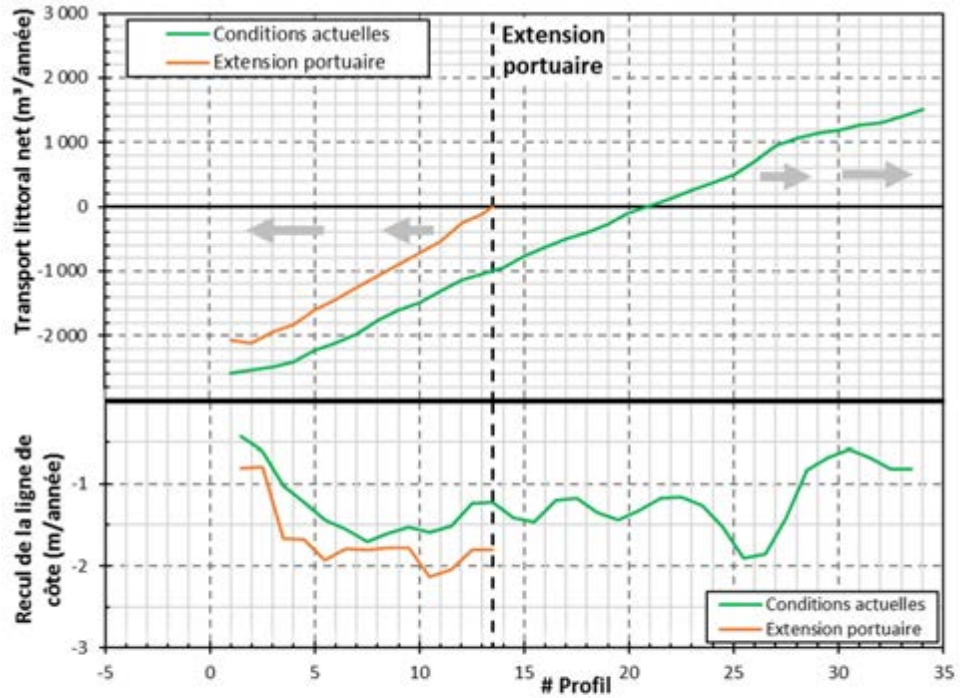
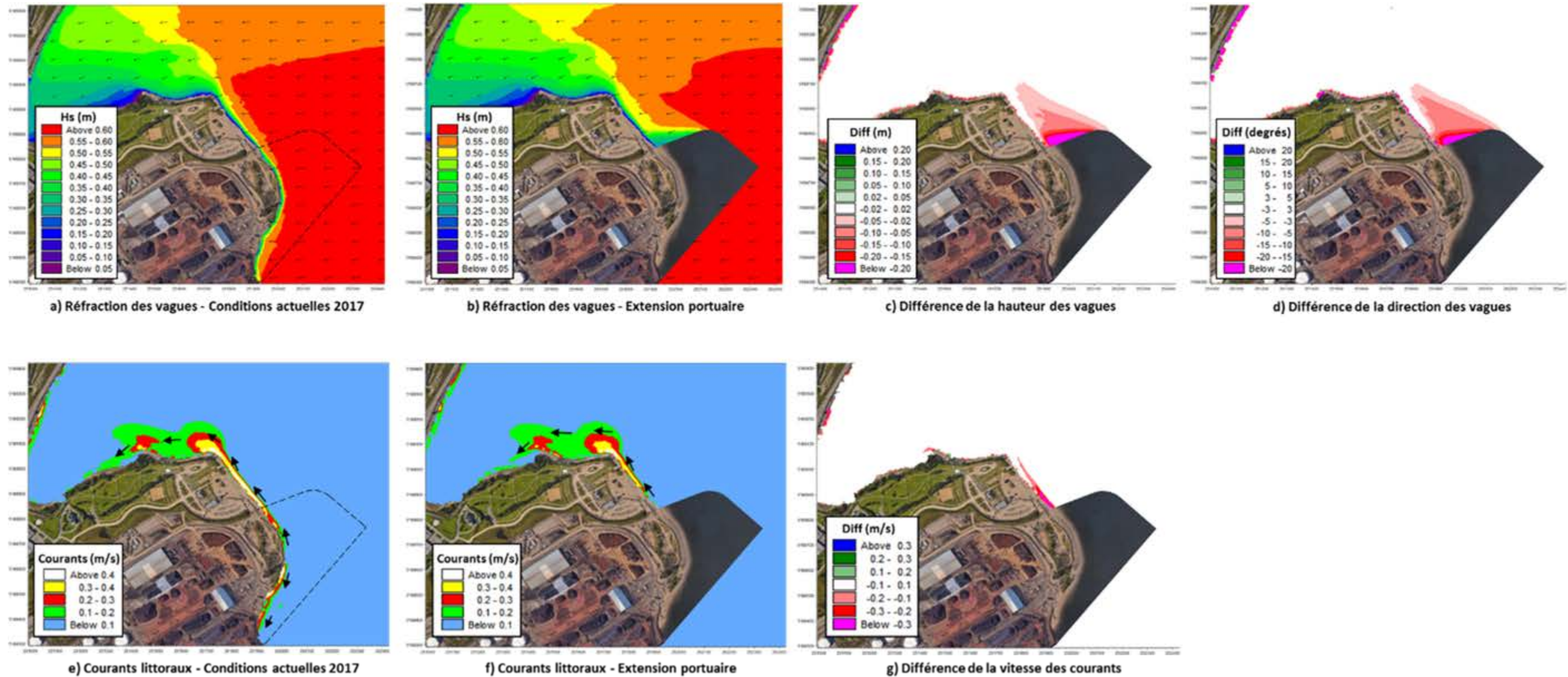


Figure 6.6 : Modélisation à long terme du transport littoral – Conditions actuelles et futures



Note: Différence = (Conditions avec l'extension portuaire) - (Conditions actuelles 2017)

H_s correspond à la hauteur significative des vagues

Figure 6.7 : Vagues et courants littoraux – Exemple de résultats pour une tempête de l'est

7 SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

Préparé par Lasalle|NHC à la demande d'Englobe, le présent rapport visait à répondre aux dernières questions soulevées par l'ACEE dans le cadre du projet Laurentia.

Les travaux de Lasalle|NHC touchent avant tout aux aspects hydro-sédimentaires du projet et, pour chacune des questions de l'ACEE, les réponses peuvent se résumer comme suit :

ACEE-7 : Modélisation - Débits

- A) Fournir une analyse comparative entre les différentes versions des modèles des débits simulés pour une section du fleuve ainsi que pour les bras nord et sud de l'île d'Orléans afin d'en vérifier la cohérence. Justifier qu'un tel débit puisse passer par le bras nord du fleuve et confirmer la présence ou l'absence d'une inversion de courant.*

Le modèle numérique a été révisé : la bathymétrie ainsi que les niveaux de marée imposés aux limites sont maintenant exprimés par rapport au niveau moyen des mers (NMM) plutôt qu'au zéro des cartes nautiques (ZC). La limite du modèle dans le bras nord de l'île d'Orléans a été déplacée de Montmorency à Saint-Anne-de Beauport (voir section 2.3 du présent rapport).

Le modèle révisé reproduit bien la renverse des courants dans le bras nord de l'île d'Orléans (section 2.3.2). Les résultats (niveaux d'eau et champs des courants) prédits par ce modèle sont très similaires à ceux obtenus avec un modèle étendu vers l'aval jusqu'à Pointe-aux-Orignaux (voir section 3).

- B) Réévaluer, le cas échéant, les débits utilisés comme conditions aux limites afin qu'ils soient plus représentatifs de la réalité et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.*

L'ensemble de nos modèles récents sont régis pour des niveaux d'eau aux limites et non par des débits.

- C) Modifier les sections de l'étude d'impact pour lesquelles les résultats du modèle hydrodynamiques ont été utilisés ainsi que leur analyse respective.*

Nous avons repris avec le modèle révisé la comparaison systématique des conditions hydrodynamiques avant et après aménagement (voir section 4)

ACEE-8 : Utilisation du zéro des cartes

- A) Expliquer les impacts de l'utilisation du Zéro des cartes (Zc) sur les résultats de la modélisation des conditions hydrodynamiques locales dans la baie de Beauport et dans le port compte tenu du biais apporté par son utilisation.*

Le modèle en ZC conduisait à une bonne concordance des résultats de modélisation avec les données de niveaux et de courants disponibles dans la zone à l'étude mais a été remplacé par un modèle révisé, référencé au NMM.

- B)** *Démontrer que l'utilisation des conditions aux limites basées sur le Niveau moyen de la mer (valeurs de niveaux aux stations corrigées en fonction du Niveau moyen de la mer) n'apporte pas d'améliorations significatives aux résultats hydrodynamiques, notamment celles d'assurer la présence d'une inversion de courant dans le bras nord du fleuve et un rapprochement des écarts entre les vitesses mesurées et simulées.*

Le modèle révisé améliore sensiblement la concordance des résultats de modélisation avec les mesures de courants effectués par Englobe dans la zone à l'étude en 2015, 2016 et 2019 (voir section 3).

- C)** *Refaire, le cas échéant, la modélisation en utilisant le niveau moyen de la mer comme référence verticale afin de bien capter les conditions hydrodynamiques mesurées ou observées dont le phénomène d'inversion de courant dans le bras nord et les gyres dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.*

L'ensemble des simulations hydrodynamiques ont été reprises avec le modèle révisé (voir section 4).

- D)** *Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.*

La contribution de Lasalle|NHC se limite aux aspects hydro-sédimentaires, mais il faut insister sur le fait que le portrait déjà donné dans nos rapports antérieurs quant à l'impact du projet sur ces aspects n'est aucunement modifié par la révision de notre modèle hydrodynamique.

ACEE-9 : Érosion des berges

- A)** *Démontrer qu'il s'agit bien du jeu de données de 2009 et non de 2013 qui montre un décalage des données altimétriques et évaluer les effets de l'erreur de décalage observés sur un des jeux de données de bathymétrie sur le calcul du taux de recul de la plage.*

Voir section 6.1 du présent rapport.

- B)** *Décrire la méthodologie de la modélisation hydro-sédimentaire, notamment expliquer comment l'ensemble de la durée des tempêtes (non stationnaire) sert d'entrant en niveau d'eau et vagues au modèle filaire de transport sédimentaire.*

Voir section 6.2 du présent rapport.

- C)** *Justifier l'absence des courants de marée dans la modélisation hydro-sédimentaire, sinon les inclure dans la modélisation.*

Voir sections 6.2 et 6.3 du présent rapport.

ACEE-10 : Débit de la rivière Saint-Charles

- A)** *Démontrer à l'aide d'une simulation qu'un apport en eau moyen ou élevé de la rivière Saint-Charles n'a aucun effet sur les courants et la déposition de sédiment supplémentaire plus en aval dans le port.*

Les résultats présentés à la section 5 et à l'annexe E du présent rapport confirment que le régime des courants de l'exutoire de la rivière Saint-Charles dans le port de Québec est avant tout dicté par la marée. Même avec un débit en rivière de 100 m³/s, qui dépasse les maxima journaliers observés pendant une période de plus de 30 ans sur la rivière Saint-Charles, l'impact du débit de la rivière sur les courants dans l'embouchure demeure très faible.

- B)** *Évaluer, le cas échéant, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) causés par l'apport d'eau de la rivière Saint-Charles.*

L'apport d'eau de la rivière Saint-Charles ne change pas nos conclusions antérieures. Un changement important, tant pour la dynamique sédimentaire de l'embouchure que pour l'exploitation du port, pourrait survenir si le barrage Samson était un jour modifié pour permettre le transit des sédiments transportés par la rivière. Cet aspect n'est toutefois pas lié au projet à l'étude.

- C)** *Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.*

Des points de vue hydrodynamiques et sédimentaires, nos conclusions antérieures demeurent valides.

ACEE-11 : Transport des sédiments et validations des simulations hydrodynamiques

- A)** *Expliquer les résultats des études de transport de sédiments en tenant compte du biais que peut avoir généré la validation inadéquate des simulations hydrodynamiques. Le cas échéant, refaire des simulations hydrodynamiques en fonction des commentaires en contexte et précédents (Modélisation - Débits et Utilisation du Zéro des cartes (Zc), entre autres).*

La révision de notre modèle hydrodynamique n'a pas d'impact sur les résultats de la modélisation hydro-sédimentaire de la plage et de son évolution à long terme en conditions actuelles et projetées (voir sections 6.1 à 6.3).

- B)** *Évaluer, dans l'éventualité d'une nouvelle modélisation, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) apportés par cette nouvelle modélisation hydrodynamique, notamment sur la dynamique du transport de sable du centre de la plage de Beauport vers la flèche de sable à l'entrant sud-ouest.*

La révision de notre modèle hydrodynamique n'a pas d'impact sur les résultats de la modélisation hydro-sédimentaire de la plage et de son évolution à long terme en conditions actuelles et projetées (voir sections 6.1 à 6.3).

- C) Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.*

Des points de vue hydrodynamiques et sédimentaires, nos conclusions antérieures demeurent valides.

ACEE-12 : Transport du sable par le courant

- A) Déterminer si le projet ou la recharge de la plage auront des effets sur l'érosion de la ligne de côte et l'accumulation de sédiments sur la flèche et l'entrant sud-ouest. Justifier et appuyer vos conclusions.*

Selon les dernières informations nous ayant été fournies par l'APQ et Englobe, aucune recharge de plage n'est prévue dans le nouveau projet. La section 6.4 du présent rapport fournit l'information requise quant au transport de sable et à la progression de la flèche vers le rentrant sud-ouest.

Le cas échéant :

- B) Quantifier le déplacement de sable vers la flèche située dans l'entrant sud-ouest. Ceci peut se faire, par exemple, en utilisant un taux d'accumulation de sable sur la flèche ou un taux d'accroissement de la surface de la flèche.*

Voir section 6.4.

- C) Évaluer et illustrer les effets du déplacement des sédiments et du sable au fil des ans sur les milieux humides et les habitats aquatiques de la baie de Beauport et l'entrant sud-ouest, et ce, en fonction du temps.*

La section 6.4 fournit plus d'information sur le transport de sable, mais les effets sur les milieux humides et les habitats aquatiques ne sont pas couverts par Lasalle|NHC.

- D) Discuter des effets du déplacement des sédiments et du sable au fil des ans sur les milieux humides et les habitats aquatiques de la baie de Beauport et l'entrant sud-ouest, notamment sur les milieux humides et leurs fonctions, et ce, en fonction du temps.*

La section 6.4 fournit plus d'information sur le transport de sable, mais les effets sur les milieux humides et les habitats aquatiques ne sont pas couverts par Lasalle|NHC.

- E) Présenter un bilan des gains et des pertes de superficie et de fonction des milieux humides associé au déplacement des sédiments et du sable au fil des ans sur les milieux humides et les habitats aquatiques de la baie de Beauport et l'entrant sud-ouest.*

La section 6.4 fournit plus d'information sur le transport de sable, mais les effets sur les milieux humides et les habitats aquatiques ne sont pas couverts par Lasalle|NHC.

- F) Évaluer les risques de dérangement de l'hirondelle de rivage advenant le cas où l'accroissement de la flèche de sable dans l'entrant sud-ouest aurait comme conséquence d'augmenter le nombre d'usagers à cet endroit.*

Cet aspect n'est pas couvert par le mandat de Lasalle|NHC.

- G) Expliquer comment le promoteur compte assurer la durabilité des activités récréatives de la plage de la baie de Beauport tout en considérant les effets que peut induire une recharge en sable de la plage sur les habitats et les espèces.*

Cet aspect n'est pas couvert par le mandat de Lasalle|NHC.

- H) Dans l'éventualité d'une nouvelle modélisation, évaluer les changements à l'environnement mentionnés plus haut compte tenu de ces nouveaux résultats.*

Du point de vue de la dynamique sédimentaire de l'évolution à long terme de la plage (actuelle et future), nos conclusions antérieures demeurent valides.

ANNEXE A : QUESTIONS DE L'ACEE

Réseau hydrographique, hydrodynamique, courants

Demandes de renseignements à l'intention du promoteur

Étude sectorielle – Étude hydro-sédimentaire de la plage dans les conditions actuelles et futures

ACEE-7 Modélisation - Débits

Références

Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.2 Géomorphologie et caractéristiques fluviales et 6.2.2 Modifications à la géomorphologie et aux caractéristiques fluviales

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

- Tome 2, section 7.1.5.3 Conditions hydrodynamiques (courants et vagues) (page 7-49 et figure 7.21)
- Tome 4, annexe 7.14 : Rapport R.0139. Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC, 2018. Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (pages 10 à 14)

Contexte

Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) remet en question la validité des résultats du modèle hydrodynamique dans la zone près du port de Québec et particulièrement dans la baie de Beauport. Tout d'abord, parce que le modèle semble calculer des débits élevés et, ensuite, parce qu'aucune inversion du courant n'est considérée dans le bras nord du fleuve Saint-Laurent.

La Figure 7.21 du document de réponse (Englobe, 2018) montre qu'un débit moyen d'environ 15000 m³/s est évacué vers l'aval uniquement par le bras du Saint-Laurent au nord de l'île d'Orléans (bras nord), ce qui représente environ l'entièreté du débit du fleuve. De plus, aucune inversion des courants n'est représentée par le modèle. Même s'il ne s'agit pas du même événement et du même modèle, ceci vient en contradiction avec les travaux du modèle numérique 2006 de l'événement de juin 1971 où il y a inversion des courants dans le bras nord. Les résultats des débits calculés aux limites pour le bras nord du modèle de 2016 pour l'événement de juin 2015 semblent incorrects.

En ce qui concerne l'inversion des courants dans le bras nord, elle a été constatée et mesurée par les travaux de Matte, Pascal; Secretan, Yves; Morin, Jean (2017). Hydrodynamic Modeling of the St. Lawrence Fluvial Estuary. II: Reproduction of Spatial and Temporal Patterns. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 143, n° 5. 04017011. DOI: 10.1061/(ASCE)WW.1943-5460.0000394). Des photos provenant de Google Earth démontrent également la présence d'une inversion des courants, par la propagation vers l'amont du fleuve de l'eau de la rivière Montmorency.

Ces inversions de courant sont observées notamment en date du 7 mai 2014 (Image 1), du 10 octobre 2014 (Image 2) et du 2 septembre 2015 (Image 3).

Note : Les conditions d'utilisation de ces images se trouvent au lien https://www.google.com/intl/fr/help/terms_maps/. Les utilisateurs sont liés par les conditions d'utilisation applicables de cette source externe.

Image 1

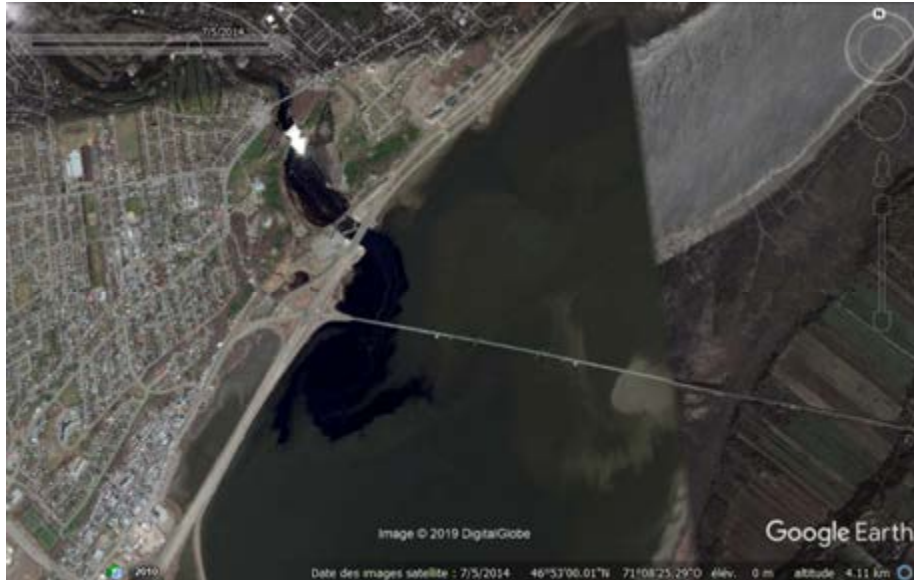


Image 2

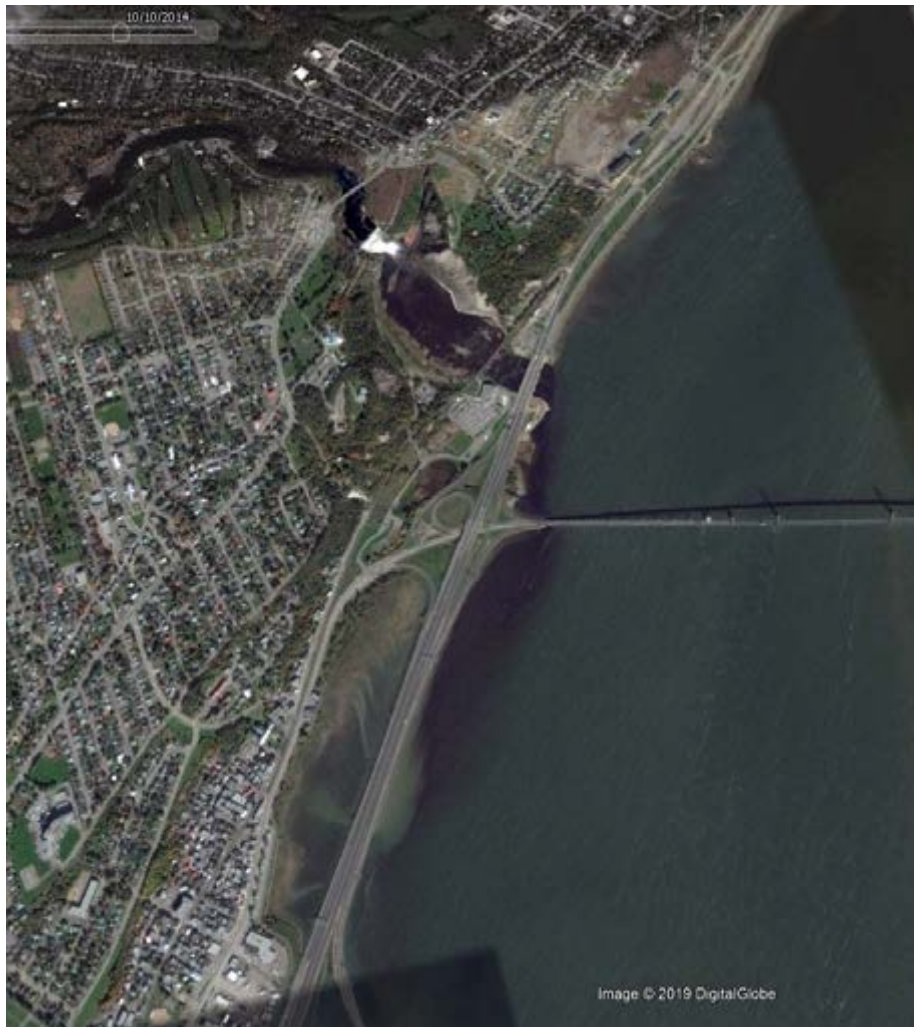


Image 3



L'inversion du courant dans le bras nord est un phénomène important à considérer et

caractéristique de cette section du fleuve Saint-Laurent. Le fait que le modèle ne l'ait pas pris en compte de même que les débits élevés calculés par le modèle soulèvent un doute important quant à la confiance dans les résultats du modèle hydrodynamique.

L'Agence demande à l'Administration portuaire de Québec (le promoteur) de :

- A) Fournir une analyse comparative entre les différentes versions des modèles des débits simulés pour une section du fleuve ainsi que pour les bras nord et sud de l'île d'Orléans afin d'en vérifier la cohérence. Justifier qu'un tel débit puisse passer par le bras nord du fleuve et confirmer la présence ou l'absence d'une inversion de courant.
- B) Réévaluer, le cas échéant, les débits utilisés comme conditions aux limites afin qu'ils soient plus représentatifs de la réalité et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.
- C) Modifier les sections de l'étude d'impact pour lesquelles les résultats du modèle hydrodynamiques ont été utilisés ainsi que leur analyse respective.

ACEE-8 Utilisation du Zéro des cartes (Zc)

Références

Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.2 Géomorphologie et caractéristiques fluviales et 6.2.2 Modifications à la géomorphologie et aux caractéristiques fluviales

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

- Tome 2, section 7.1.5.2 Bathymétrie (page 7-45)
- Tome 4, annexe 7.14 : Rapport R.0139. Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC, 2018. Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (pages 15 à 17)

ACÉE, Avril 2017. Première demande d'information sur l'étude d'impact environnemental du projet d'aménagement d'un quai multifonctionnel en eau profonde au port de Québec

Beauport 2020

- ACÉE 166 Conditions hydrodynamiques – état de référence bathymétrie (page 138)

Englobe, Septembre 2016. Aménagement d'un quai multifonctionnel en eau profonde – Beauport 2020 - Étude d'impact environnemental.

- Études sectorielles, #78 : Le Groupe-Conseil LaSalle/NHC, Septembre 2016. Validation des hypothèses de modélisation 2D – Volume 1.
- Études sectorielles, #79 : Le Groupe-Conseil LaSalle/NHC, Septembre 2016. Validation des hypothèses de modélisation 2D – Volume 2.

Contexte

En réponse à la question ACEE-166c (Englobe, 2018), le promoteur mentionne que : « Dans les limites de notre modèle, nous estimons que l'utilisation d'une bathymétrie et de niveaux d'eau aux limites exprimées en Zc n'introduit qu'une erreur négligeable par rapport aux autres sources d'incertitudes inhérentes à la modélisation numérique. Les résultats de validation de notre modèle confirment d'ailleurs que cette approche ne met pas en cause la précision de nos résultats. »

Sur le plan gravitationnel, les niveaux d'eau utilisés comme conditions aux limites ne sont pas compatibles entre eux dans le repère Zéro des cartes (Zc). Par exemple, l'utilisation du référentiel Zc introduit un biais gravitationnel systématique de 33 cm entre les limites aval sud et nord du modèle le plus récent. Ce qui représente selon Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) un biais non négligeable, car la gravité est une des principales forces mettant en mouvement l'écoulement de l'eau. Dans ces circonstances, ECCC préconise d'utiliser une bathymétrie dans un référentiel Niveau moyen de la mer (NMM) pour minimiser les sources d'erreur. À noter que le Service hydrographique du Canada (SHC) fournit maintenant, sur demande, une grille de correction pour passer du Zéro des cartes (Zc) au Niveau moyen de la mer (NMM). Selon ECCC, ce choix de modélisation discrédite les résultats obtenus et il est fort possible que l'utilisation du Zc dans la modélisation soit le facteur explicatif des résultats incorrects observés au niveau du bras nord.

De plus, ECCC note des lacunes significatives dans la validation des simulations hydrodynamiques. Les vitesses mesurées ne se comparent pas toujours avec les vitesses simulées. (Voir les annexes des documents : Le Groupe-Conseil LaSalle / NHC. Septembre 2016. Validation des hypothèses de modélisation 2D. Volume 1. 9 pages et annexes et Le Groupe-Conseil LaSalle / NHC. Septembre 2016. Validation des hypothèses de modélisation 2D. Volume 2. 9 pages et annexes).

Dans le cas des mesures de la baie de Beauport en condition de flot, les transects T1, T3 et T4 présentaient des vitesses simulées inférieures aux vitesses mesurées de façon appréciable. Il en est de même pour la condition de jusant (mais encore en situation avec courant vers l'amont) pour les transects T2 et T3.

Pour ce qui est de l'estuaire de la rivière Saint-Charles, le modèle ne réussit pas à bien représenter les gyres mesurés. De plus, en condition de jusant, le transect T3 qui est à la sortie de l'estuaire de la rivière Saint-Charles présente un écart marqué entre les vitesses mesurées et simulées (0.25 m/s mesurée comparé à 0.55 m/s simulée).

Pour ce qui est des transects T1 à T6 qui sont en grande partie dans la section principale du cours d'eau, la comparaison est généralement bonne, mais montre certains cas d'écarts importants entre vitesses simulées et mesurées. Par exemple pour les courants de marée haute pour le transect T4, les vitesses simulées et mesurées ont une différence de 100%.

L'Agence demande à l'Administration portuaire de Québec (le promoteur) de :

- A) Expliquer les impacts de l'utilisation du Zéro des cartes (Zc) sur les résultats de la modélisation des conditions hydrodynamiques locales dans la baie de Beauport et dans le port compte tenu du biais apporté par son utilisation.
- B) Démontrer que l'utilisation des conditions aux limites basées sur le Niveau moyen de la mer (valeurs de niveaux aux stations corrigées en fonction du Niveau moyen de la mer) n'apporte pas d'améliorations significatives aux résultats

hydrodynamiques, notamment celles d'assurer la présence d'une inversion de courant dans le bras nord du fleuve et un rapprochement des écarts entre les vitesses mesurées et simulées.

- C) Refaire, le cas échéant, la modélisation en utilisant le niveau moyen de la mer comme référence verticale afin de bien capter les conditions hydrodynamiques mesurées ou observées dont le phénomène d'inversion de courant dans le bras nord et les gyres dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles et évaluer les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) que causeront les nouvelles installations du projet.
- D) Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.

ACEE-9 Érosion des berges

Références

Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.2 Géomorphologie et caractéristiques fluviales et 6.2.2 Modifications à la géomorphologie et aux caractéristiques fluviales

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

- Tome 2, section 7.1.5.4 Régime sédimentologique (page 7-61)
- Tome 4, annexe 7.14 : Rapport R.0137. Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC, 2018. Étude hydro-sédimentaire de la plage dans les conditions actuelles et futures (page 19)

Contexte

Une note à la Figure 7.32 du document de réponse aux questions (Englobe, 2018) indique que « Les relevés de 2009 semblent avoir été légèrement décalés vers le bas en raison d'un problème de géoréférencement altimétrique » sans documenter les effets de ce décalage sur le calcul du taux de recul de la plage. De plus, on ne certifie pas que le décalage est causé par les relevés de 2009. Le décalage aurait bien pu être observé sur le jeu de données de 2013. Ceci ne permet pas de conclure sur la quantification des processus érosion-sédimentation dans le secteur.

De plus, la méthodologie de modélisation hydro-sédimentaire manque de détails pour bien comprendre le travail effectué, notamment à savoir comment l'ensemble de la durée des tempêtes (non stationnaire) sert d'entrant « en niveau d'eau et vagues » au modèle filaire de transport sédimentaire. Enfin, l'absence des courants de marée dans la modélisation hydro-sédimentaire peut difficilement être négligée dans ce contexte.

L'Agence demande à l'Administration portuaire de Québec (le promoteur) de :

- A) Démontrer qu'il s'agit bien du jeu de données de 2009 et non de 2013 qui montre un décalage des données altimétriques et évaluer les effets de l'erreur de décalage observés sur un des jeux de données de bathymétrie sur le calcul du taux de recul de la plage.

- B) Décrire la méthodologie de la modélisation hydro-sédimentaire, notamment expliquer comment l'ensemble de la durée des tempêtes (non stationnaire) sert d'entrant en niveau d'eau et vagues au modèle filaire de transport sédimentaire.
- C) Justifier l'absence des courants de marée dans la modélisation hydro-sédimentaire, sinon les inclure dans la modélisation.

ACEE-10 Débit de la rivière Saint-Charles

Références

Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.2 Géomorphologie et caractéristiques fluviales et 6.2.2 Modifications à la géomorphologie et aux caractéristiques fluviales

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

- Tome 2, section 7.1.5 Géomorphologie et caractéristiques fluviales (page 7-33)
- Tome 4, annexe 7.14 : Rapport R.0139. Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC, 2018. Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (page 20)

Contexte

À la page 20 de l'annexe 7.14 : Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC (Englobe, 2018), on indique que le débit de la rivière Saint-Charles « n'a aucune influence tangible sur le régime des courants dans les veines principales d'écoulement du fleuve. Tel que discuté dans notre rapport R.1657, l'influence du débit de crue de la rivière Saint-Charles n'est ressentie que dans la portion amont de l'estuaire. »

Environnement et Changement climatique Canada est d'avis que le débit de la rivière Saint-Charles n'influence que très peu le régime des courants dans la partie principale du fleuve. Cependant, l'Agence est d'avis que la description de son effet, même faible, dans l'estuaire qui débouche directement sur la zone du projet est importante afin de prendre en considération les changements à l'environnement.

L'Agence demande à l'Administration portuaire de Québec (le promoteur) de :

- A) Démontrer à l'aide d'une simulation qu'un apport en eau moyen ou élevé de la rivière Saint-Charles n'a aucun effet sur les courants et la déposition de sédiment supplémentaire plus en aval dans le port.
- B) Évaluer, le cas échéant, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) causés par l'apport d'eau de la rivière Saint-Charles.
- C) Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.

ACEE-11 Transport de sédiments et validation des simulations hydrodynamiques

Références

Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.2 Géomorphologie et caractéristiques fluviales et 6.2.2 Modifications à la géomorphologie et aux caractéristiques fluviales

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

- Tome 2, section 7.1.5.4 Régime sédimentologique et 7.2.6 Régime hydrosédimentologique (pages 7-61 et 7-169)
- Tome 4, annexe 7.14 : Rapport R.0139. Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC, 2018. Réponses aux questions de l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (page 23)
- Tome 4, annexe 7.14 : Rapport R.0137. Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC, 2018. Étude hydro-sédimentaire de la plage dans les conditions actuelles et futures (page 54)

Englobe, Septembre 2016. Aménagement d'un quai multifonctionnel en eau profonde – Beauport 2020 - Étude d'impact environnemental :

- Études sectorielles, #78 : Le Groupe-Conseil LaSalle/NHC, Septembre 2016. Validation des hypothèses de modélisation 2D – Volume 1.
- Études sectorielles, #79 : Le Groupe-Conseil LaSalle/NHC, Septembre 2016. Validation des hypothèses de modélisation 2D – Volume 2.

Contexte

Étant donné la remise en question de la validation des vitesses de courant (voir question – Utilisation du Zéro des cartes), Environnement et Changement climatique Canada (ECCC) considère que les écarts entre les vitesses de courant mesurées et simulées sont importants et ne peuvent être négligés.

Selon l'information présentée à la page 54 de l'étude hydro-sédimentaire de la plage présentée à l'annexe 7.14 : Le Groupe-Conseil Lasalle | NHC (Englobe, 2018), suite à l'extension portuaire, il y aura augmentation de l'érosion de la ligne de côte et une augmentation de l'accumulation de sédiment sur la flèche de sable située dans l'entrant sud-ouest. L'Administration portuaire de Québec propose plus loin de recharger régulièrement la plage par des apports de nouveau sable comme solution potentielle pour la stabilisation de la plage. On estime par modélisation que les besoins en sédiments sont d'environ 1000 m³/an. Ces recharges se traduiraient vraisemblablement par un déplacement du sable vers l'entrant sud-ouest, donc vers la flèche, contribuant ainsi à l'augmentation de sa surface. Il en résulterait une perte de milieux humides et une augmentation de l'achalandage au niveau de la flèche (plus grande surface de plage de sable) ce qui pourrait causer du dérangement pour l'hirondelle de rivage étant donné la proximité des nichoirs. Étant donné la remise en question des résultats de la modélisation hydrodynamique, ECCC ne peut conclure ni sur l'efficacité de cette mesure ni sur l'estimation du besoin en quantité de sable.

L'Agence demande à l'Administration portuaire de Québec (le promoteur) de :

- A) Expliquer les résultats des études de transport de sédiments en tenant compte du

biais que peut avoir généré la validation inadéquate des simulations hydrodynamiques. Le cas échéant, refaire des simulations hydrodynamiques en fonction des commentaires en contexte et précédents (Modélisation - Débits et Utilisation du Zéro des cartes (Zc), entre autres).

- B) Évaluer, dans l'éventualité d'une nouvelle modélisation, les changements à l'environnement (courants, sédimentologie et érosion) apportés par cette nouvelle modélisation hydrodynamique, notamment sur la dynamique du transport de sable du centre de la plage de Beauport vers la flèche de sable à l'entrant sud-ouest.
- C) Modifier les sections de l'étude d'impact dont l'analyse des effets, l'identification des mesures d'atténuation et l'élaboration du programme de suivi et de surveillance a été basée, le cas échéant.

ACEE-12 Transport du sable par le courant

Références

Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.2 Géomorphologie et caractéristiques fluviales, 6.1.3 Sols, milieux riverains et terrestres, 6.2.2 Modifications à la géomorphologie et aux caractéristiques fluviales et 6.2.3 Modifications aux sols, habitats riverains et terrestres

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

- Tome 4, Annexe 7.14, Étude hydro-sédimentaire, Section 7.2.2 Analyse des résultats (page 54)

Contexte

Selon l'information présentée à la page 54 de l'étude hydro-sédimentaire de la plage (annexe 7.14), suite à l'extension portuaire, il y aura augmentation de l'érosion de la ligne de côte et une augmentation de l'accumulation de sédiments sur la flèche et dans l'entrant sud-ouest. Les effets de l'accumulation de sédiments sur la flèche et dans l'entrant sud-ouest et particulièrement sur les milieux humides et les habitats doivent être évalués.

Le promoteur propose comme solution potentielle pour la stabilisation de la plage de la recharger régulièrement par des apports de nouveau sable à raison d'environ 1000 m³/an. Ces recharges se traduiront vraisemblablement au fil des ans par un déplacement d'un grand volume de sable vers l'entrant sud-ouest contribuant ainsi à l'augmentation de la surface de la flèche de sable. Cette recharge régulière de la plage et le déplacement des sédiments vers la flèche de sable et l'entrant sud-ouest pourraient contribuer à une augmentation du nombre d'utilisateurs dans ce secteur, et donc à proximité du nichoir à Hirondelle de rivage.

Étant donné la remise en question des résultats de modélisation hydrodynamique, l'augmentation de l'érosion de la ligne de côte et l'augmentation de l'accumulation de sédiments sur la flèche et dans l'entrant sud-ouest sont à réévaluer de même que l'augmentation de l'achalandage près du nichoir à hirondelle.

L'Agence demande à l'Administration portuaire de Québec (le promoteur) de :

- A) Déterminer si le projet ou la recharge de la plage auront des effets sur l'érosion de la ligne de côte et l'accumulation de sédiments sur la flèche et l'entrant sud-ouest. Justifier et appuyer vos conclusions.

Le cas échéant :

- B) Quantifier le déplacement de sable vers la flèche située dans l'entrant sud-ouest. Ceci peut se faire, par exemple, en utilisant un taux d'accumulation de sable sur la flèche ou un taux d'accroissement de la surface de la flèche.
- C) Évaluer et illustrer les effets du déplacement des sédiments et du sable au fil des ans sur les milieux humides et les habitats aquatiques de la baie de Beauport et l'entrant sud-ouest, et ce, en fonction du temps.
- D) Discuter des effets du déplacement des sédiments et du sable au fil des ans sur les milieux humides et les habitats aquatiques de la baie de Beauport et l'entrant sud-ouest, notamment sur les milieux humides et leurs fonctions, et ce, en fonction du temps.
- E) Présenter un bilan des gains et des pertes de superficie et de fonction des milieux humides associé au déplacement des sédiments et du sable au fil des ans sur les milieux humides et les habitats aquatiques de la baie de Beauport et l'entrant sud-ouest.
- F) Évaluer les risques de dérangement de l'hirondelle de rivage advenant le cas où l'accroissement de la flèche de sable dans l'entrant sud-ouest aurait comme conséquence d'augmenter le nombre d'usagers à cet endroit.
- G) Expliquer comment le promoteur compte assurer la durabilité des activités récréatives de la plage de la baie de Beauport tout en considérant les effets que peut induire une recharge en sable de la plage sur les habitats et les espèces.
- H) Dans l'éventualité d'une nouvelle modélisation, évaluer les changements à l'environnement mentionnés plus haut compte tenu de ces nouveaux résultats.

Milieux humides

Demandes de renseignements à l'intention du promoteur

ACEE-43 Quantification de la perte de milieux humides

Références

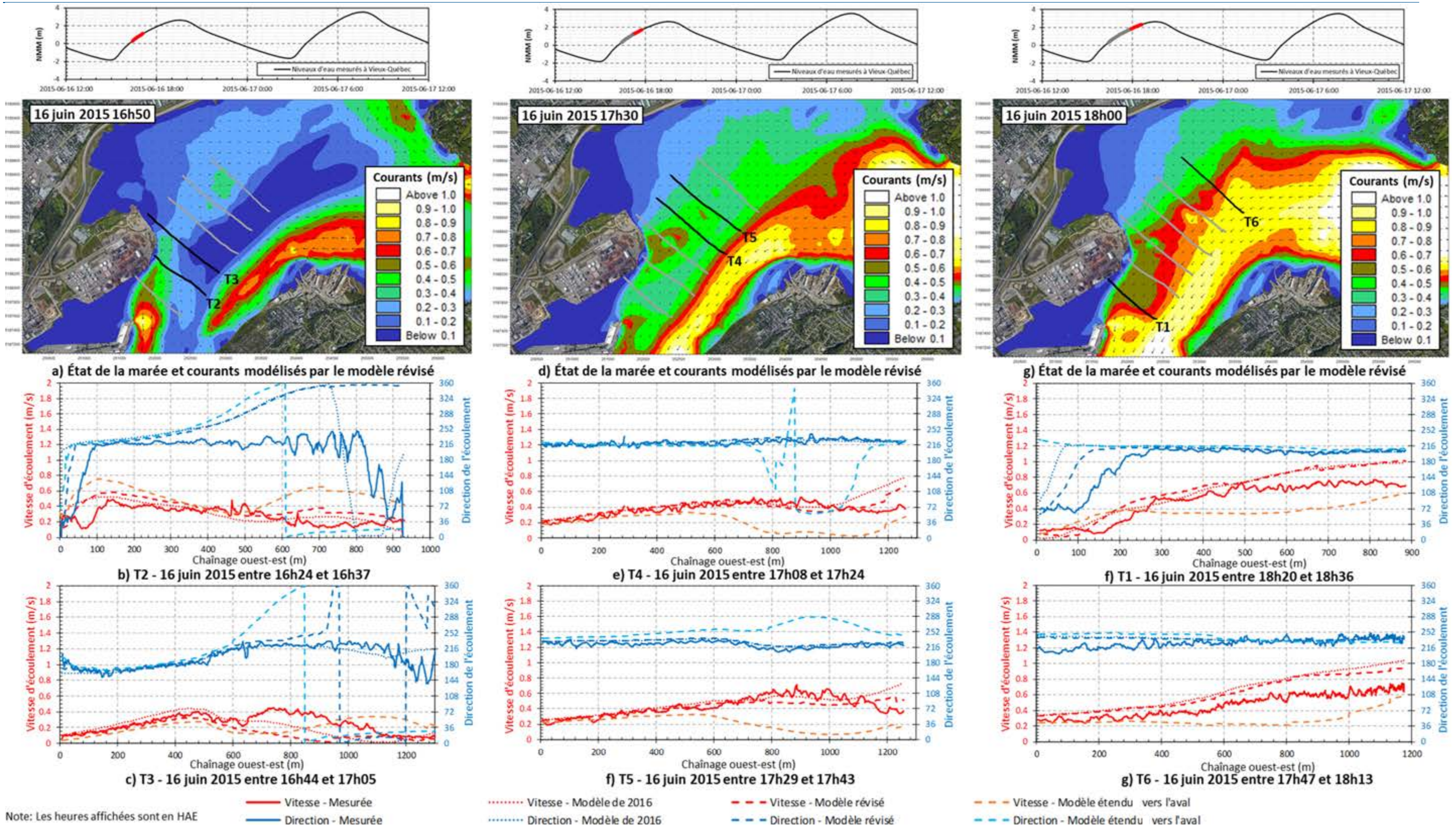
Lignes directrices pour la préparation d'une étude d'impact (Octobre 2015), deuxième partie, sections 6.1.3 Sols, milieux riverains et terrestres et 6.2.3 Modifications aux sols, habitats riverains et terrestres

Englobe, Avril 2018. Document de réponses à la demande d'informations additionnelles de l'ACÉE du 24 avril 2017 :

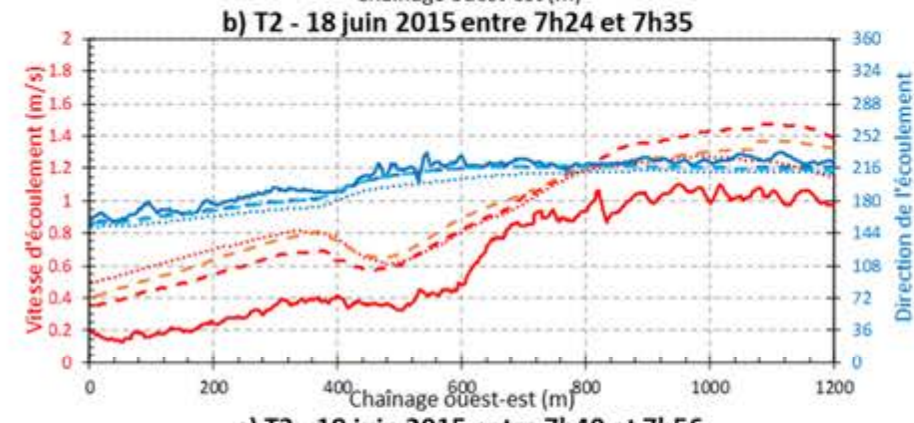
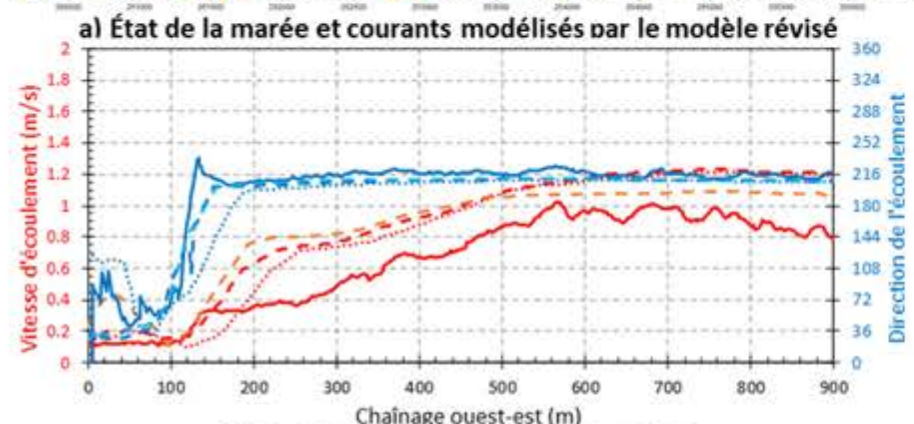
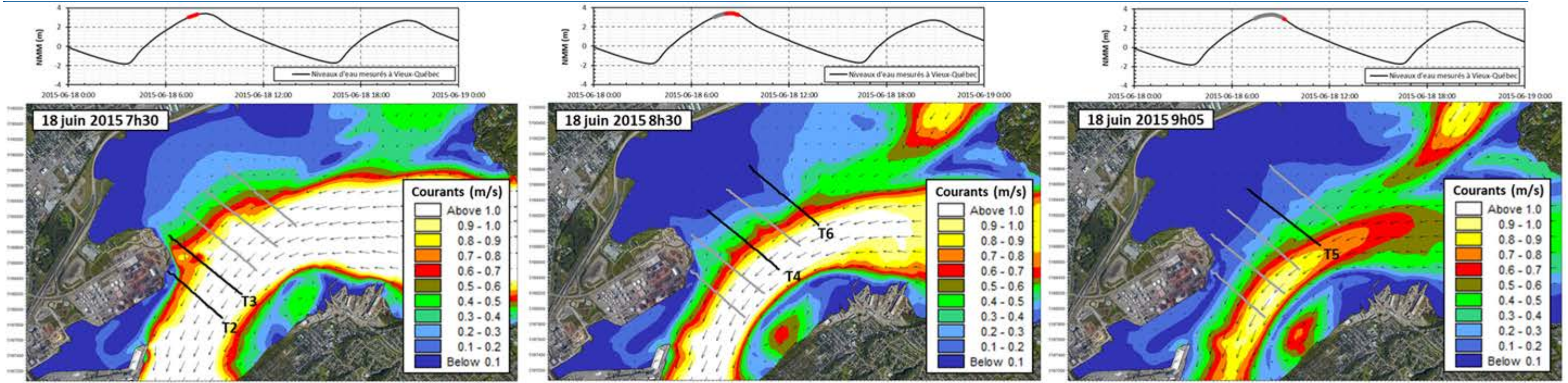
- Tome 2, Section 8.2.2 (page 8-234)
- Tome 3, Section 13.5.4.3 (page 13-79)

Contexte

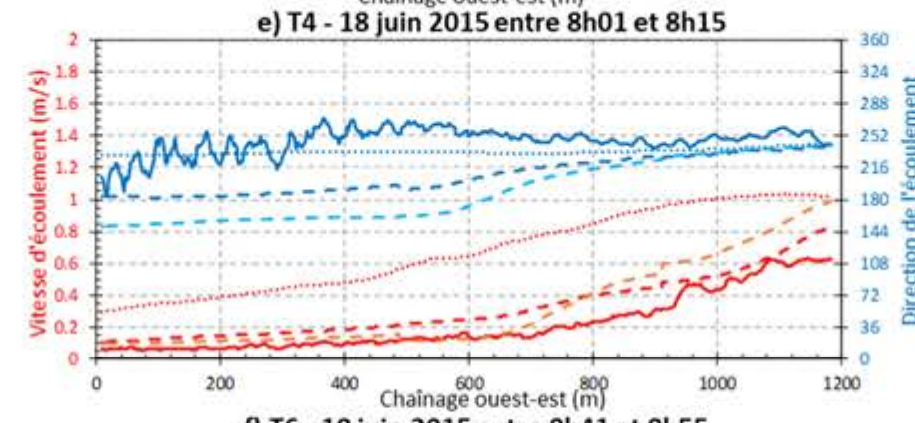
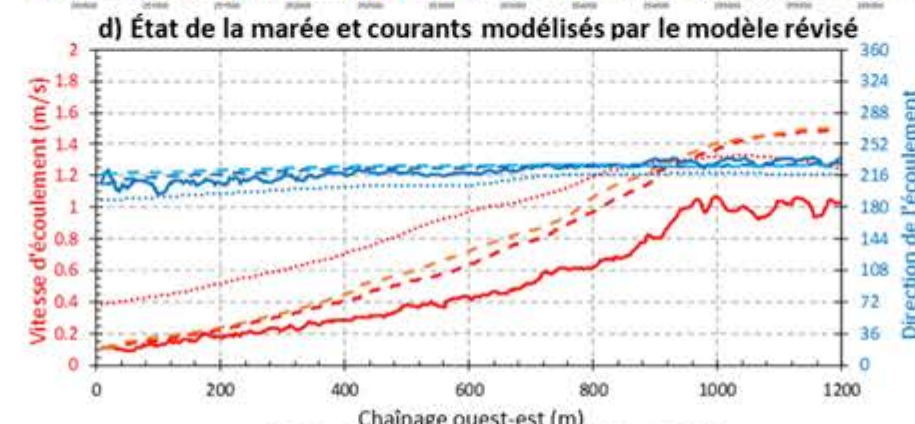
ANNEXE B : VALIDATION DES MODÈLES – JUIN 2015



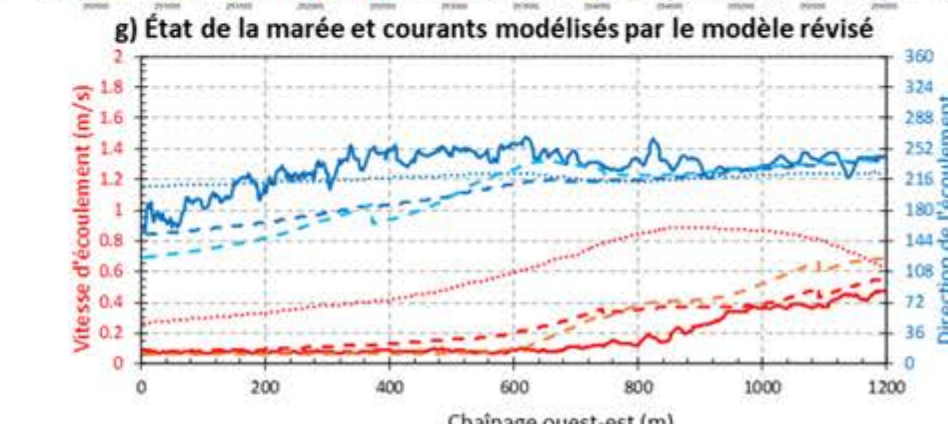
Validation des modèles – Juin 2015 – Courants au flot



Note: Les heures affichées sont en HAE
 — Vitesse - Mesurée
 — Direction - Mesurée



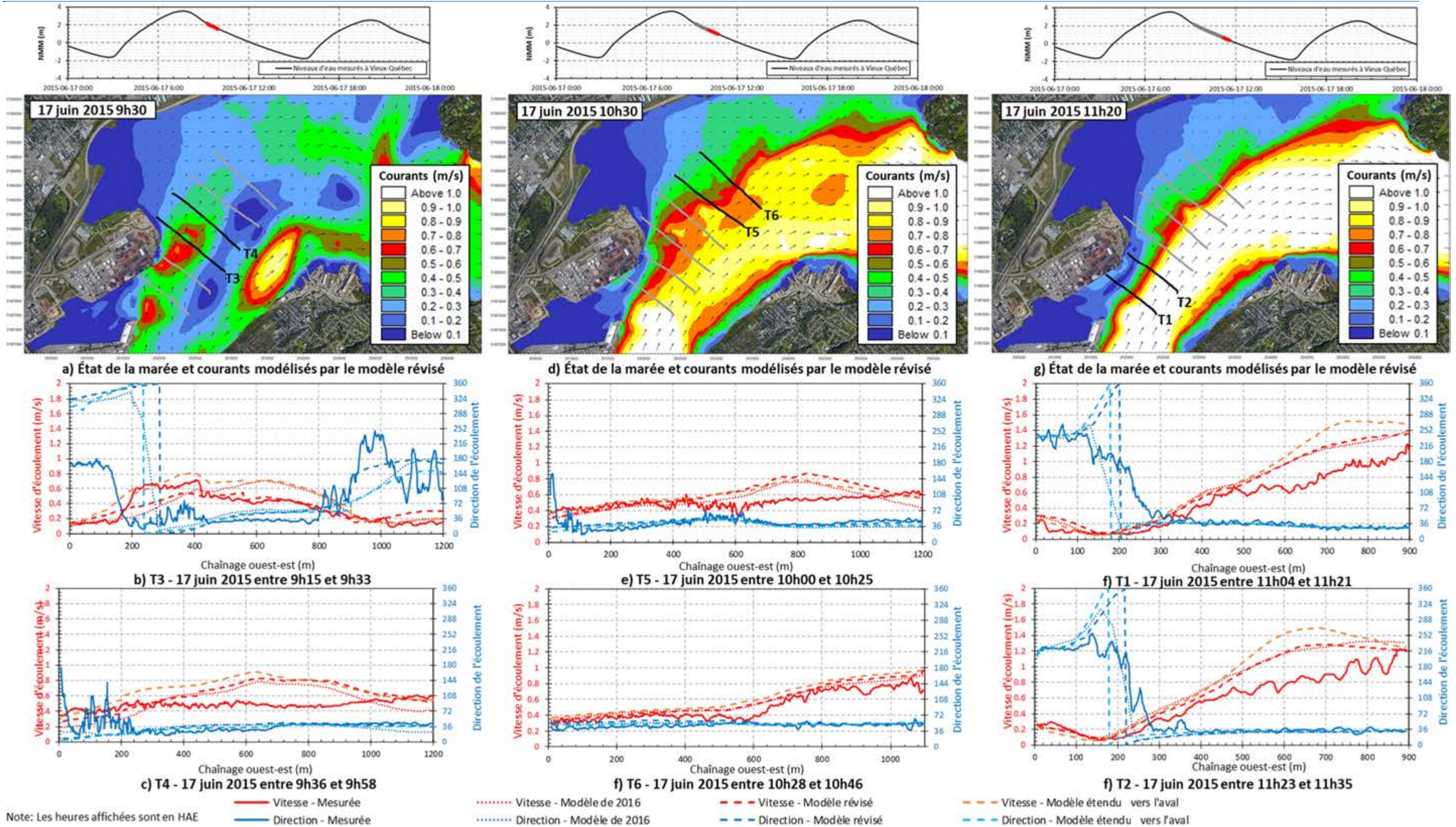
..... Vitesse - Modèle de 2016
 Direction - Modèle de 2016
 - - - Vitesse - Modèle révisé
 - - - Direction - Modèle révisé



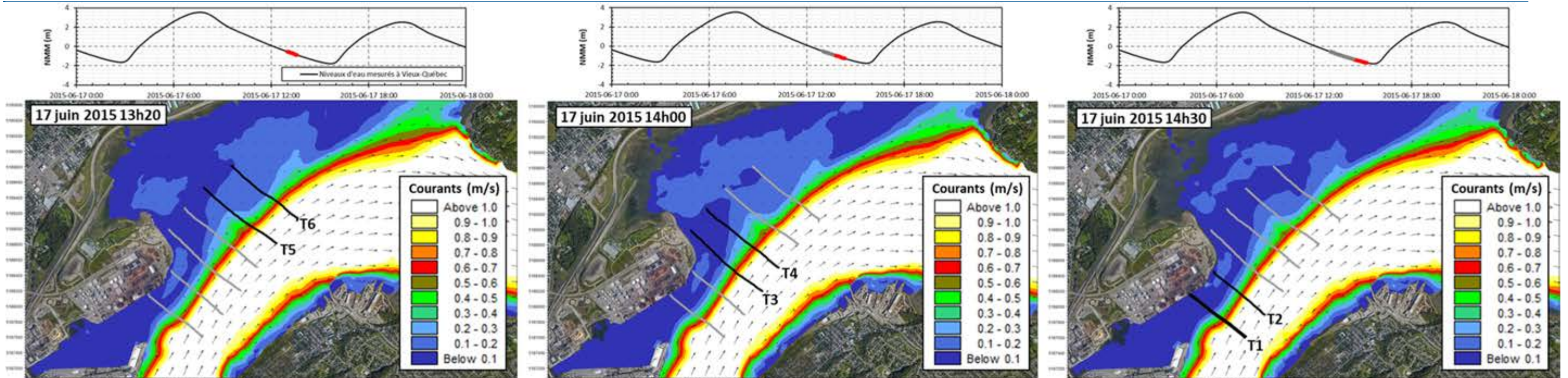
f) T5 - 18 juin 2015 entre 9h00 et 9h16

..... Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
 Direction - Modèle étendu vers l'aval

Validation des modèles – Juin 2015 – Courants à la marée haute



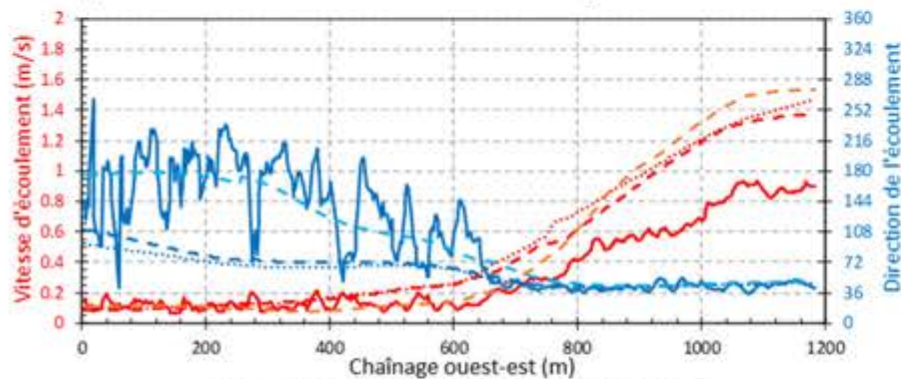
Validation des modèles – Juin 2015 – Courants au jusant



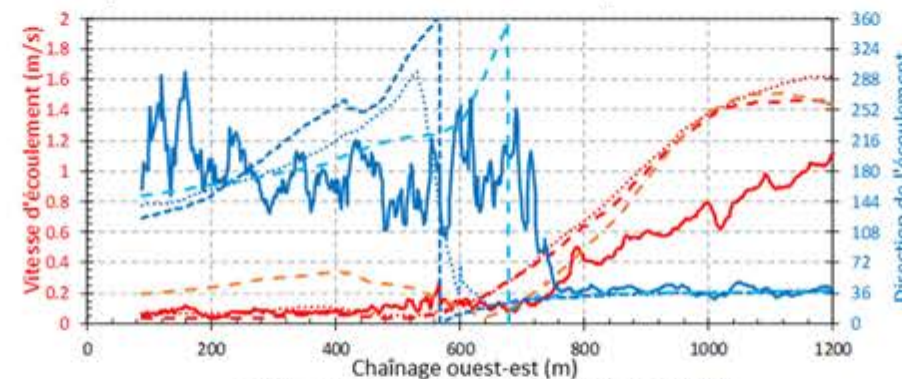
a) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé

d) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé

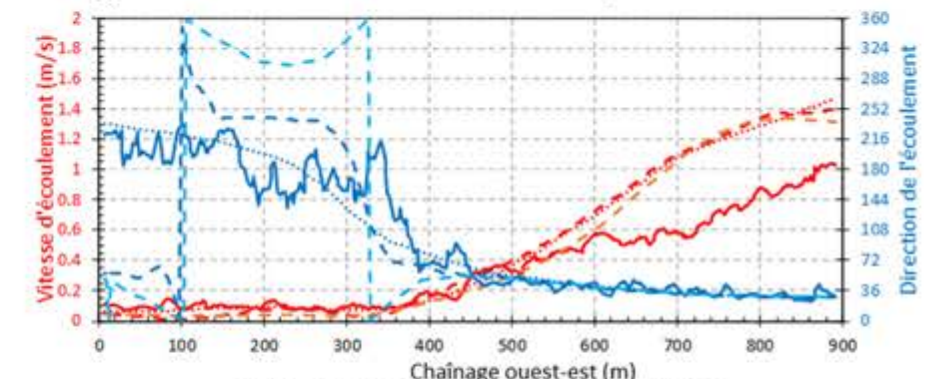
g) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



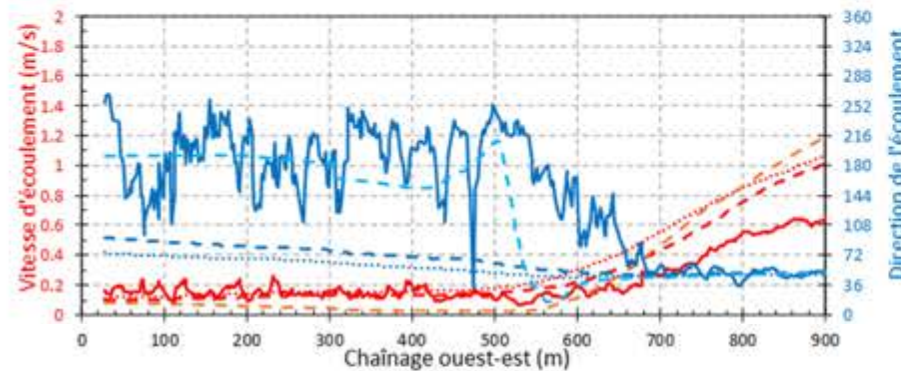
b) T5 - 17 juin 2015 entre 13h21 et 13h37



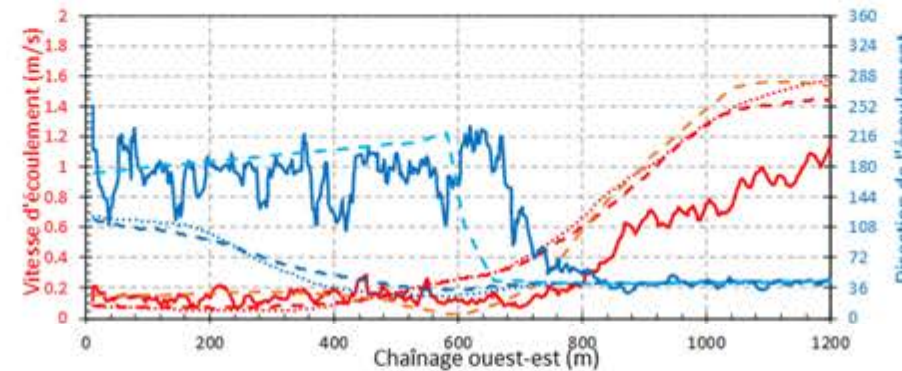
e) T3 - 17 juin 2015 entre 14h04 et 14h20



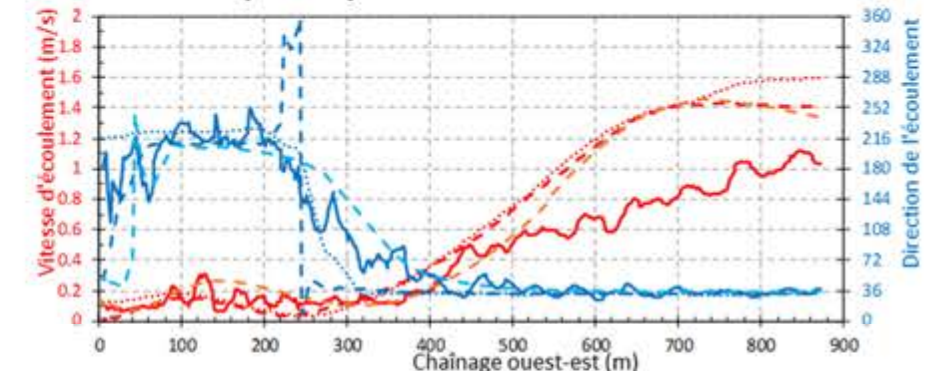
f) T1 - 17 juin 2015 entre 15h04 et 15h16



c) T6 - 17 juin 2015 entre 12h58 et 13h14



f) T4 - 17 juin 2015 entre 13h45 et 14h01



f) T2 - 17 juin 2015 entre 14h26 et 14h36

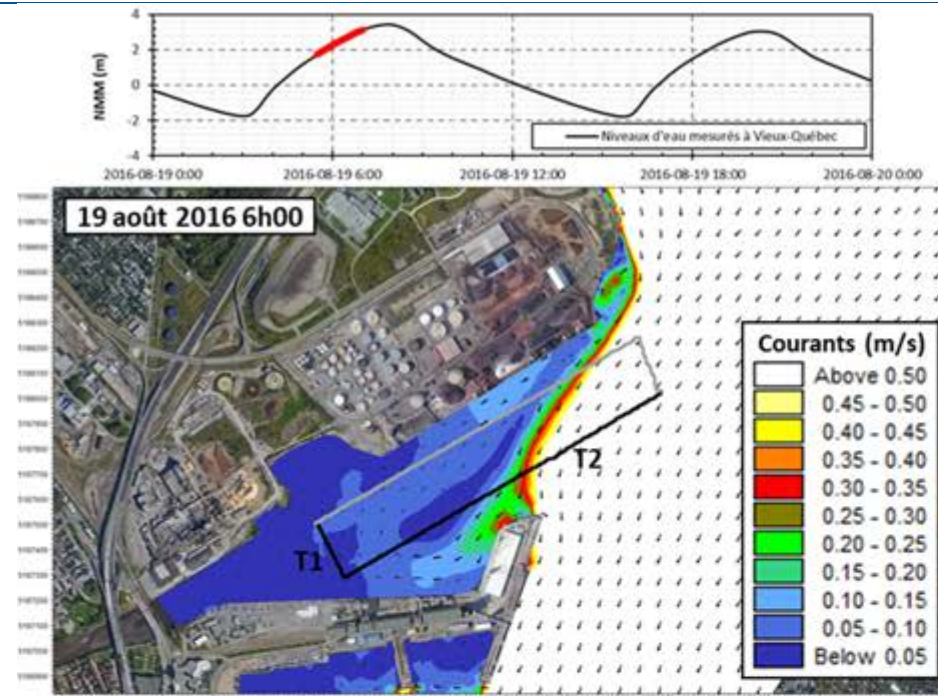
Note: Les heures affichées sont en HAE
 — Vitesse - Mesurée
 — Direction - Mesurée

..... Vitesse - Modèle de 2016
 Direction - Modèle de 2016
 - - - Vitesse - Modèle révisé
 - - - Direction - Modèle révisé

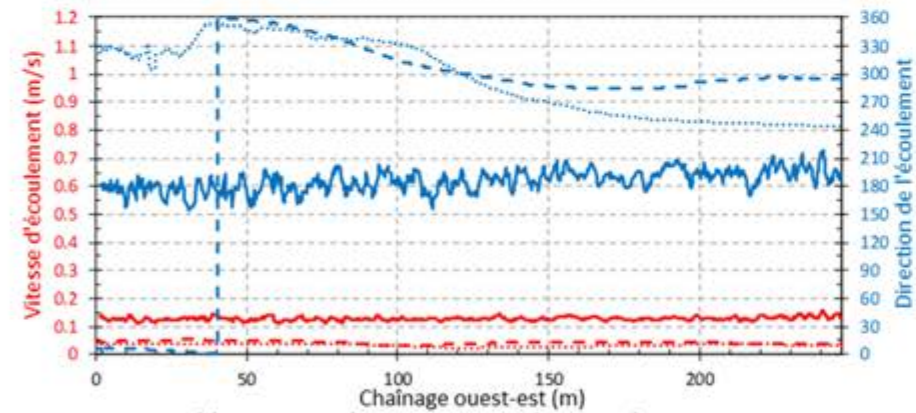
- - - Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
 - - - Direction - Modèle étendu vers l'aval

Validation des modèles – Juin 2015 – Courants à la marée basse

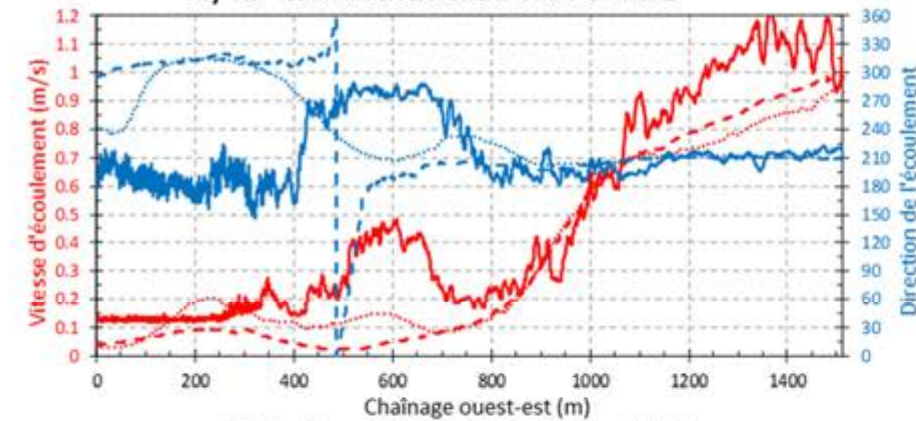
ANNEXE C : VALIDATION DES MODÈLES – AOÛT 2016



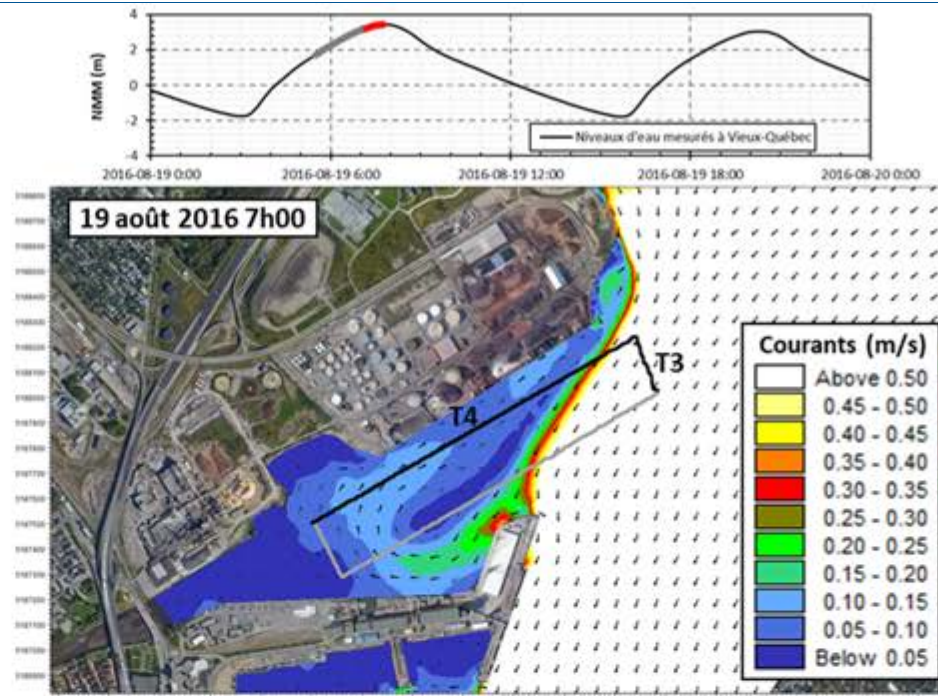
a) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



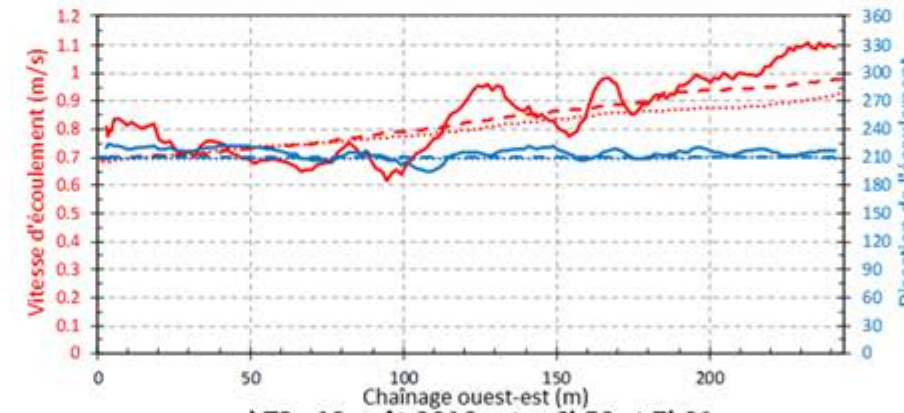
b) T1 - 19 août 2016 entre 5h50 et 6h02



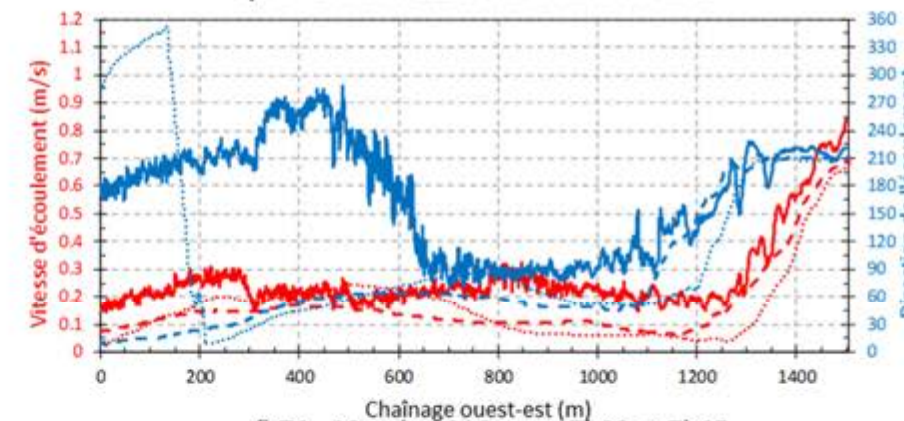
c) T2 - 19 août 2016 entre 6h02 et 6h59



d) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



e) T3 - 19 août 2016 entre 6h59 et 7h01

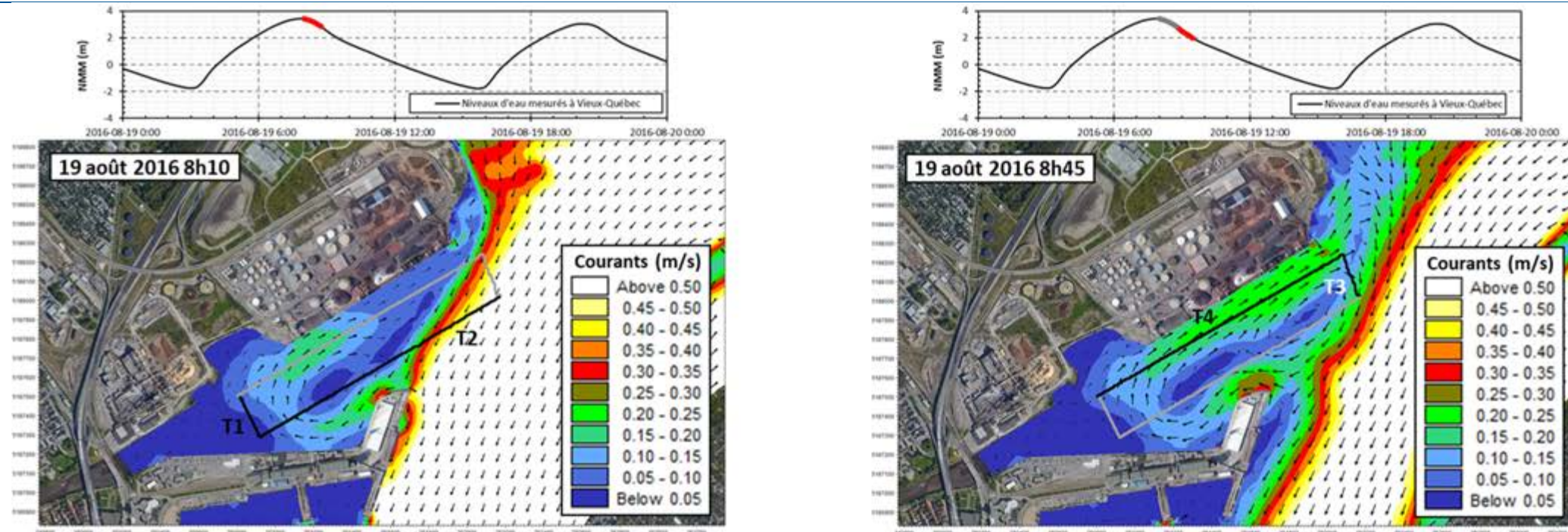


f) T4 - 19 août 2016 entre 7h02 et 7h45



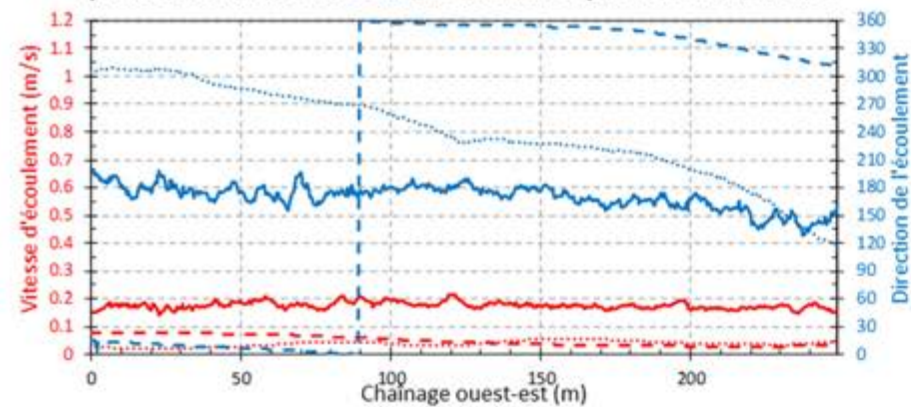
Note: Les heures affichées sont en HAE

Validation des modèles – Août 2016 – Courants dans l'estuaire Saint-Charles au flot

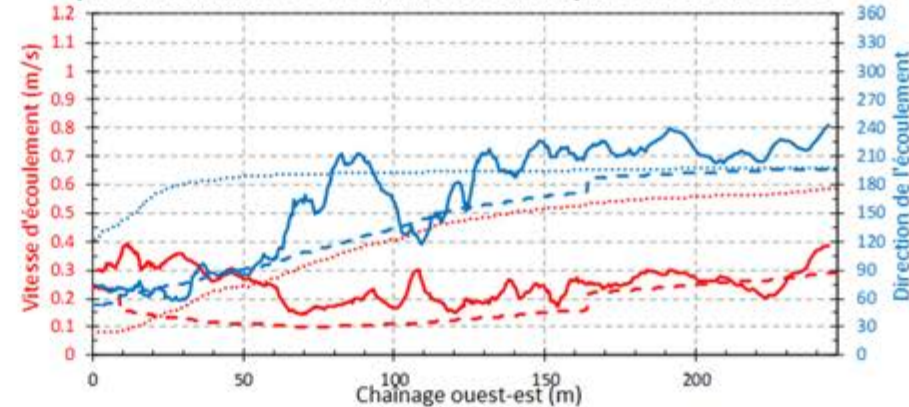


a) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé

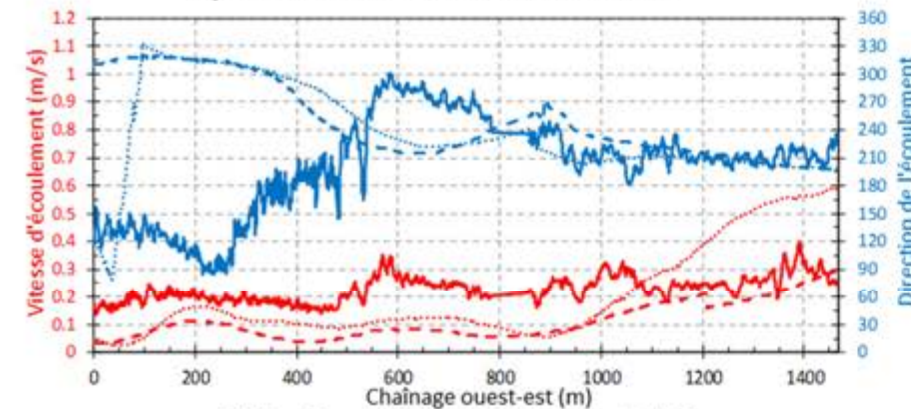
d) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



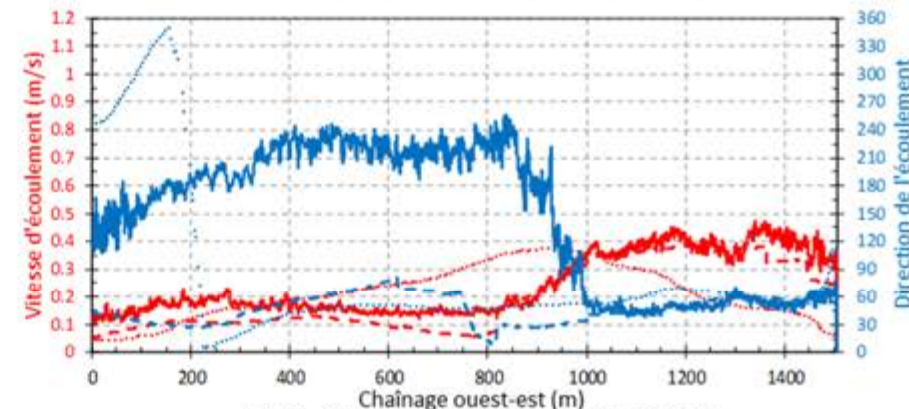
b) T1 - 19 août 2016 entre 8h00 et 8h07



e) T3 - 19 août 2016 entre 8h38 et 8h45



c) T2 - 19 août 2016 entre 8h07 et 8h38

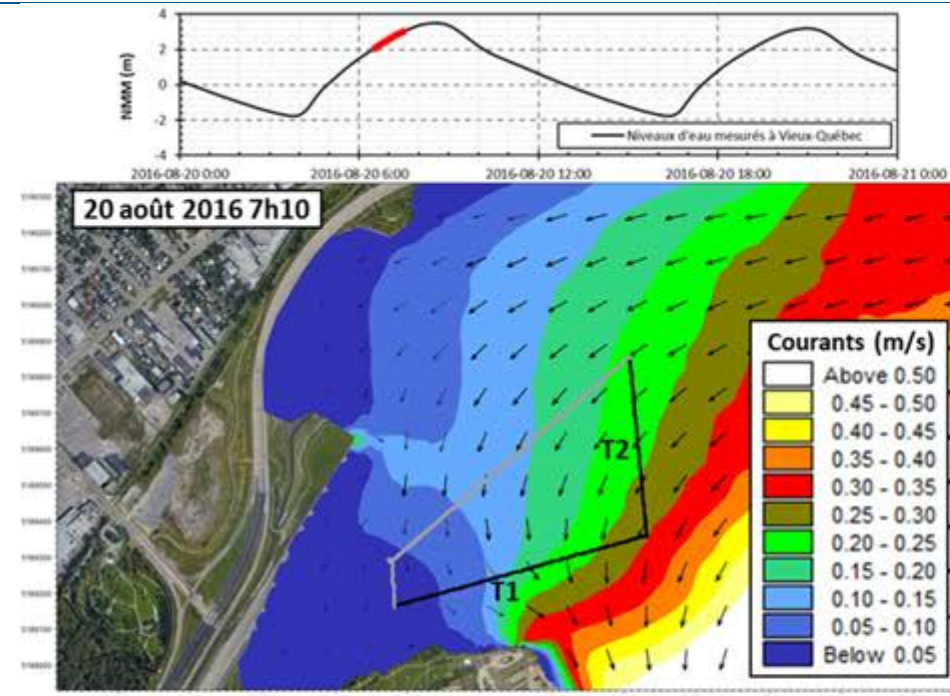


f) T4 - 19 août 2016 entre 8h45 et 9h36

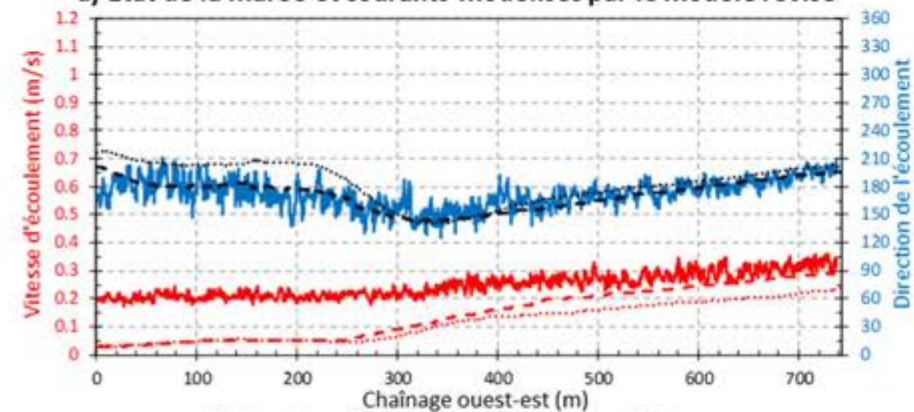
- Vitesse - Mesurée
- Vitesse - Modèle de 2016
- - - Vitesse - Modèle révisé
- Direction - Mesurée
- Direction - Modèle de 2016
- - - Direction - Modèle révisé

Note: Les heures affichées sont en HAE

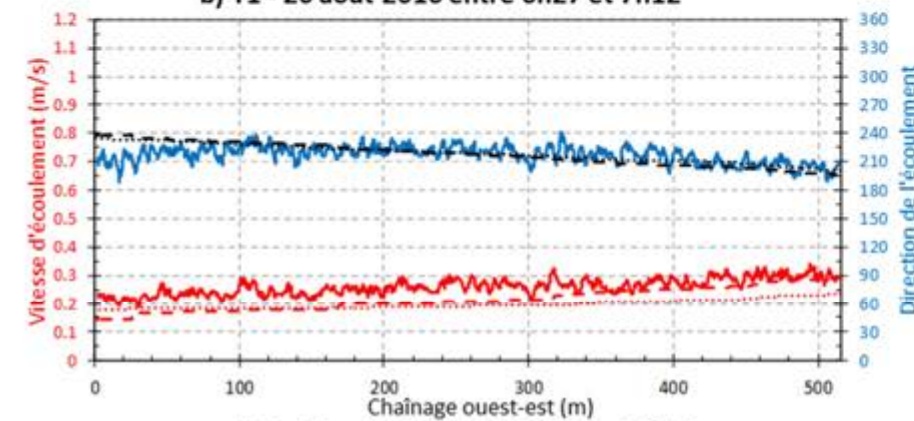
Validation des modèles – Août 2016 – Courants dans l'estuaire Saint-Charles au jusant



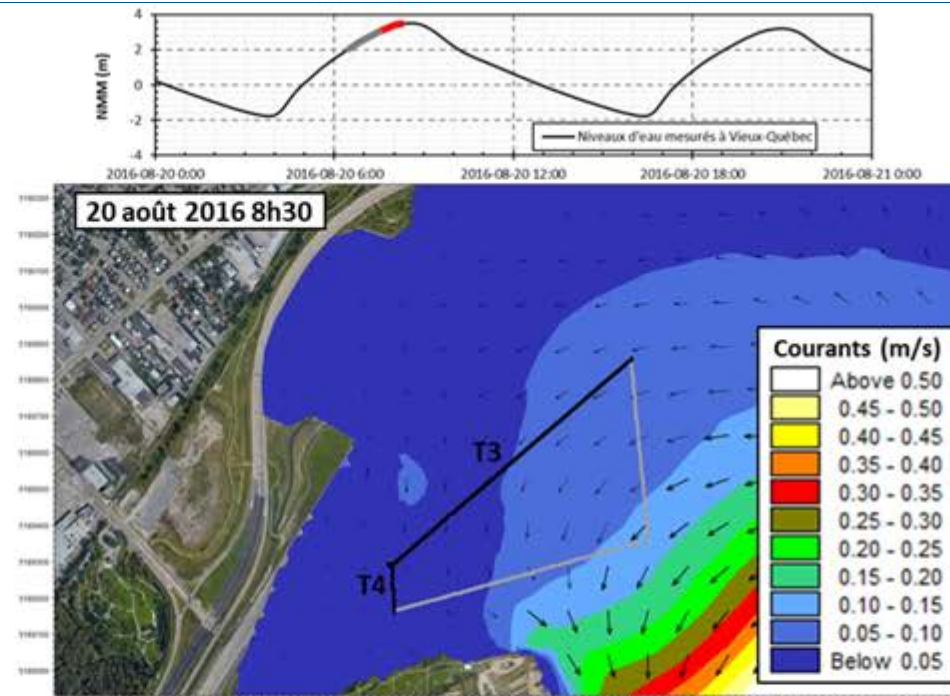
a) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



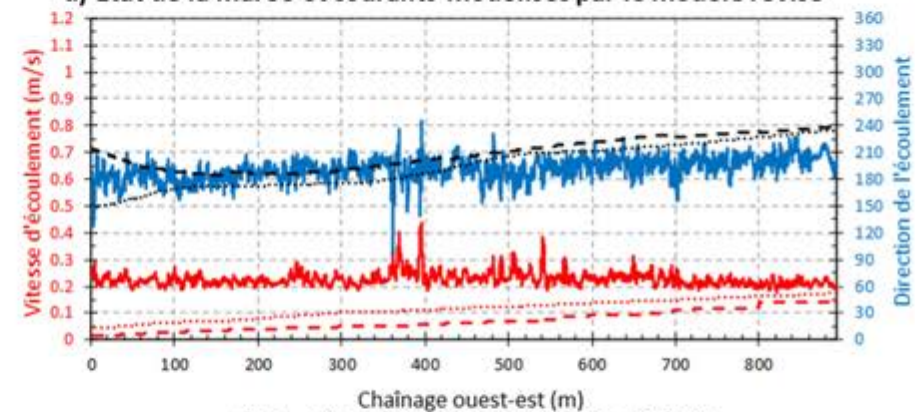
b) T1 - 20 août 2016 entre 6h27 et 7h12



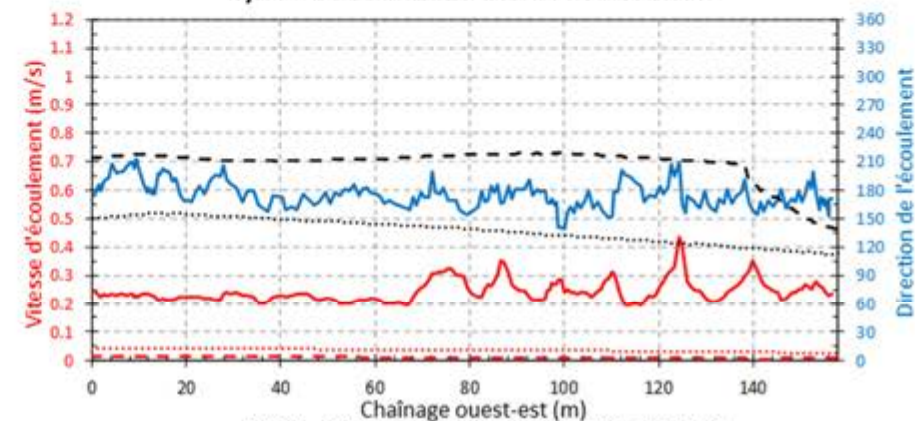
c) T2 - 20 août 2016 entre 7h12 et 7h30



d) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



e) T3 - 20 août 2016 entre 7h30 et 8h06

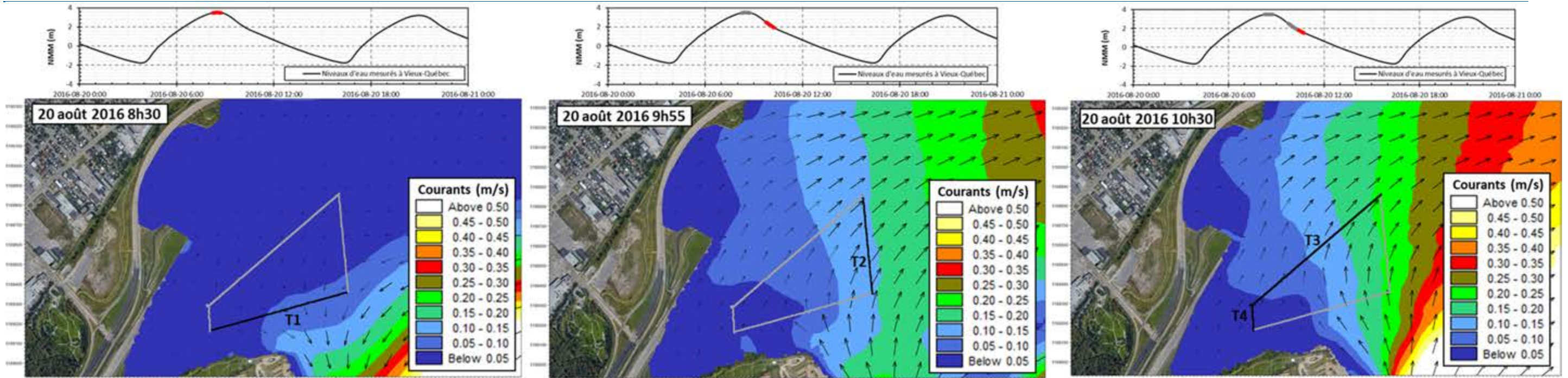


f) T4 - 20 août 2016 entre 8h06 et 8h10

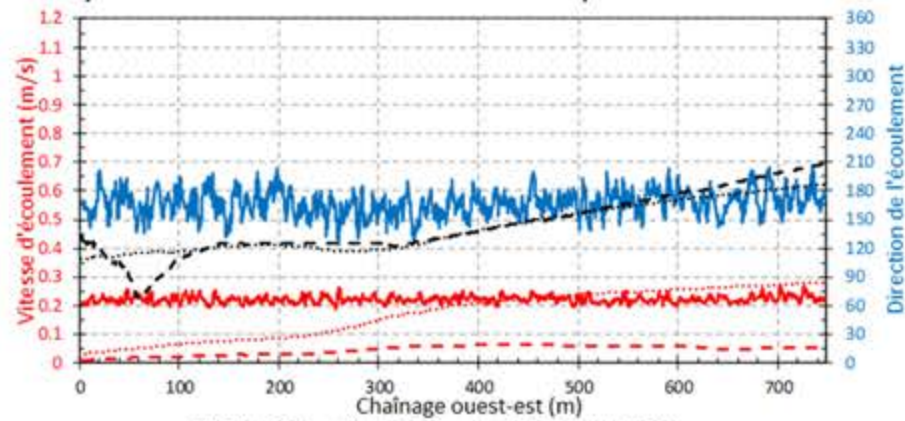
— Vitesse - Mesurée
 Vitesse - Modèle de 2016
 - - - Vitesse - Modèle révisé
 — Direction - Mesurée
 Direction - Modèle de 2016
 - - - Direction - Modèle révisé

Note: Les heures affichées sont en HAE

Validation des modèles – Août 2016 – Courants dans la baie de Beauport au flot

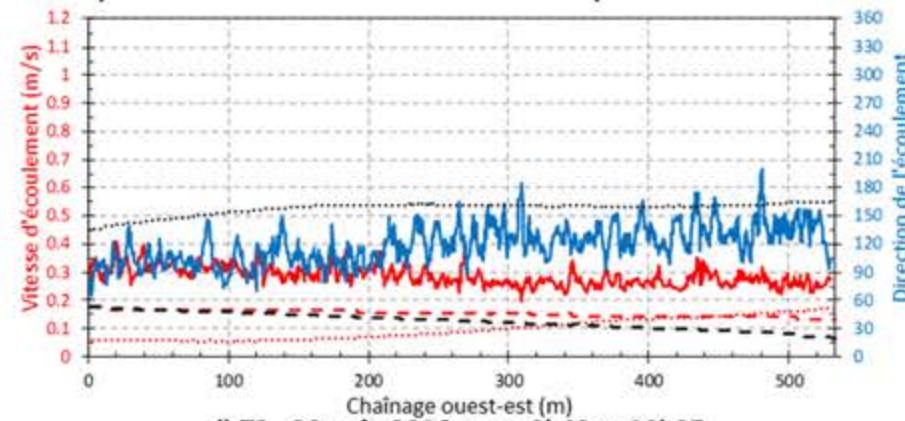


a) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



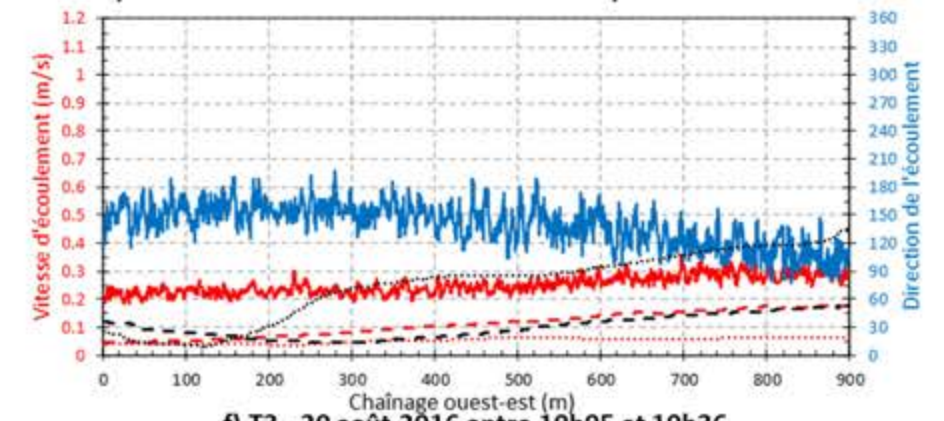
b) T1 - 20 août 2016 entre 8h14 et 8h39

c) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé

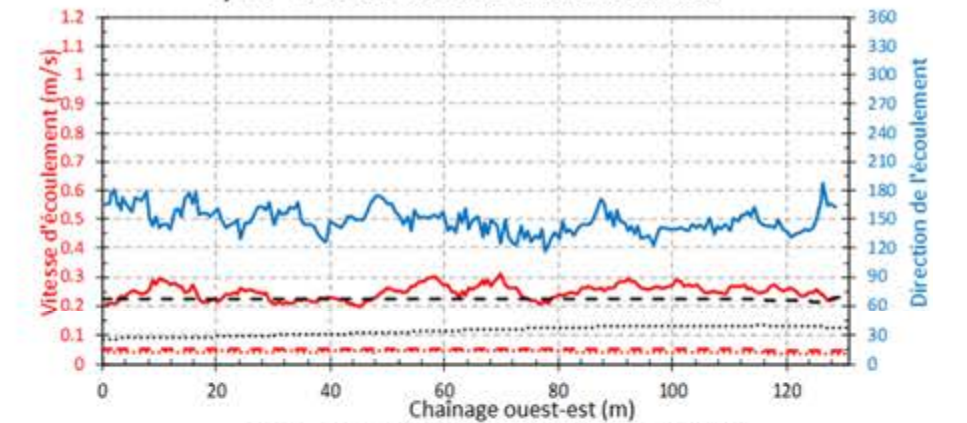


d) T2 - 20 août 2016 entre 9h49 et 10h05

e) État de la marée et courants modélisés par le modèle révisé



f) T3 - 20 août 2016 entre 10h05 et 10h36



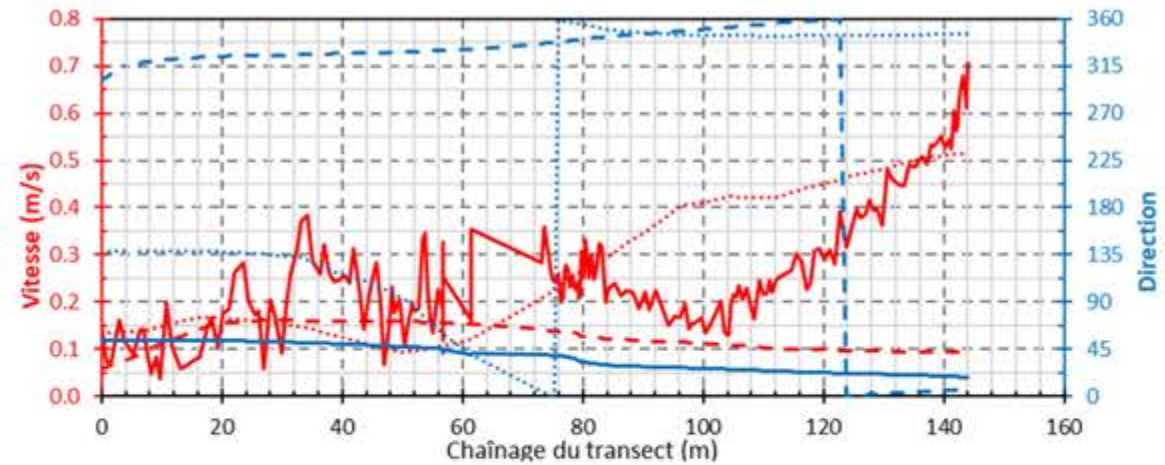
g) T4 - 20 août 2016 entre 10h36 et 10h40

- Vitesse - Mesurée
- Vitesse - Modèle de 2016
- - - Vitesse - Modèle révisé
- Direction - Mesurée
- Direction - Modèle de 2016
- - - Direction - Modèle révisé

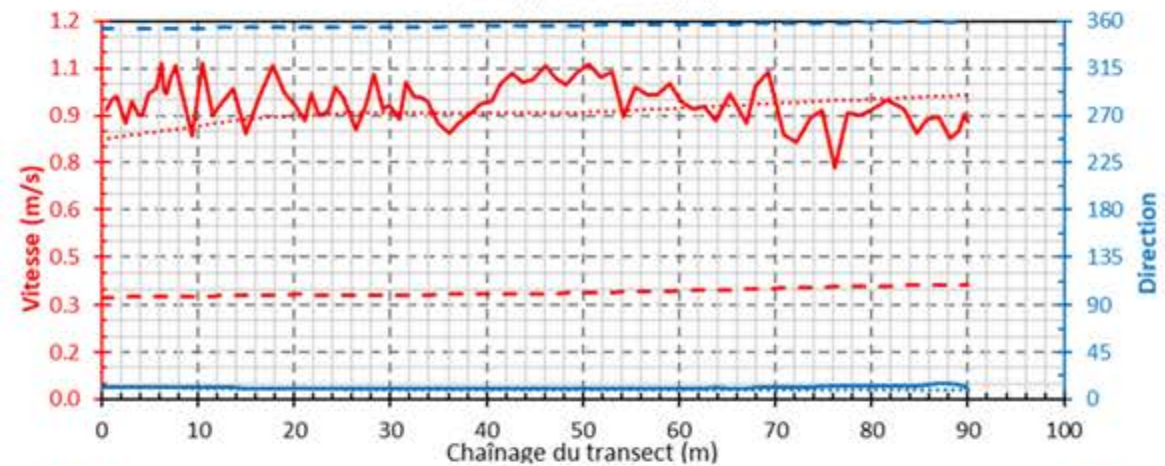
Note: Les heures affichées sont en HAE

Validation des modèles – Août 2016 – Courants dans la baie de Beauport au jusant

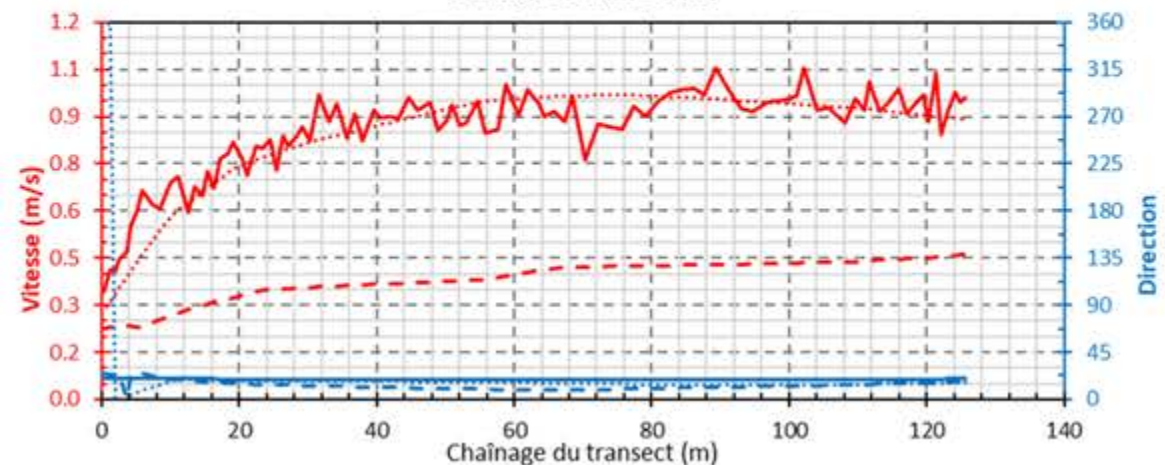
ANNEXE D : VALIDATION DES MODÈLES – JUIN 2019



a) T1 - 9h55

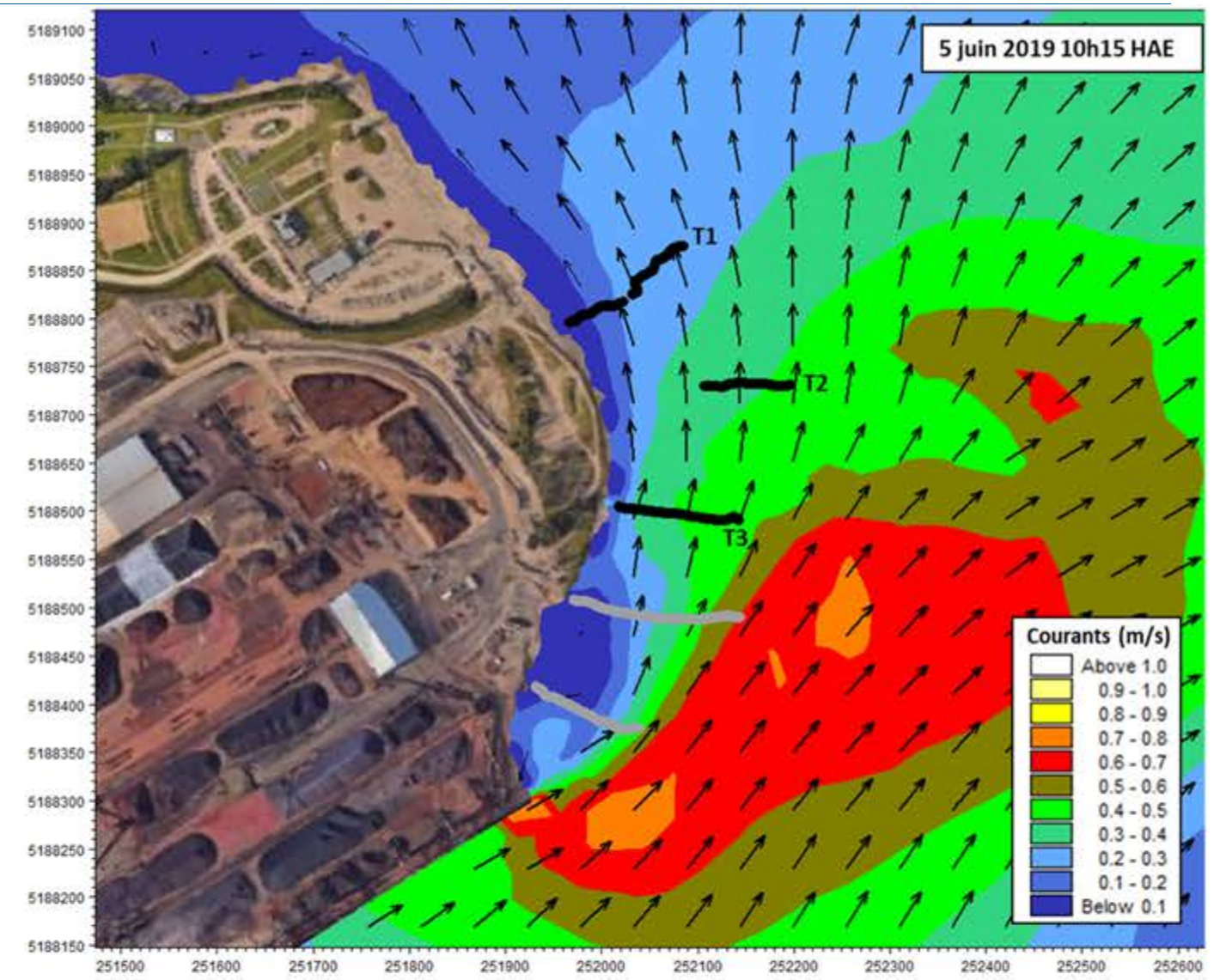


b) T2 - 10h11

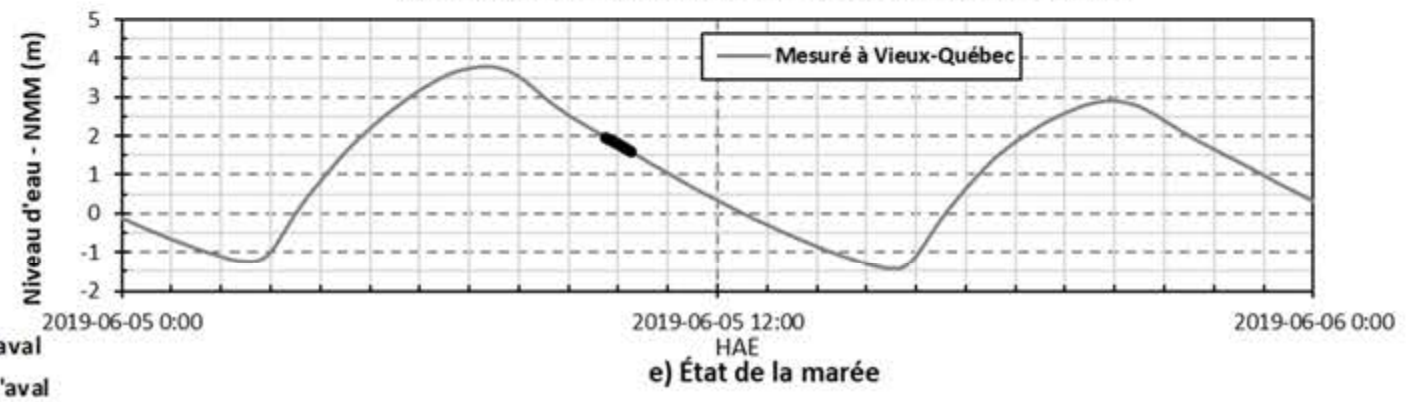


c) T3 - 10h19

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

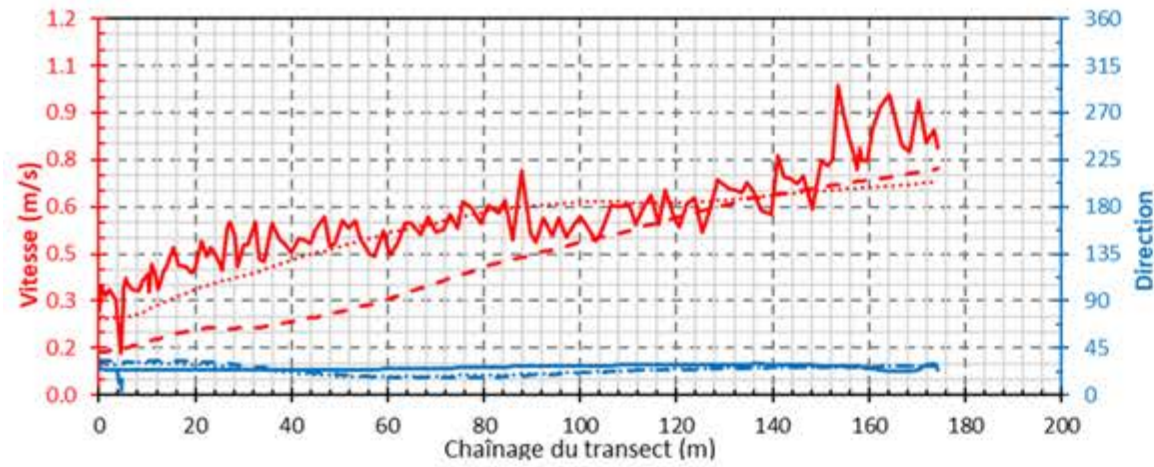


d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019

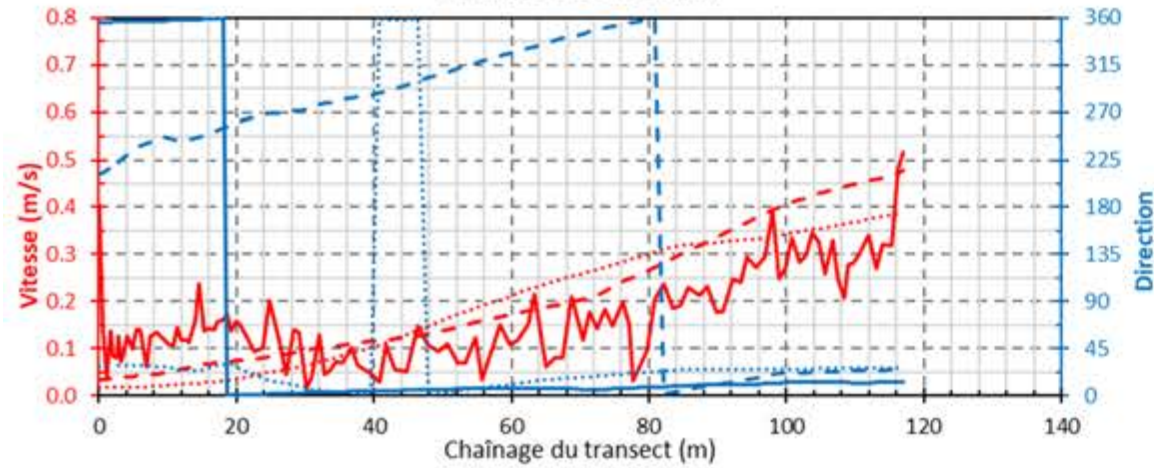


e) État de la marée

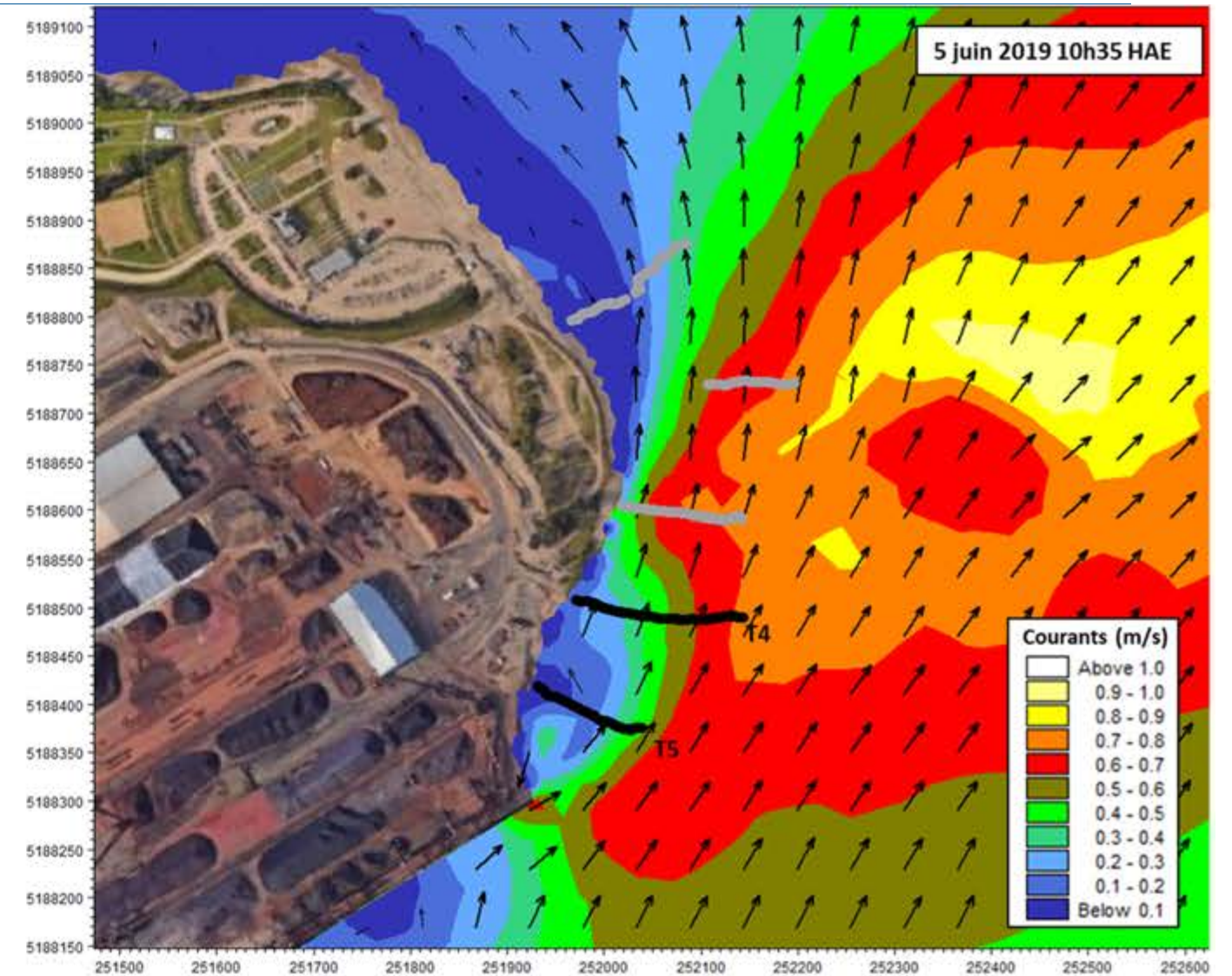
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au jusant en vive-eau



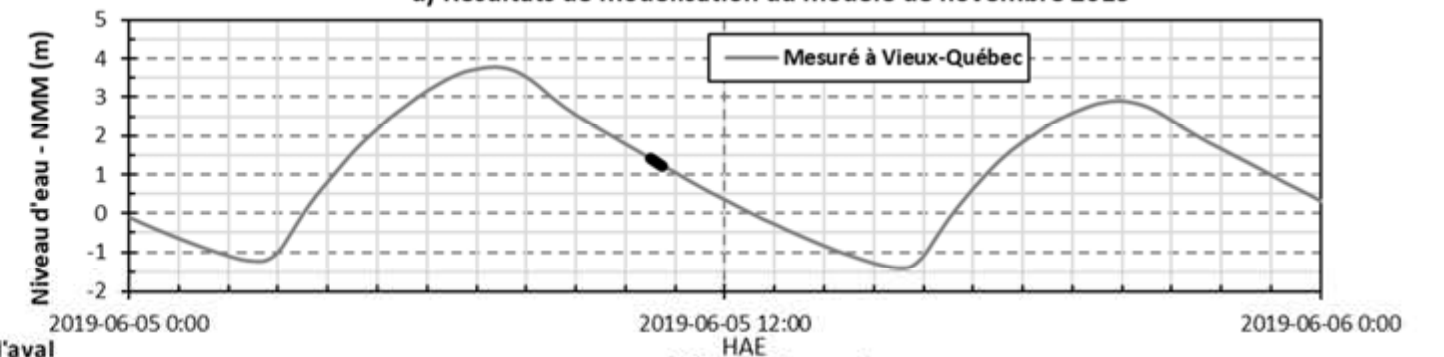
a) T4 - 10h32



b) T5 - 10h38



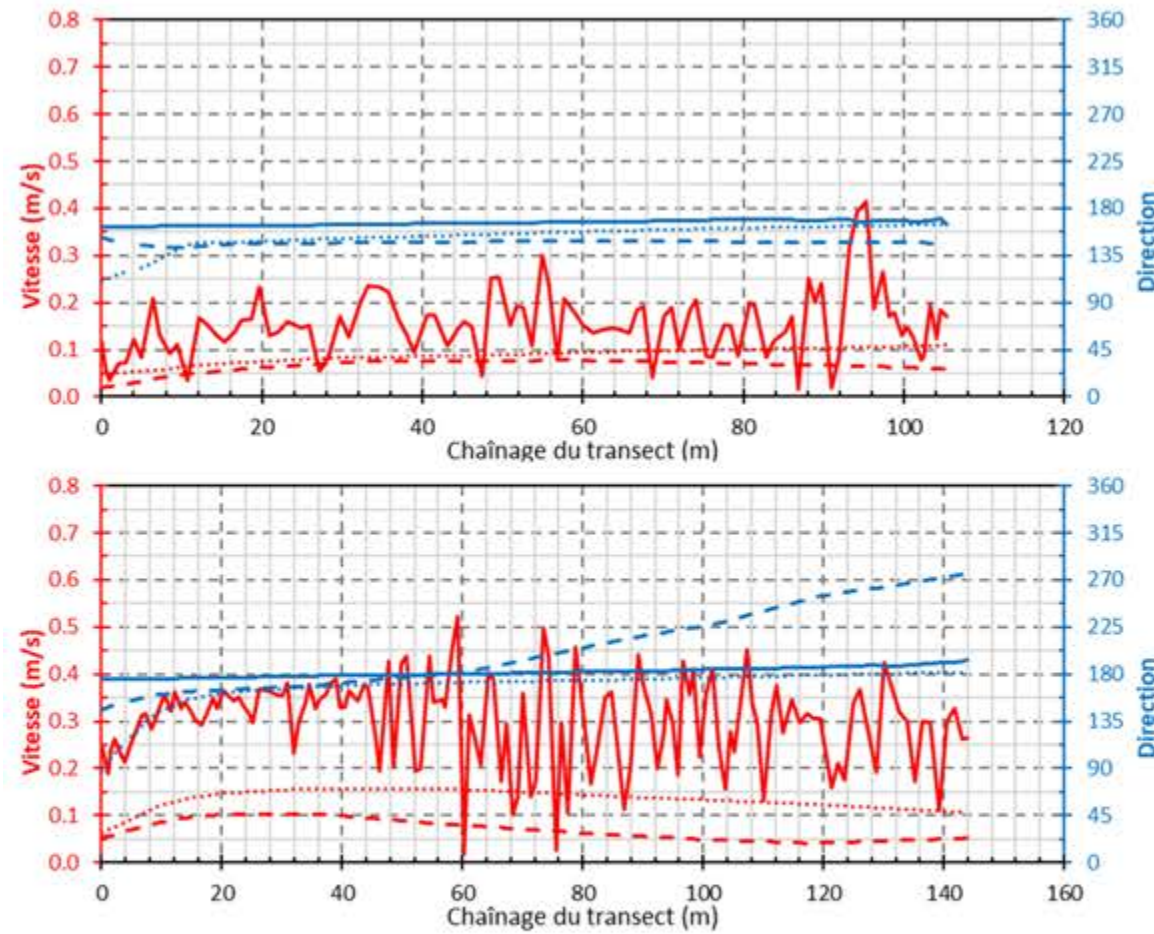
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



e) État de la marée

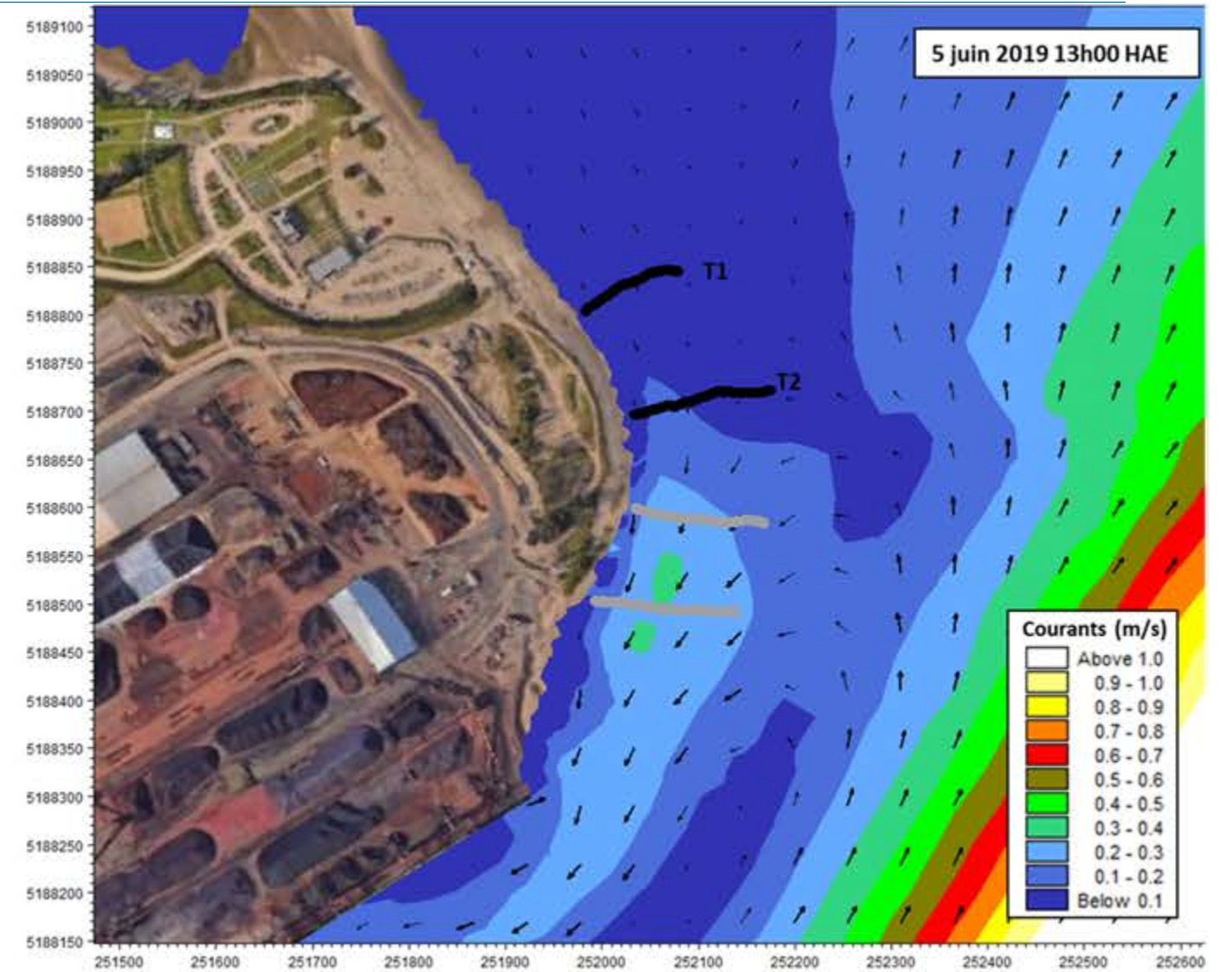
- Vitesse - Mesurée
- - - Vitesse - Modèle révisé
- Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
- Direction - Mesurée
- - - Direction - Modèle révisé
- Direction - Modèle étendu vers l'aval

Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au jusant en vive-eau (suite)

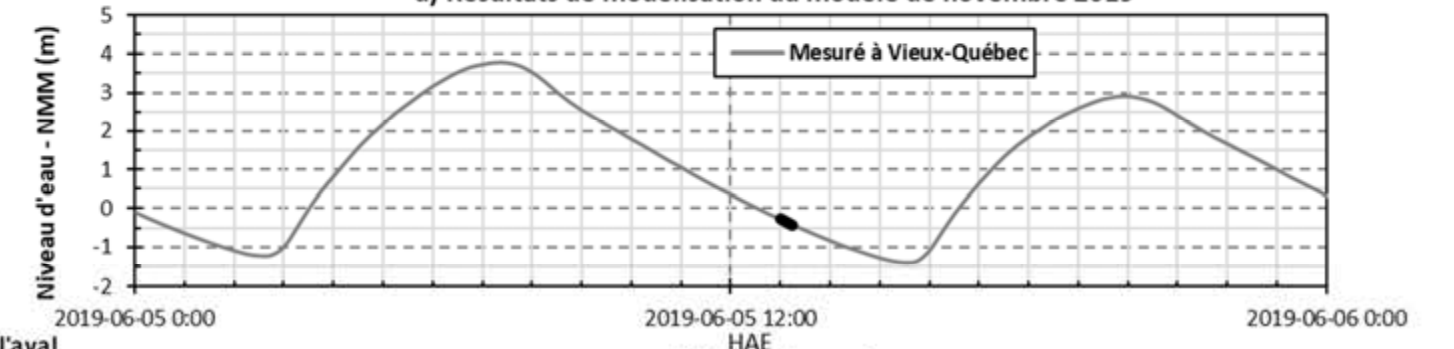


a) T1 - 13h05

b) T2 - 12h58



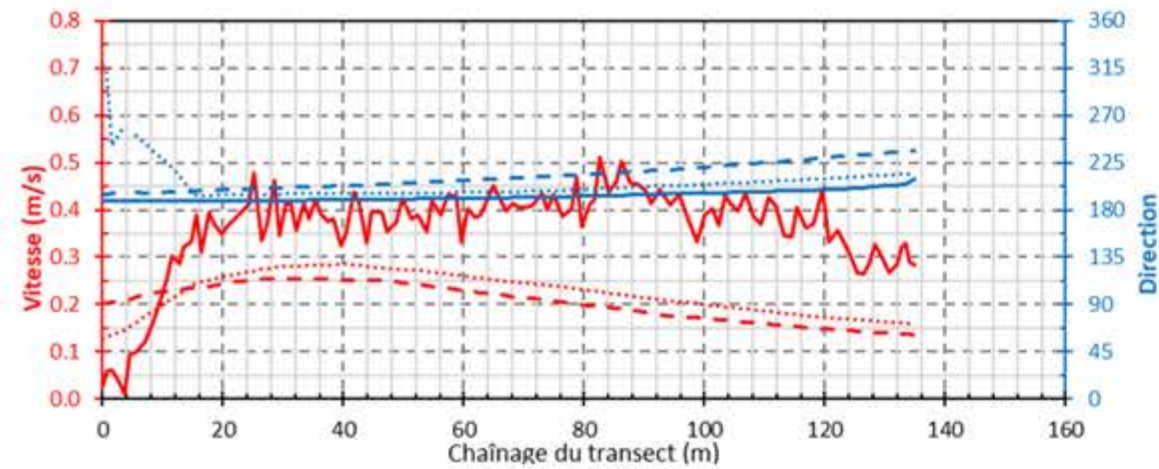
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



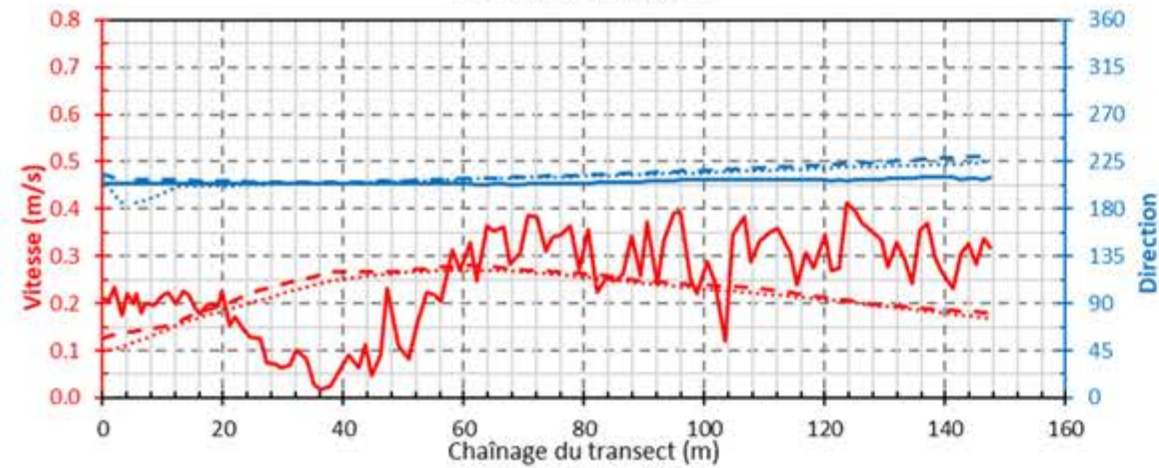
e) État de la marée

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

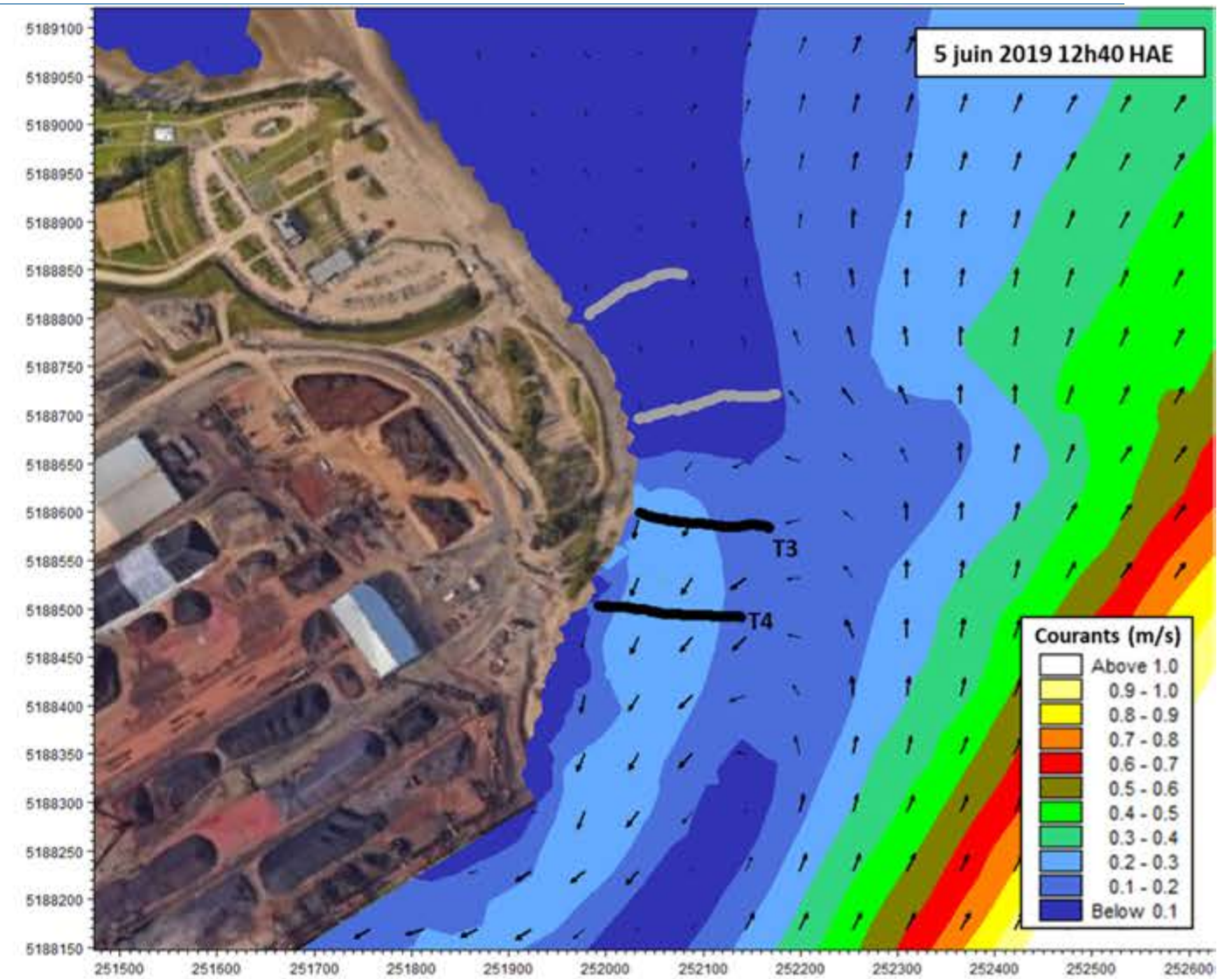
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au jusant en vive-eau (suite)



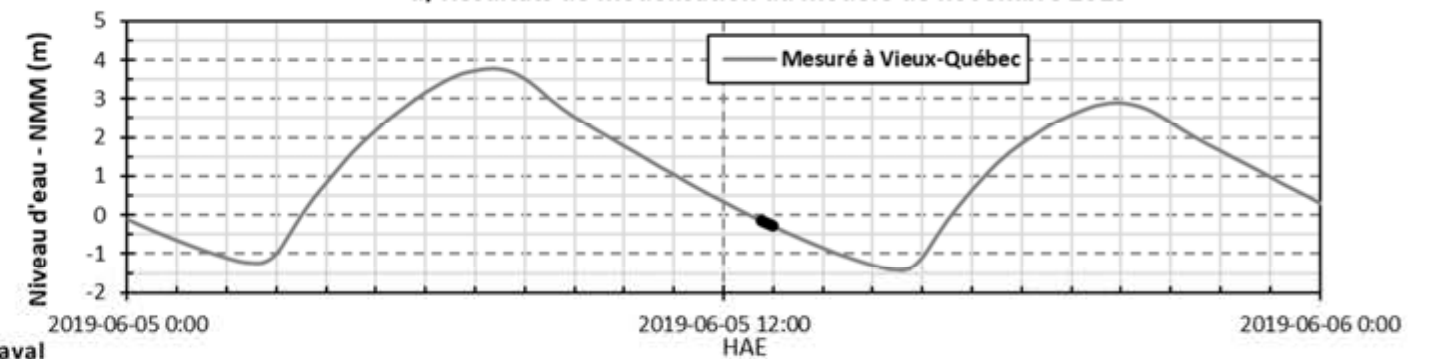
a) T3 - 12h48



b) T4 - 12h41



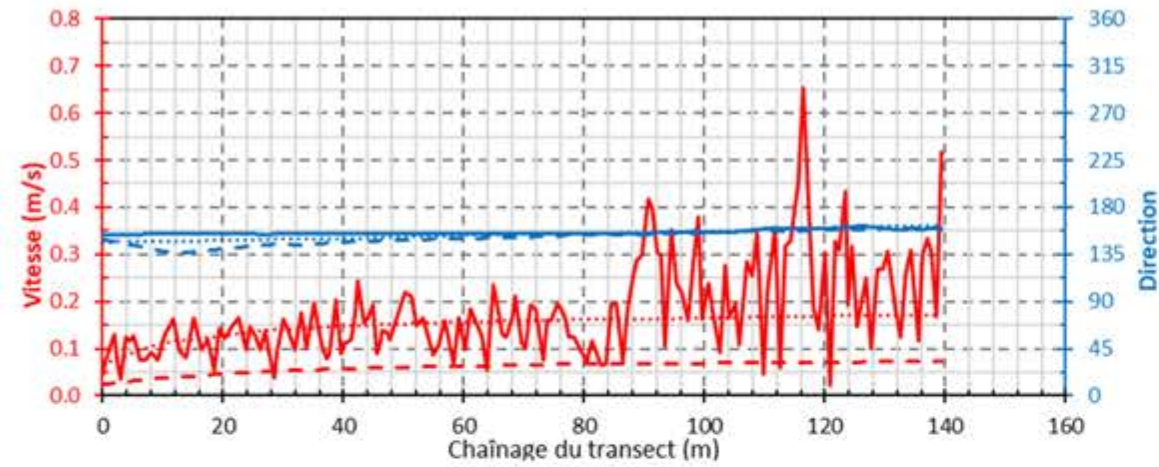
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



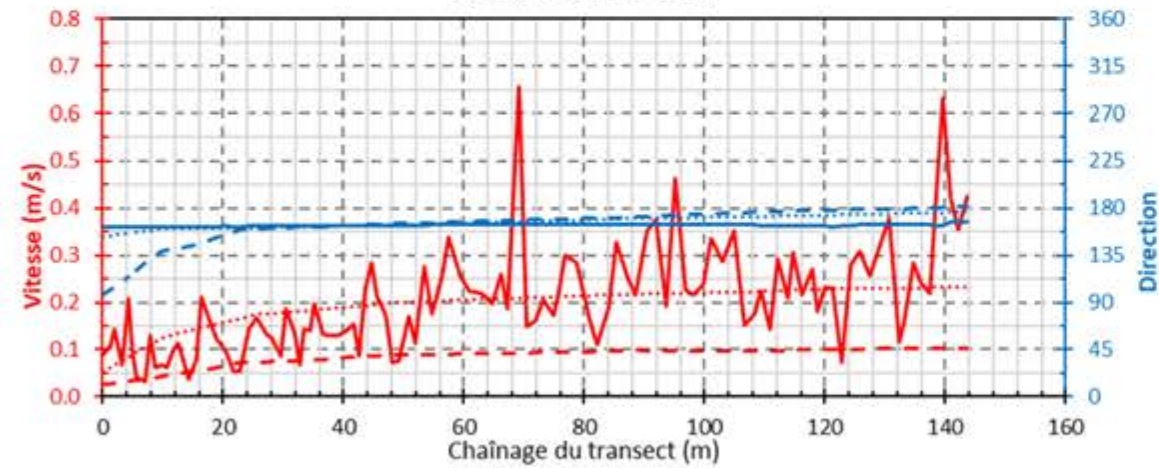
e) Etat de la marée

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

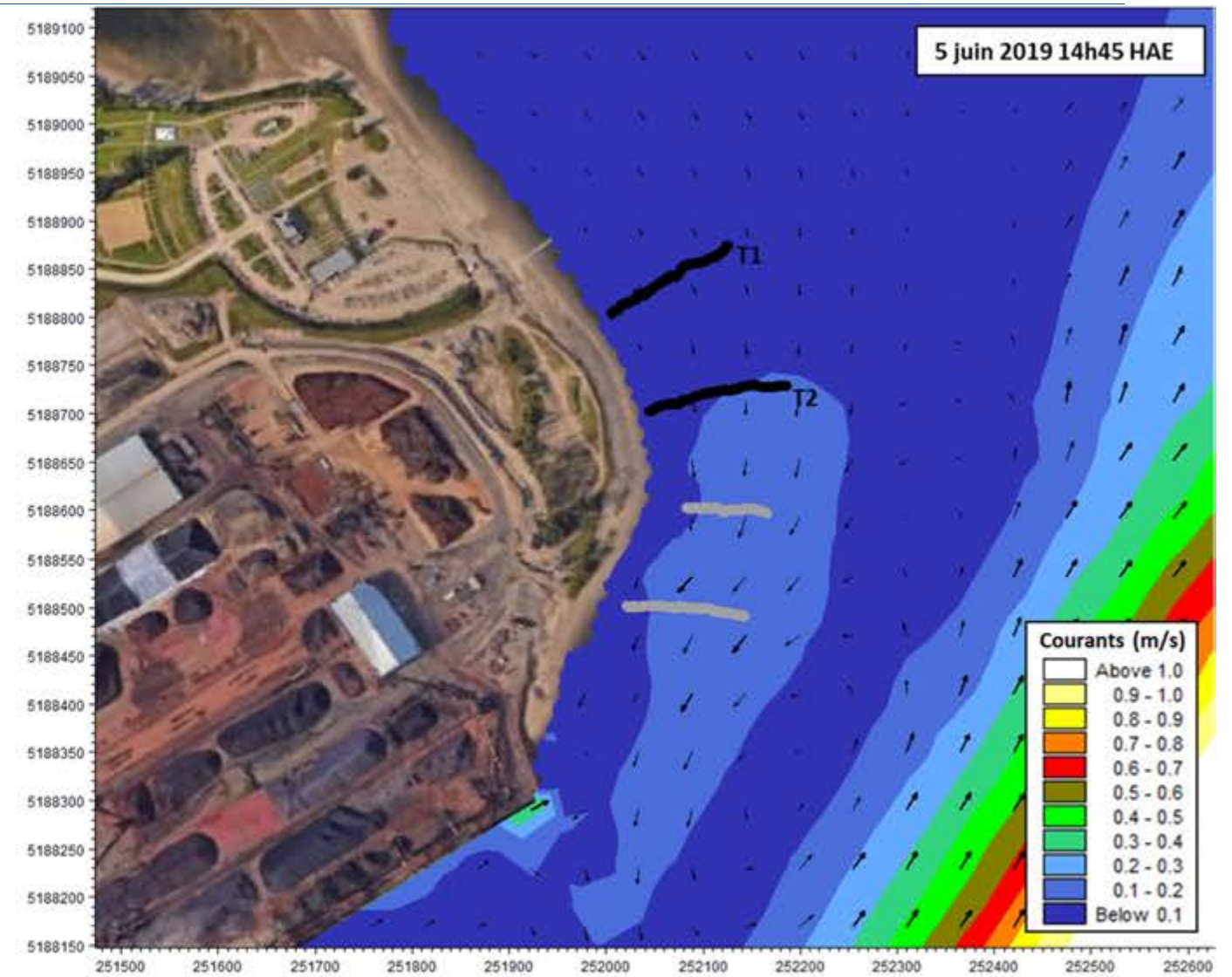
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au jusant en vive-eau (suite)



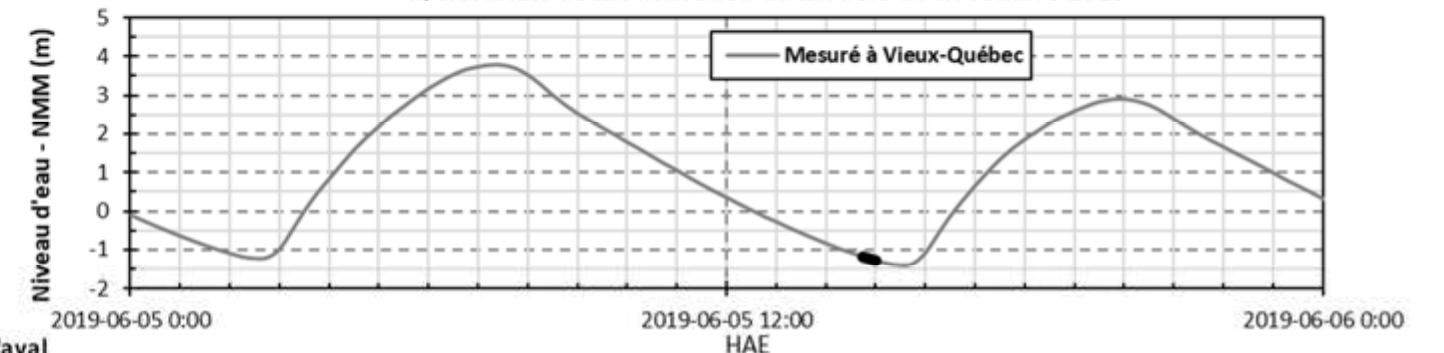
a) T1 - 14h43



b) T2 - 14h51



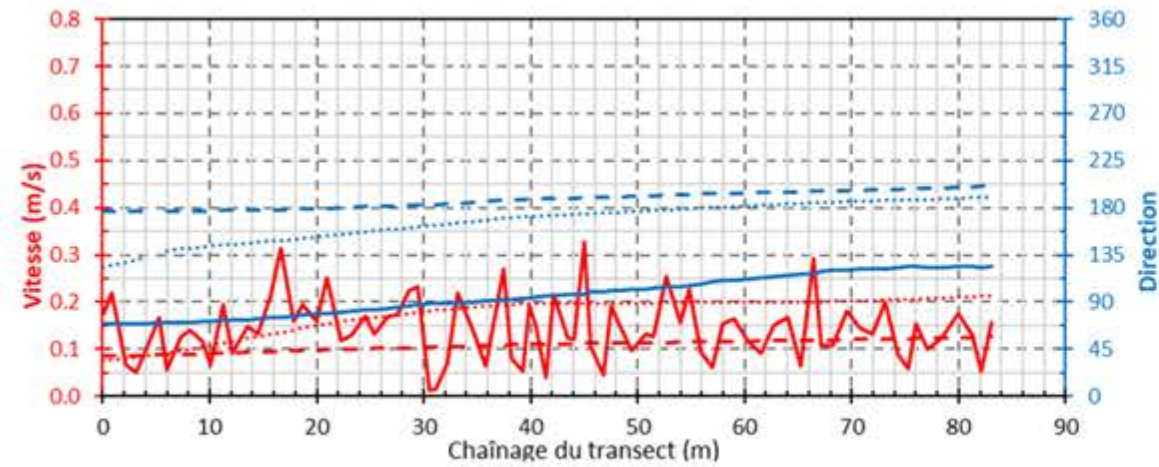
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



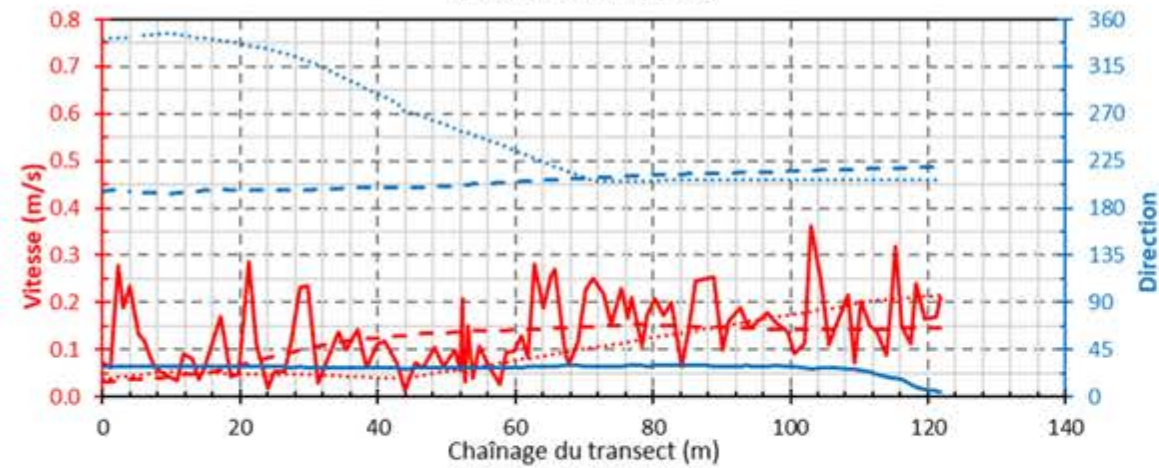
e) Etat de la marée

- Vitesse - Mesurée
- Vitesse - Modèle révisé
- Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
- Direction - Mesurée
- Direction - Modèle révisé
- Direction - Modèle étendu vers l'aval

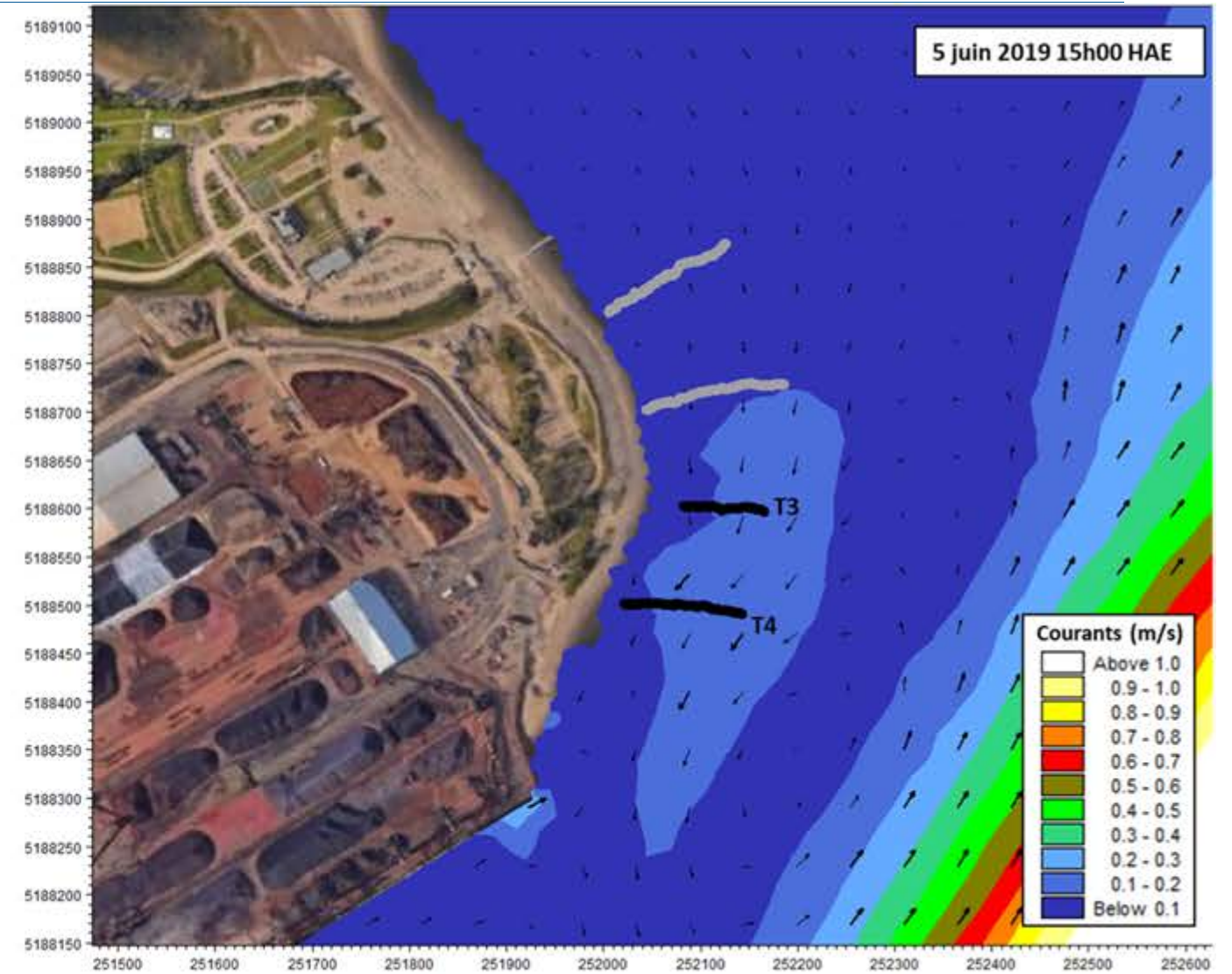
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants à la marée basse en vive-eau



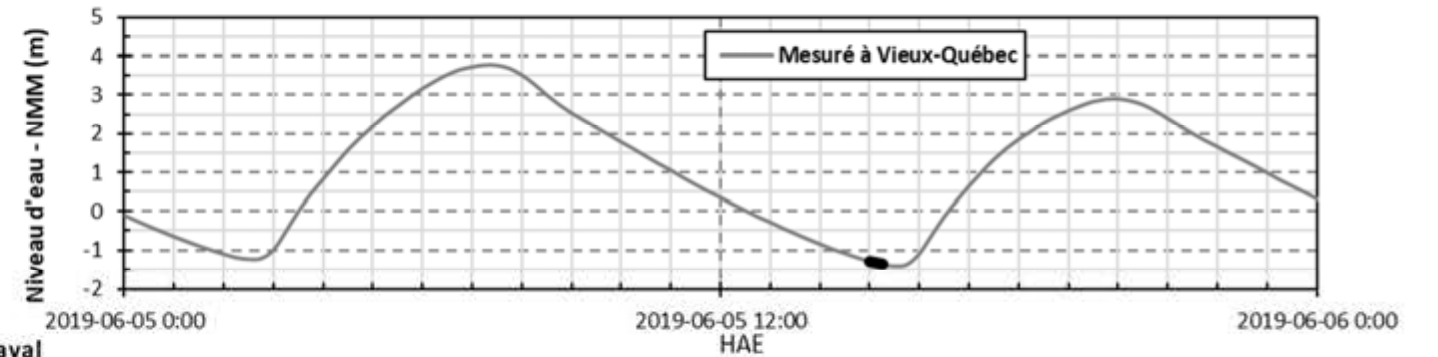
a) T3 - 14h58



b) T4 - 15h04



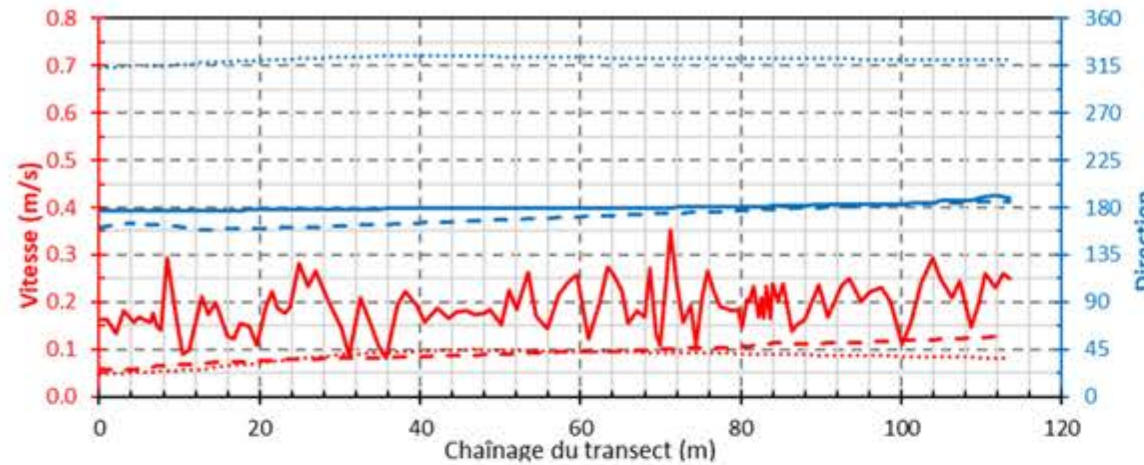
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



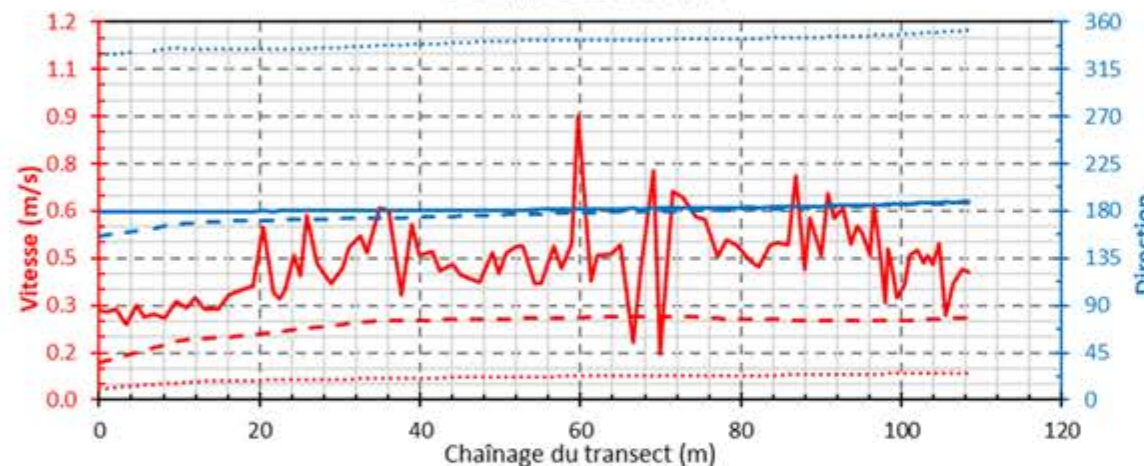
e) État de la marée

- Vitesse - Mesurée
- - - Vitesse - Modèle révisé
- Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
- Direction - Mesurée
- - - Direction - Modèle révisé
- Direction - Modèle étendu vers l'aval

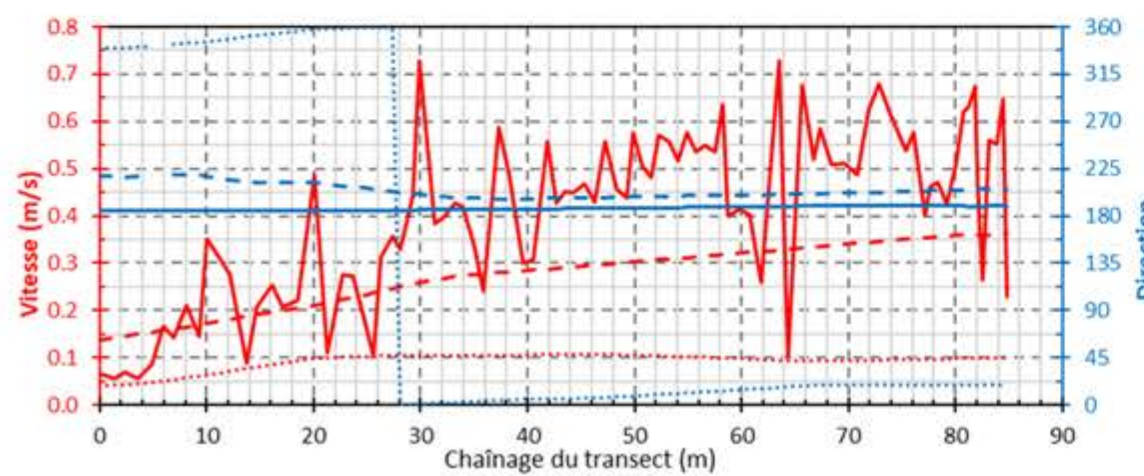
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants à la marée basse en vive-eau



a) T1 - 17h04

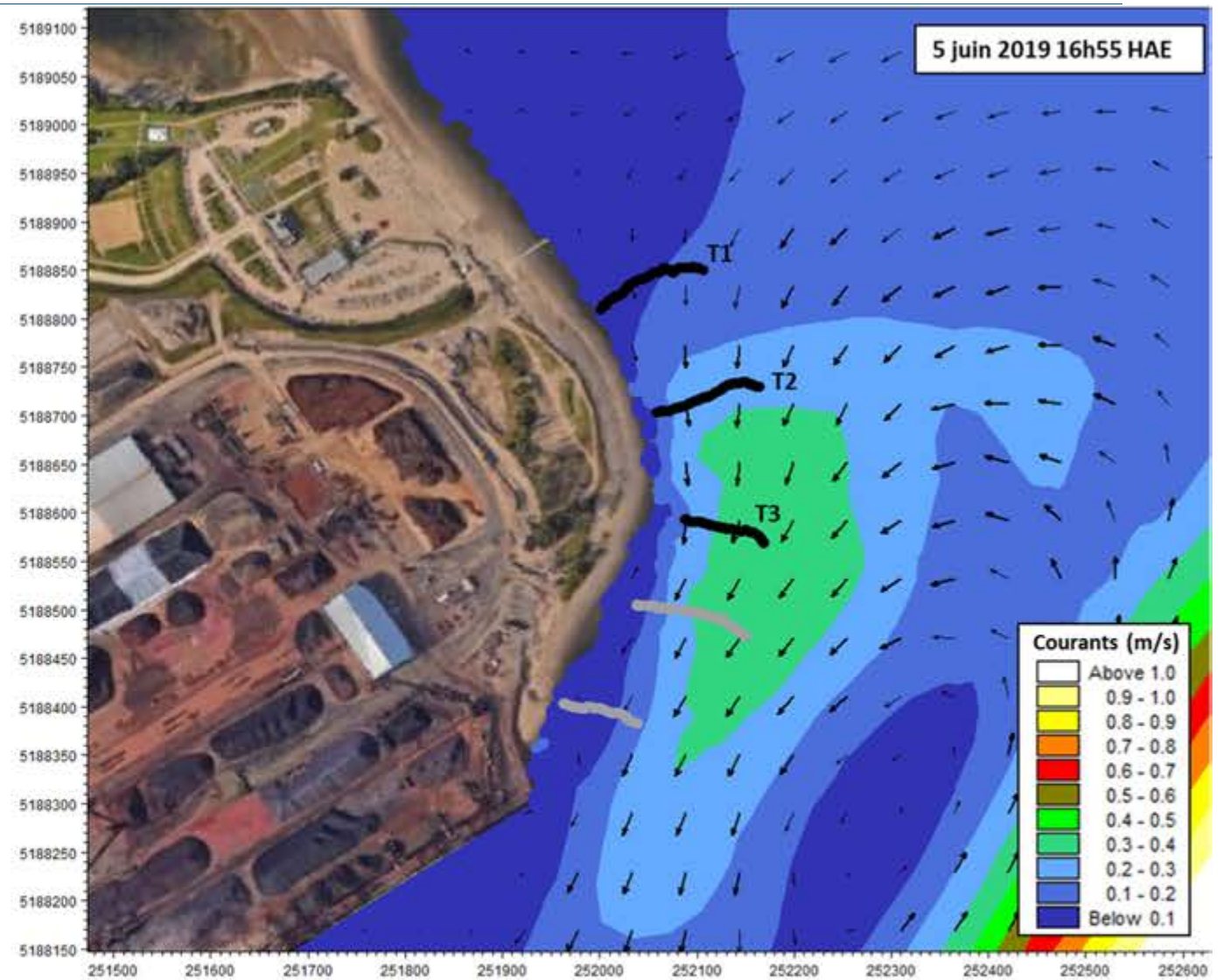


b) T2 - 16h57

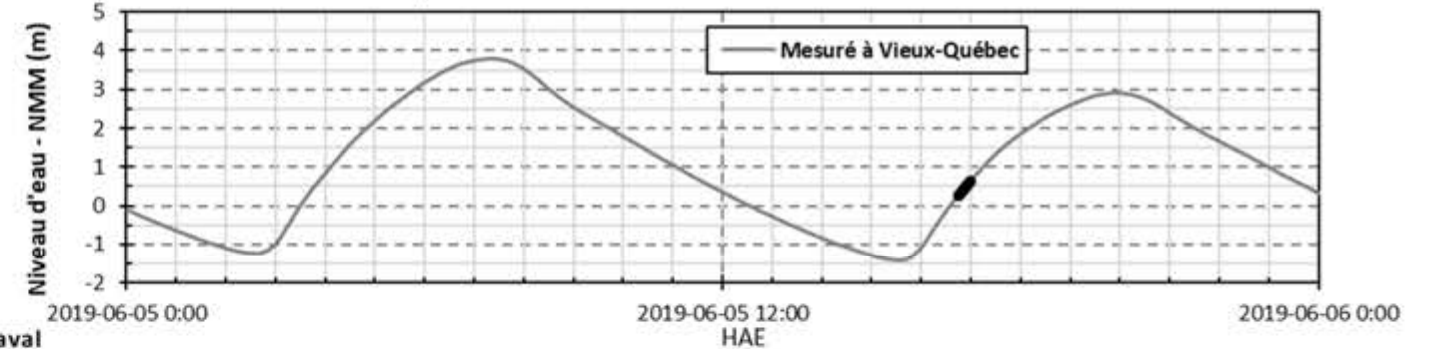


c) T3 - 16h51

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

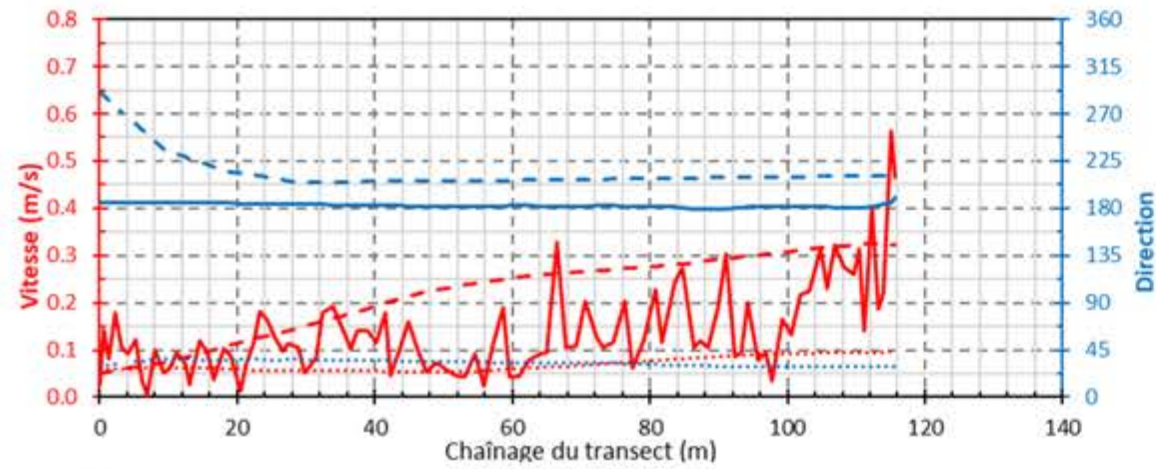


d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019

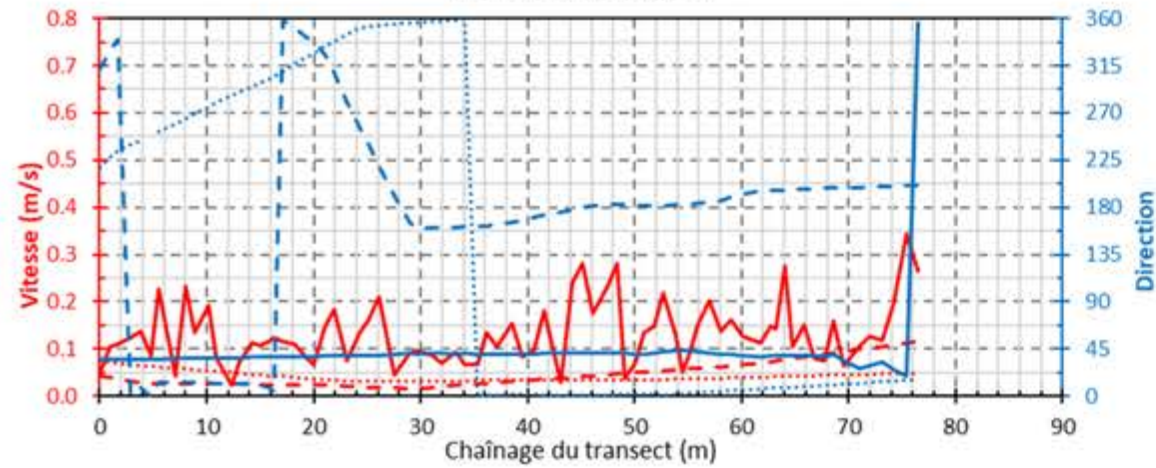


e) État de la marée

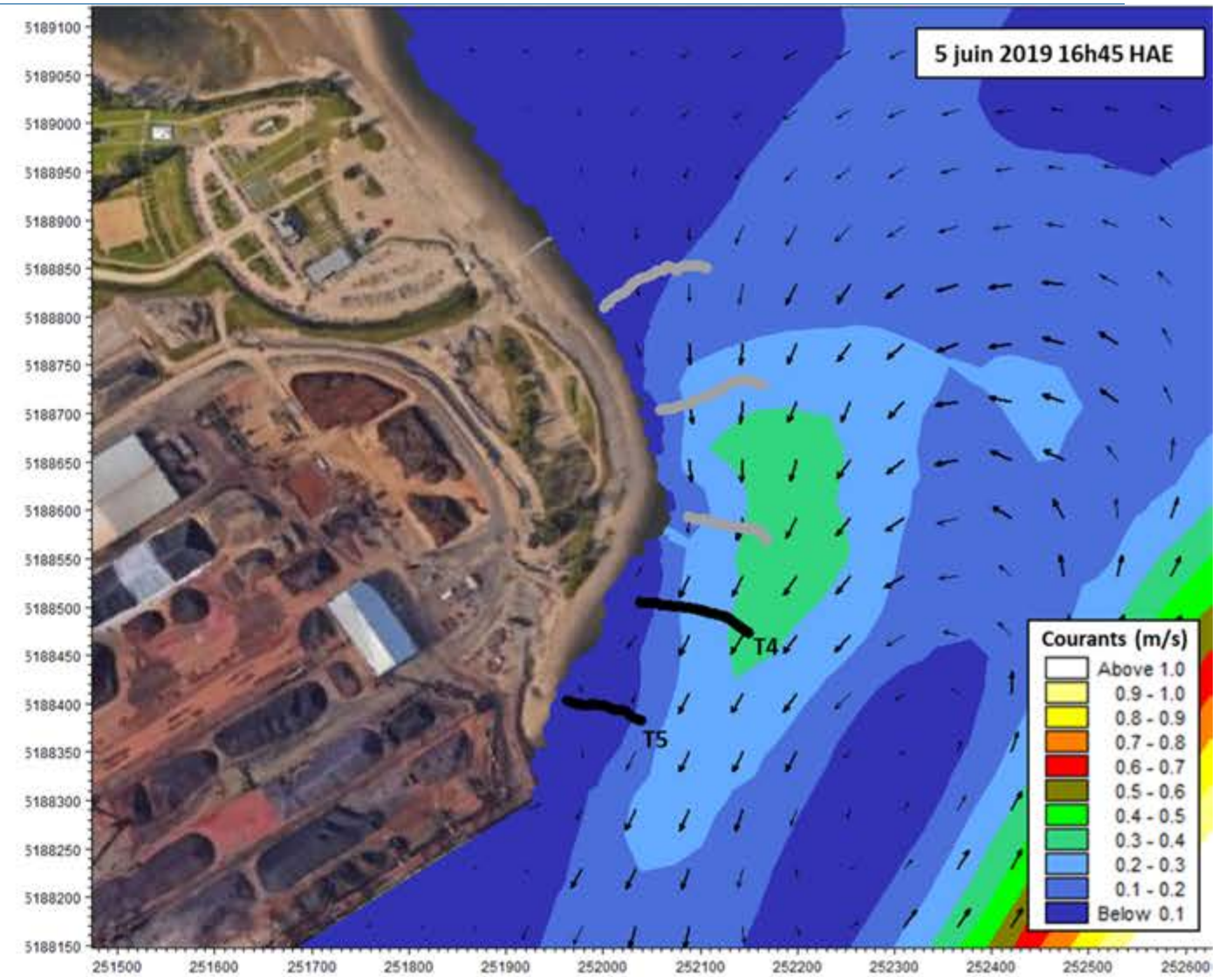
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au flot en vive-eau



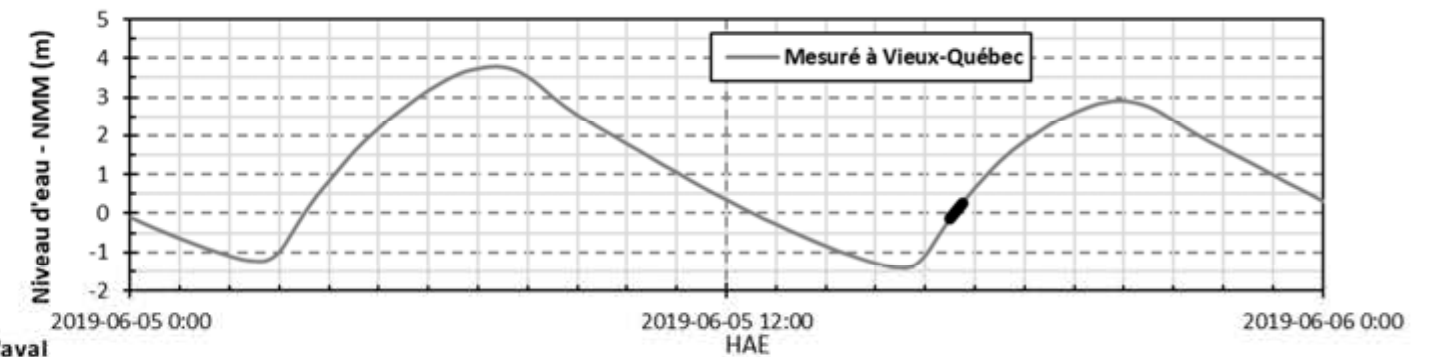
a) T4 - 16h45



b) T5 - 16h40



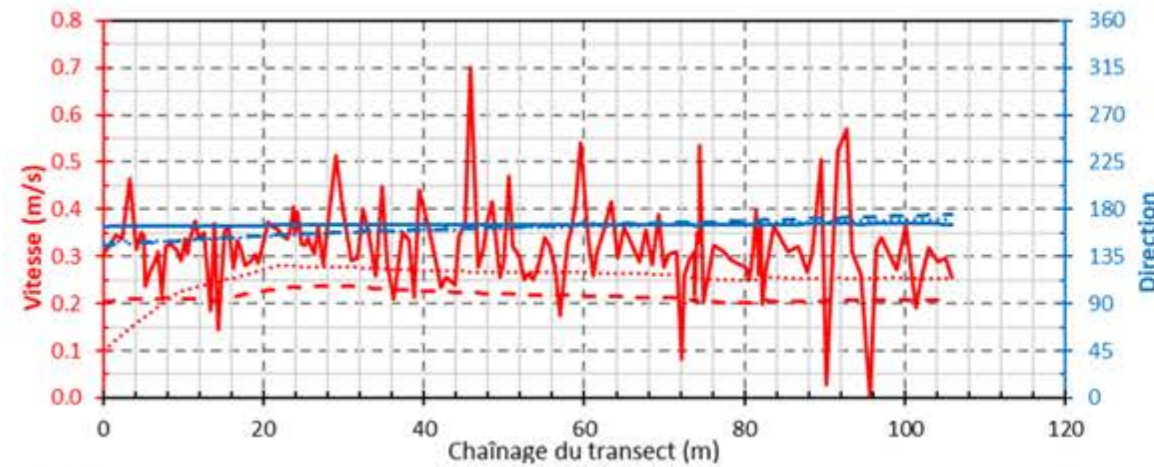
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



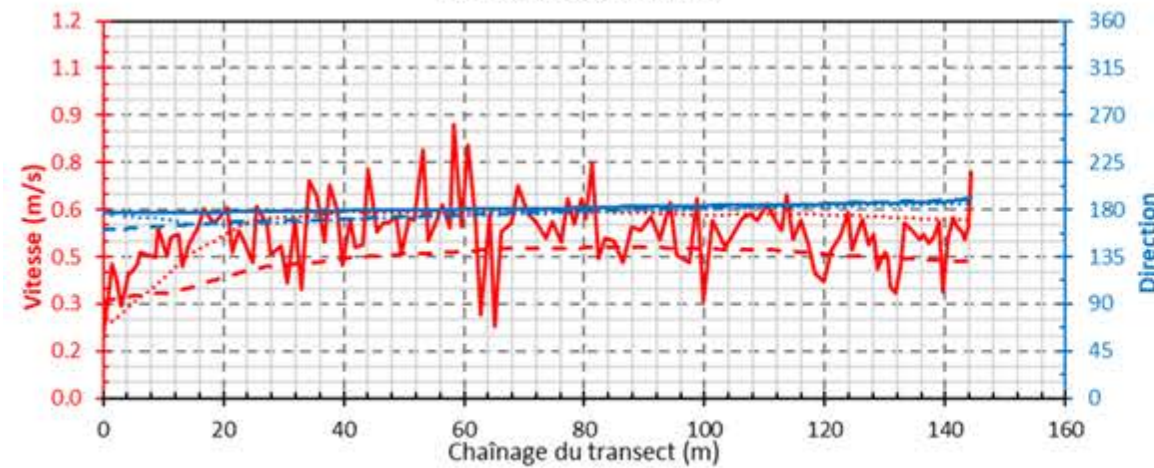
e) Etat de la marée

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

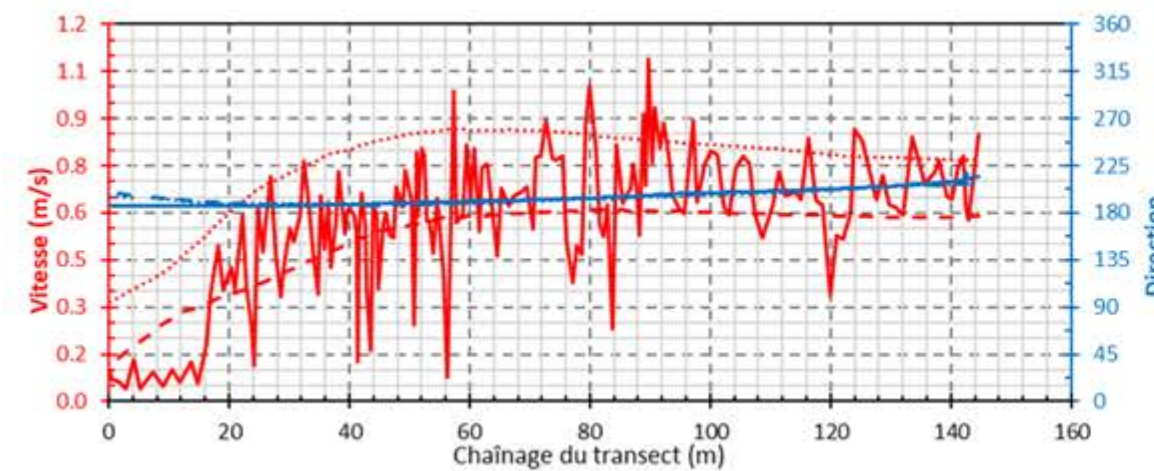
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au flot en vive-eau (suite)



a) T1 - 18h15

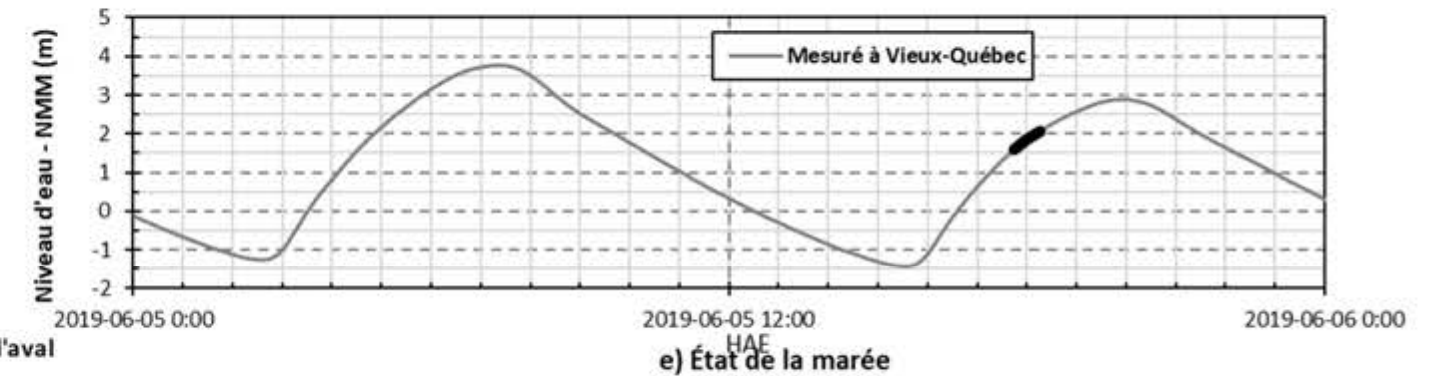
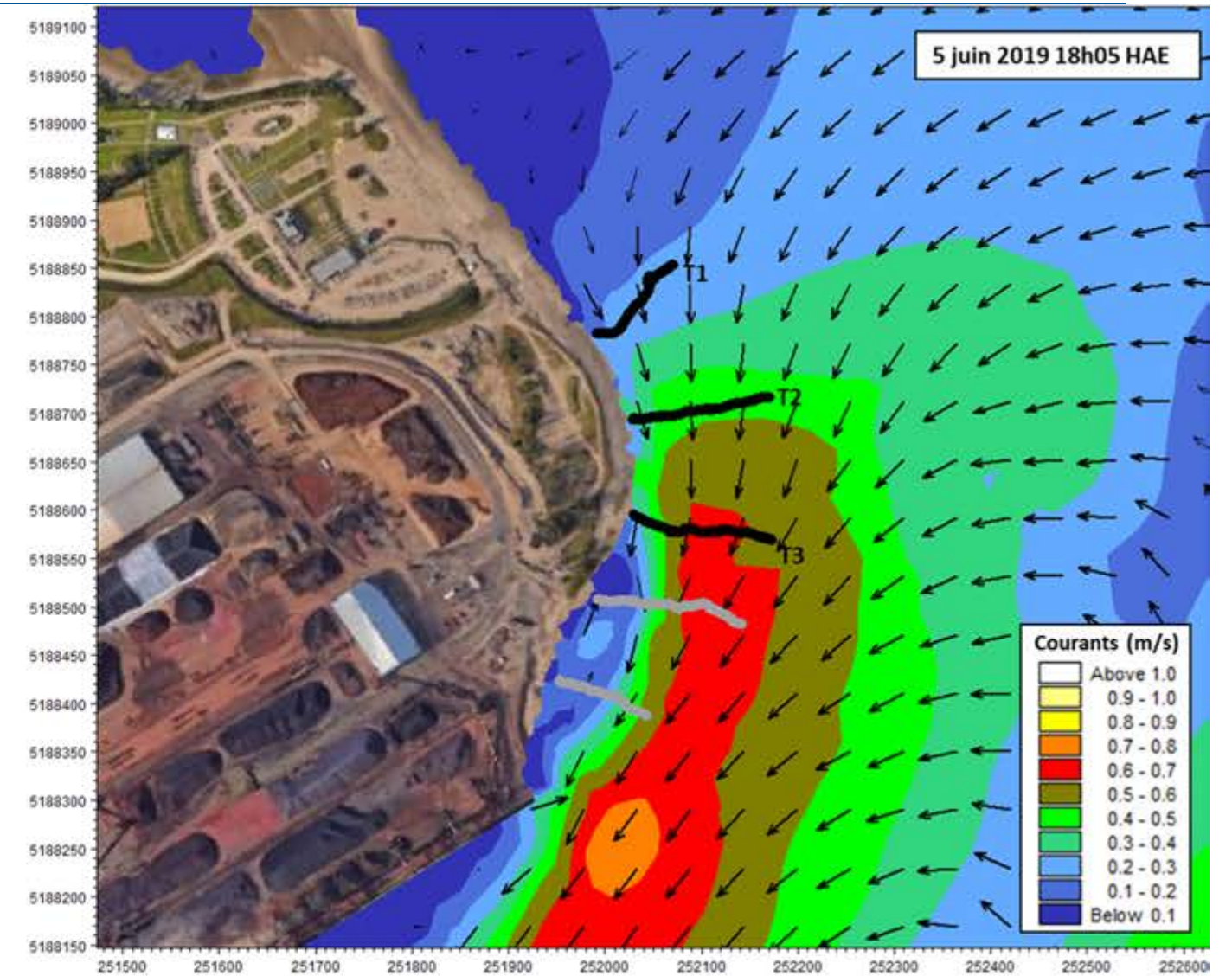


b) T2 - 18h07

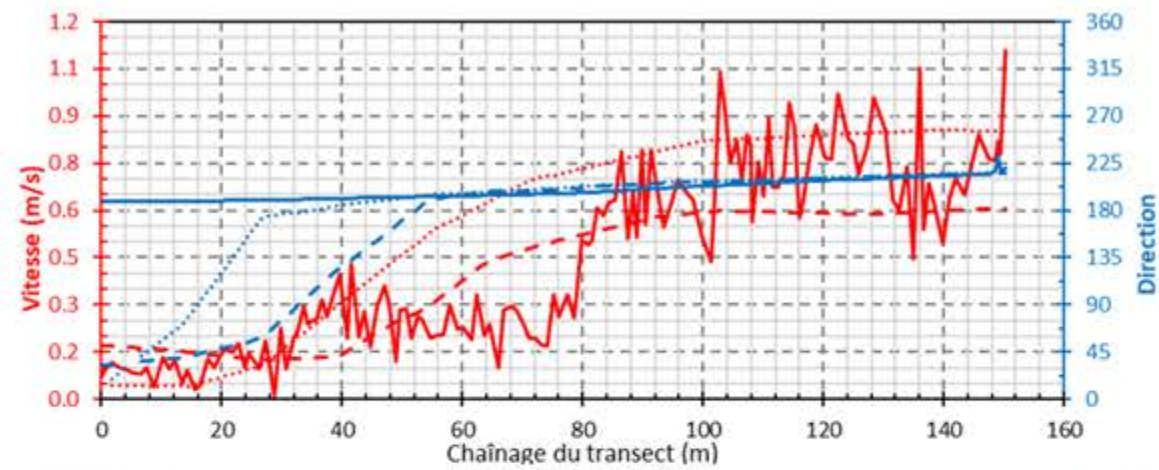


c) T3 - 17h59

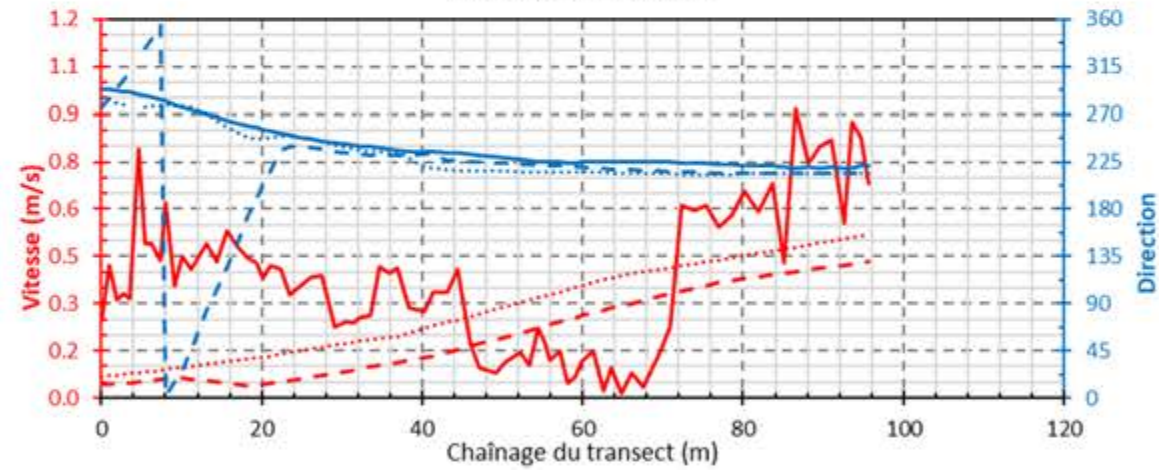
— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
 — Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé Direction - Modèle étendu vers l'aval



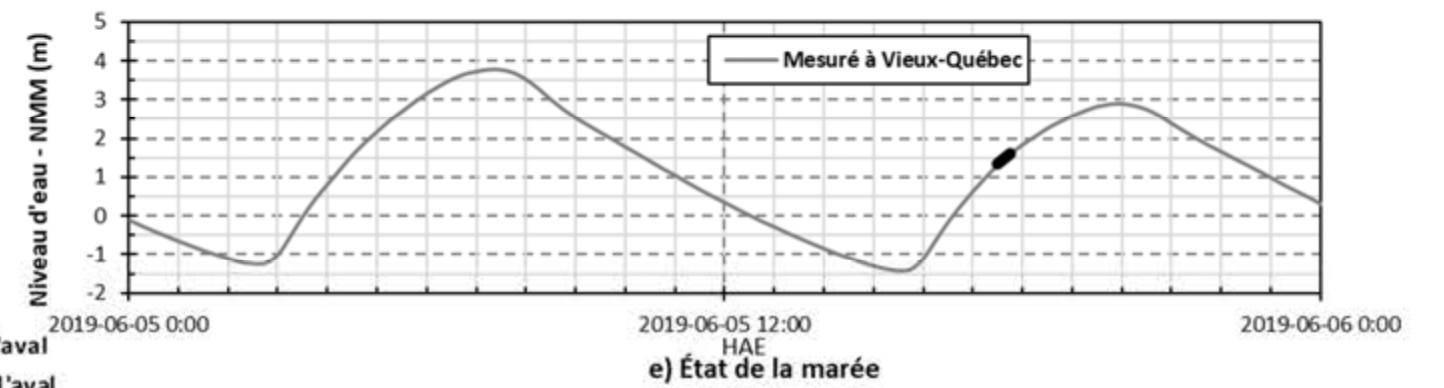
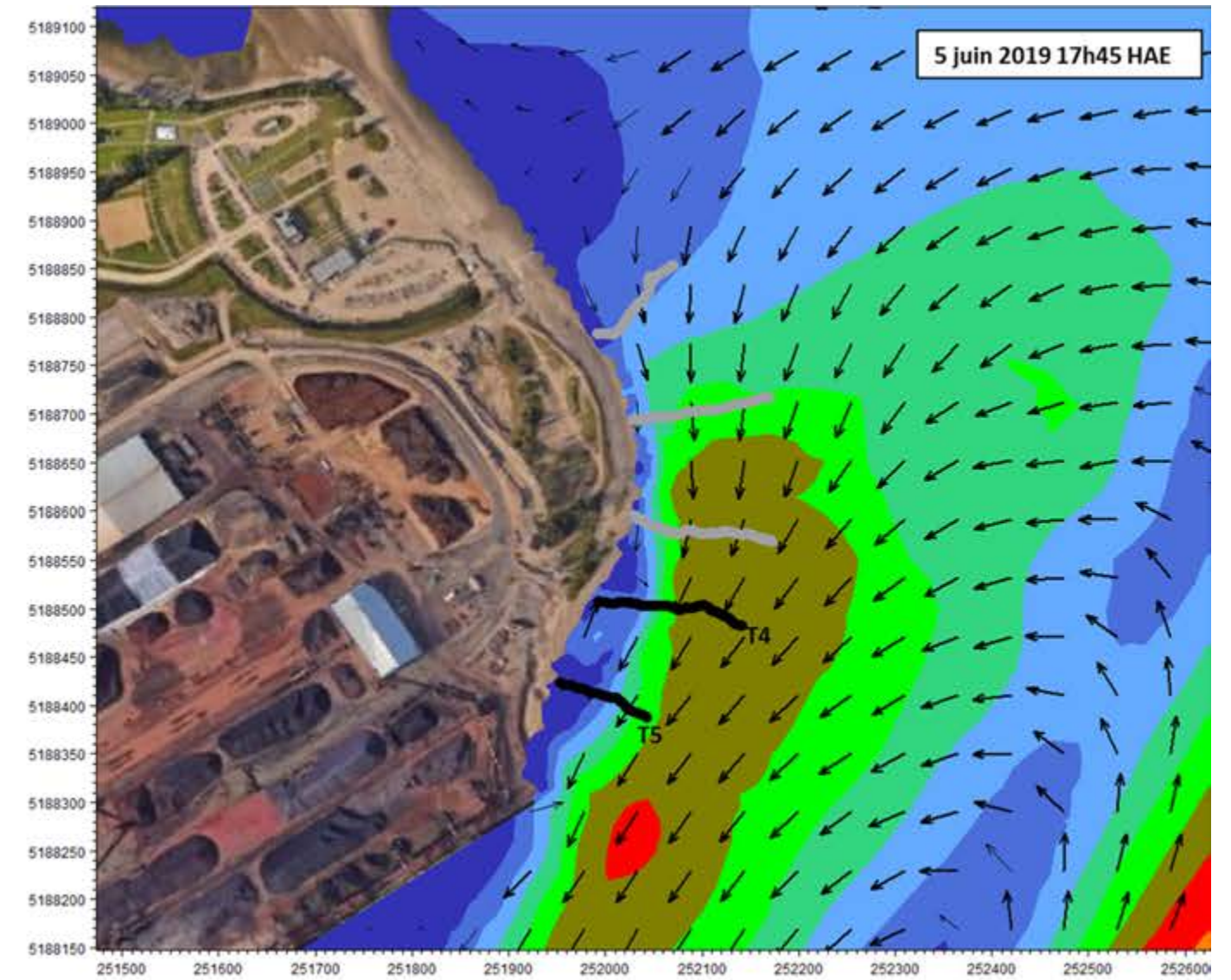
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au flot en vive-eau (suite)



a) T4 - 17h51

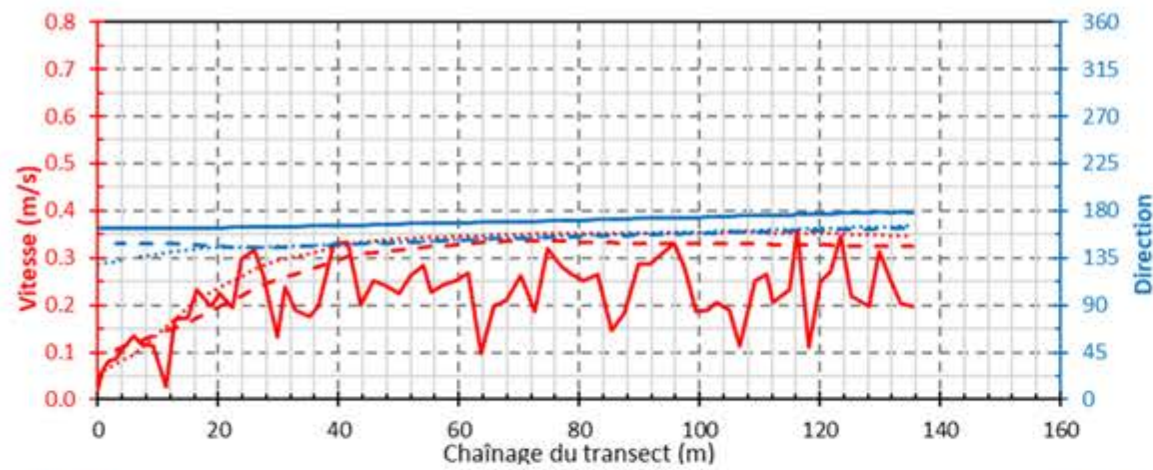


b) T5 - 17h44

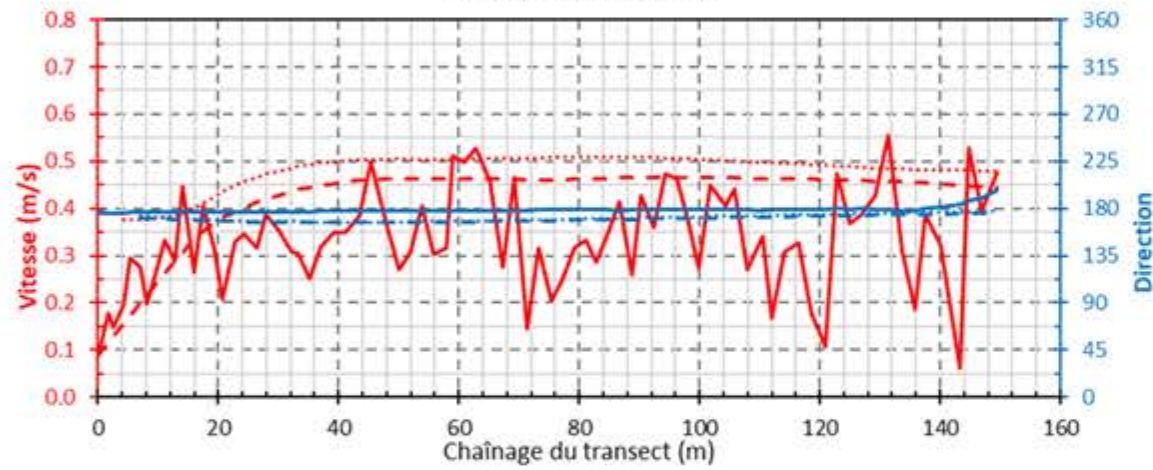


- Vitesse - Mesurée
- - - Vitesse - Modèle révisé
- ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
- Direction - Mesurée
- - - Direction - Modèle révisé
- ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

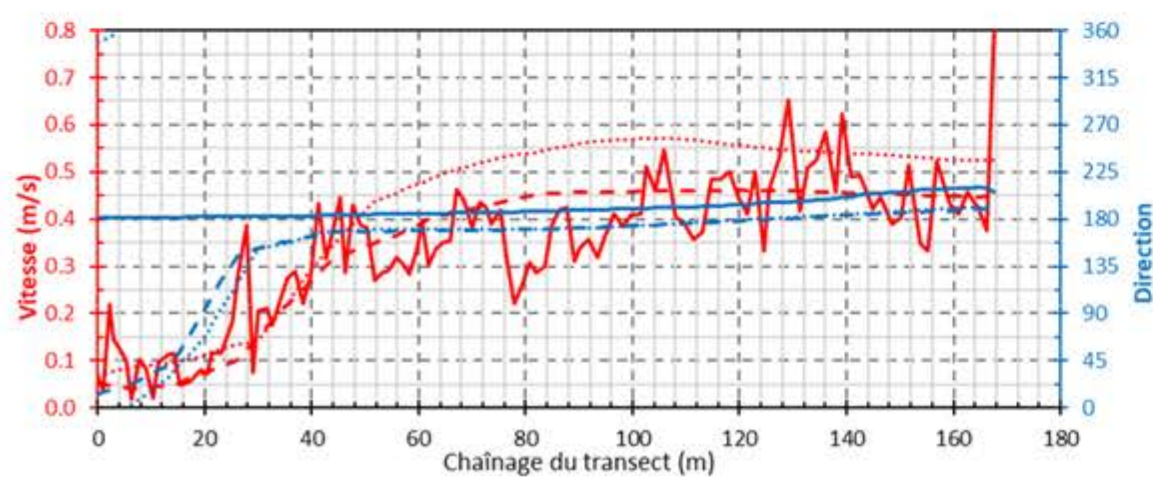
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants au flot en vive-eau (suite)



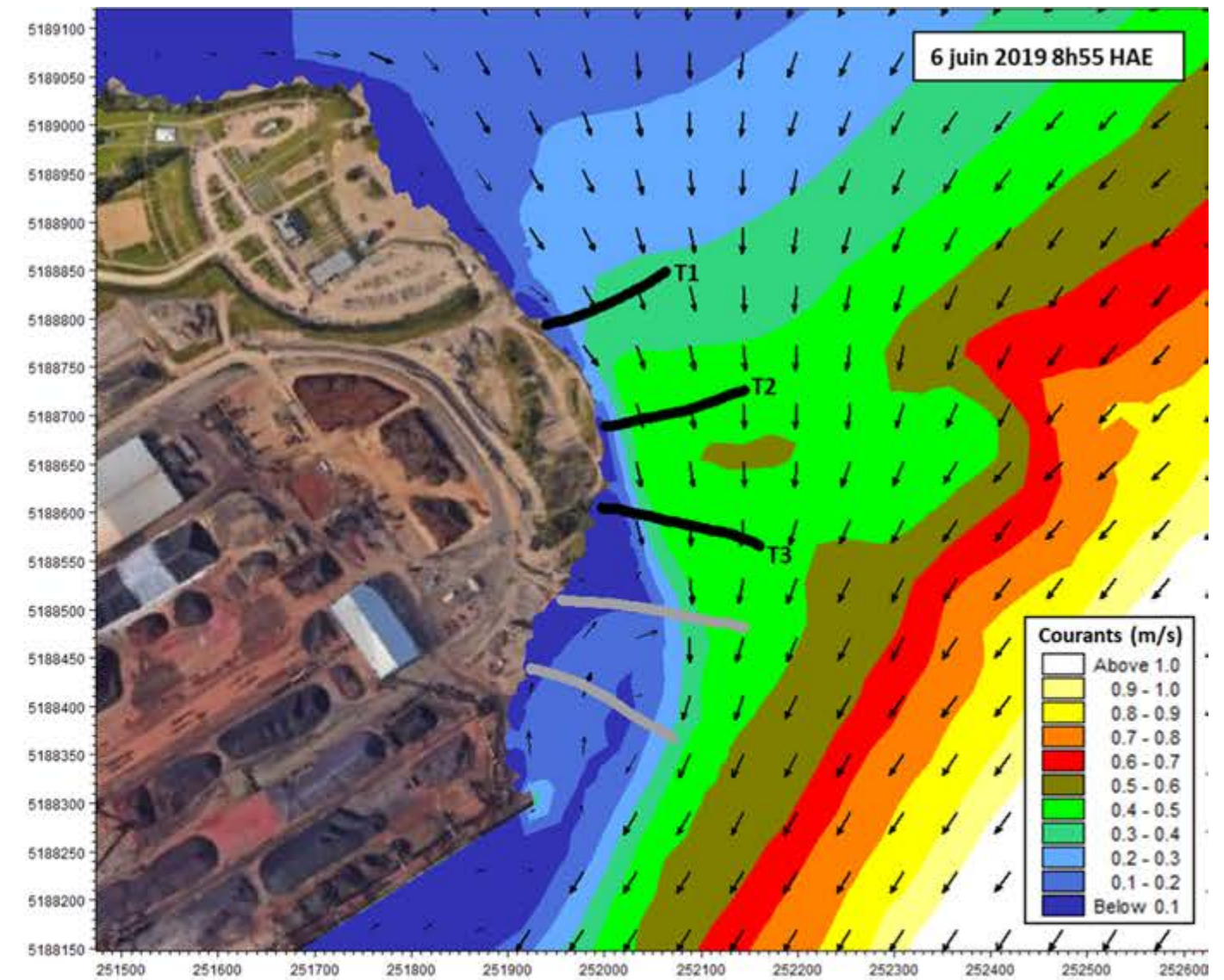
a) T1 - 8h53



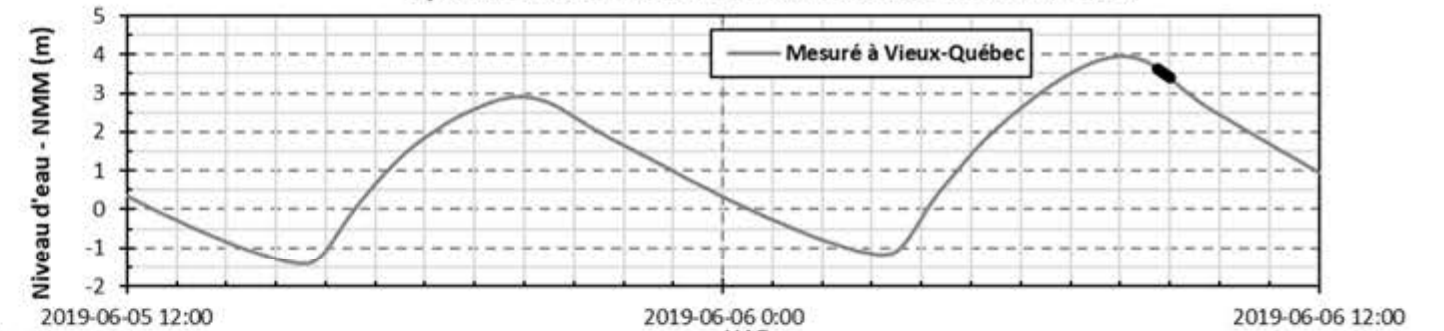
b) T2 - 8h59



c) T3 - 9h04



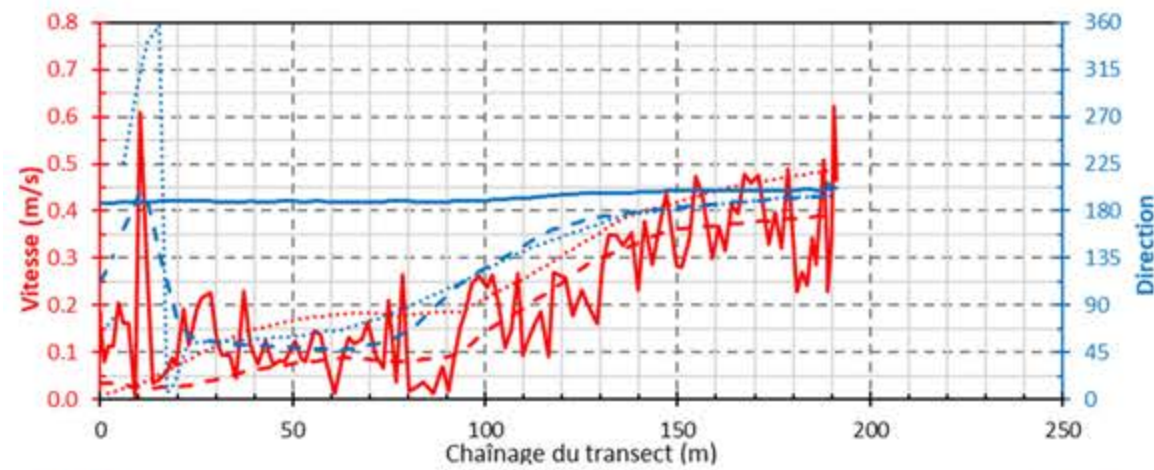
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



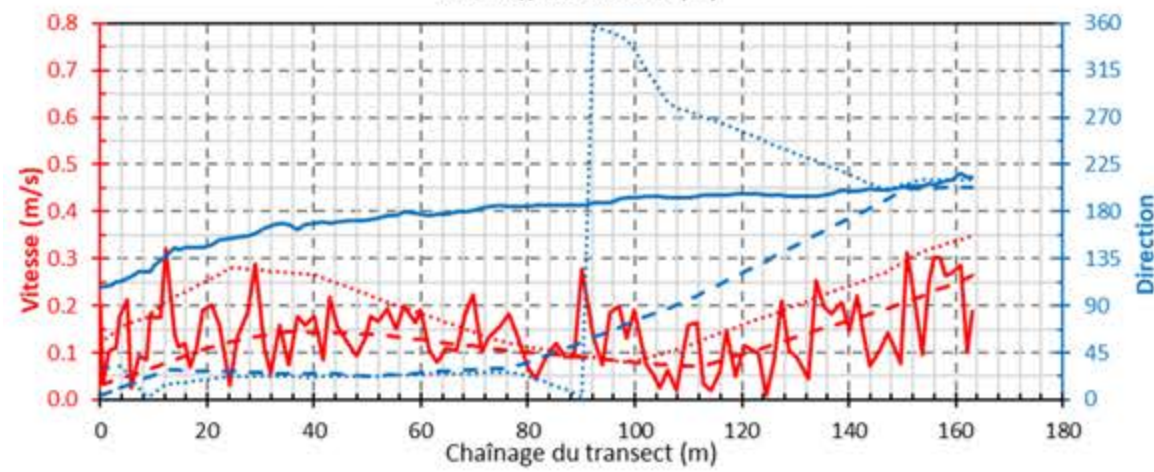
e) État de la marée

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
 — Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé Direction - Modèle étendu vers l'aval

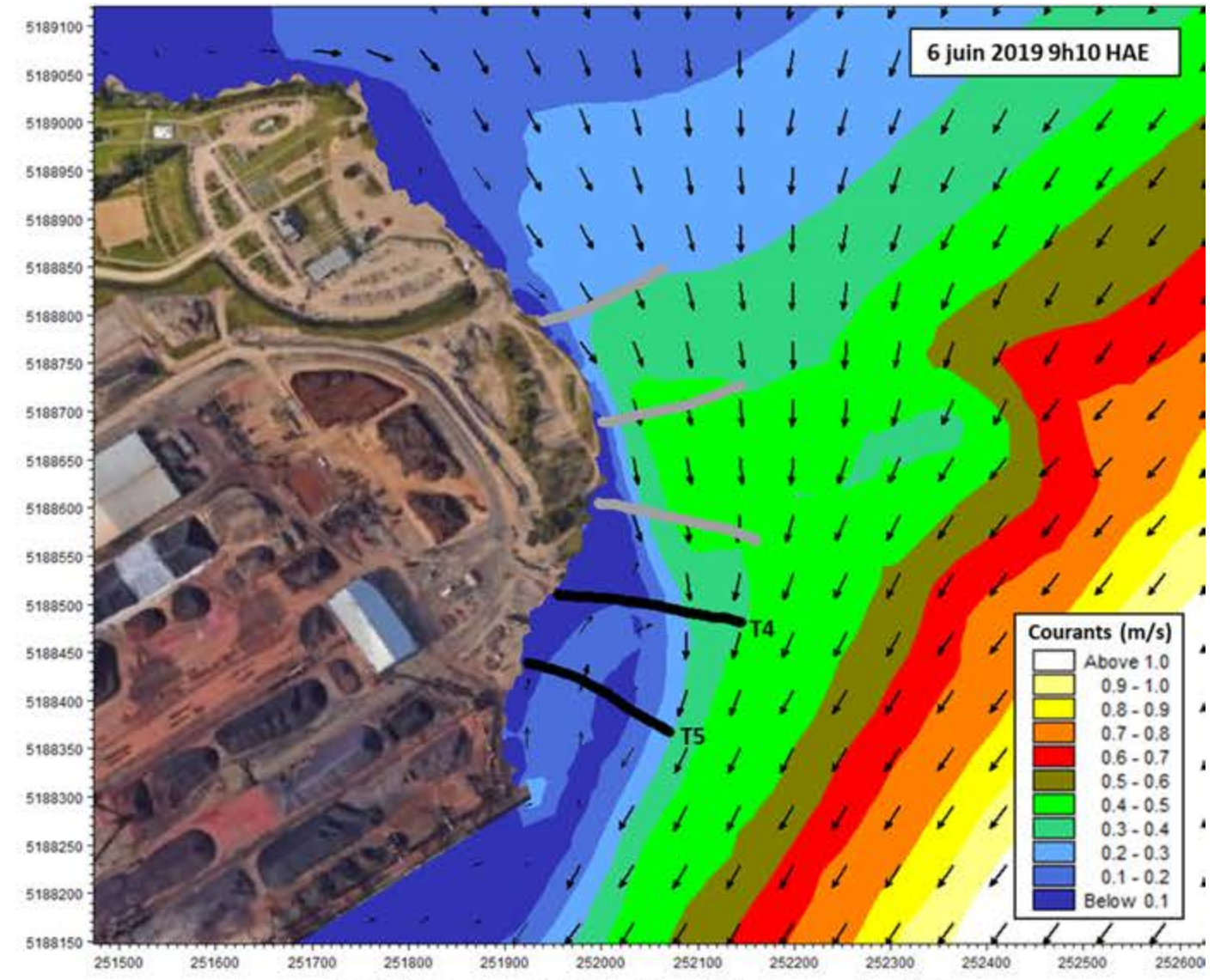
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants à la marée haute en vive-eau



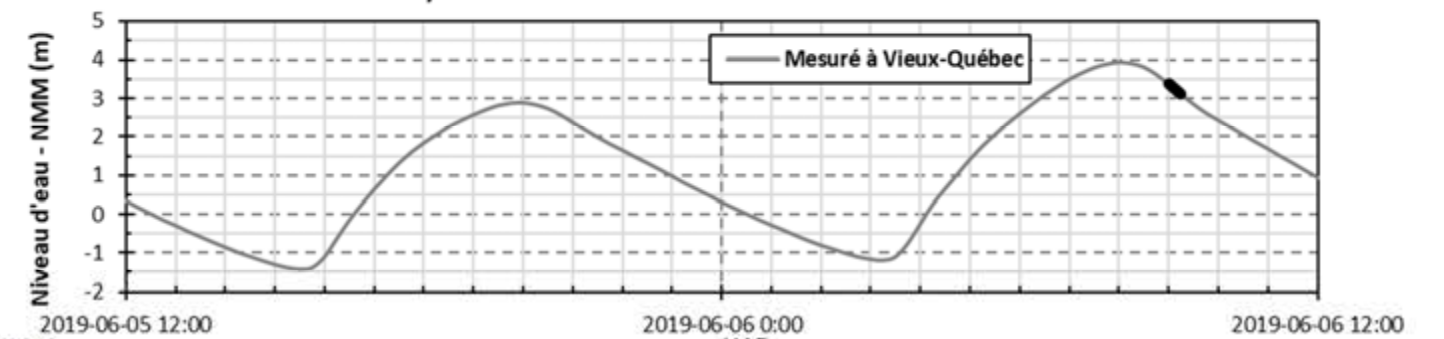
a) T4 - 9h11



b) T5 - 9h17



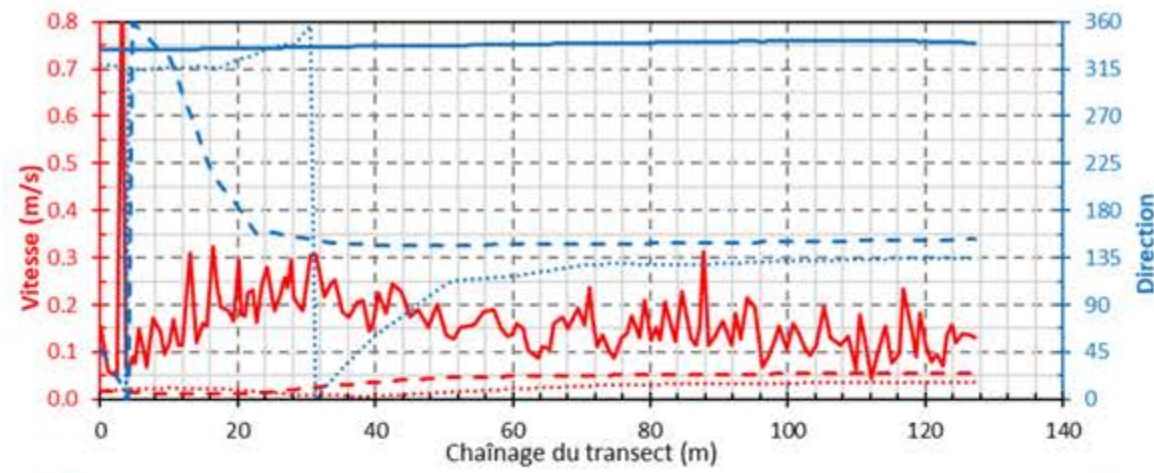
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



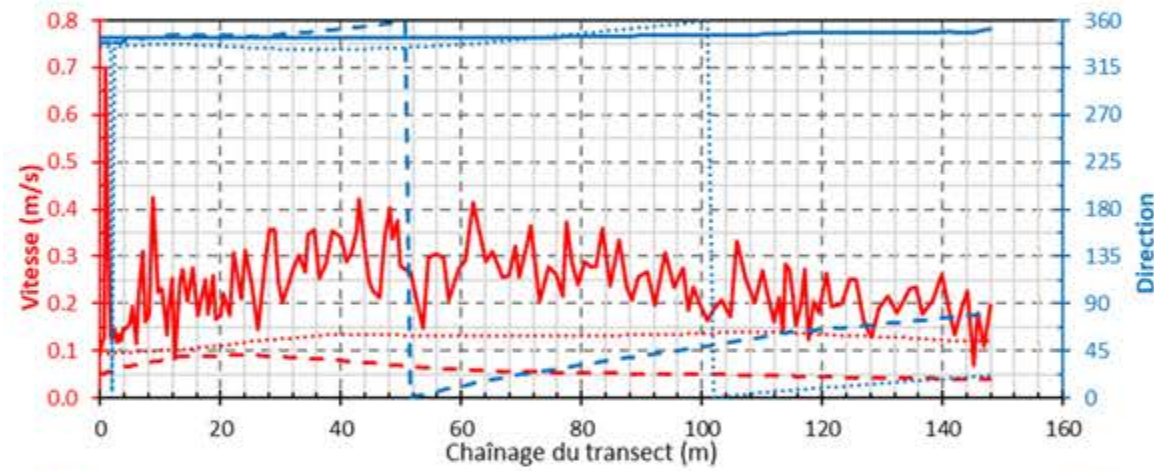
e) État de la marée

— Vitesse - Mesurée
 - - - Vitesse - Modèle révisé
 ⋯⋯⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée
 - - - Direction - Modèle révisé
 ⋯⋯⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

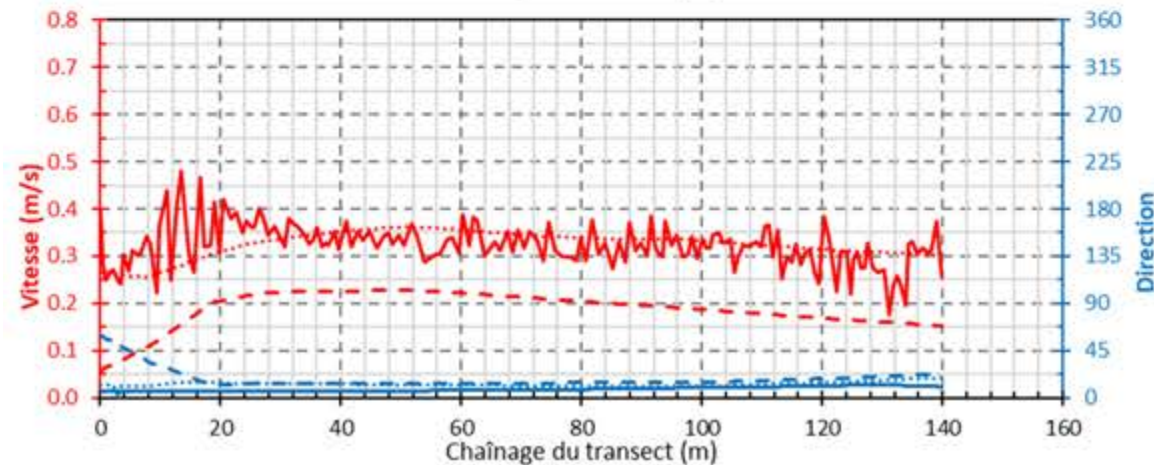
Validation des modèles – Début juin 2019 – Courants à la marée haute en vive-eau (suite)



a) T1 - 14h44

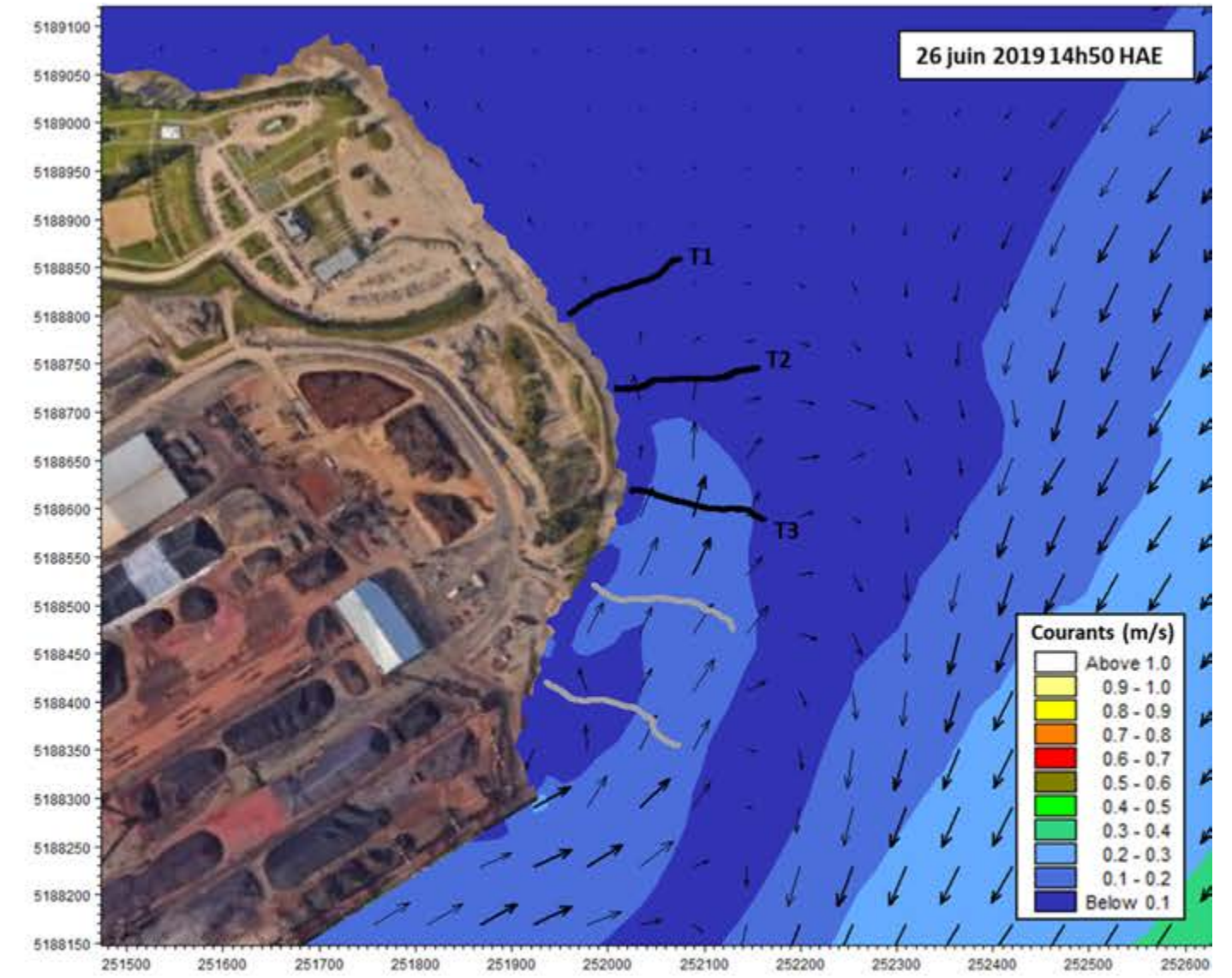


b) T2 - 14h52

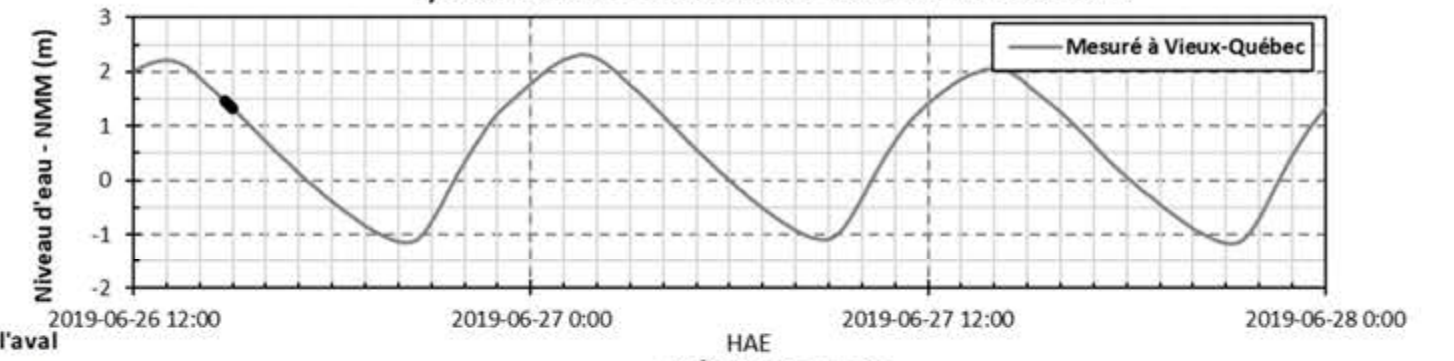


c) T2 - 15h01

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

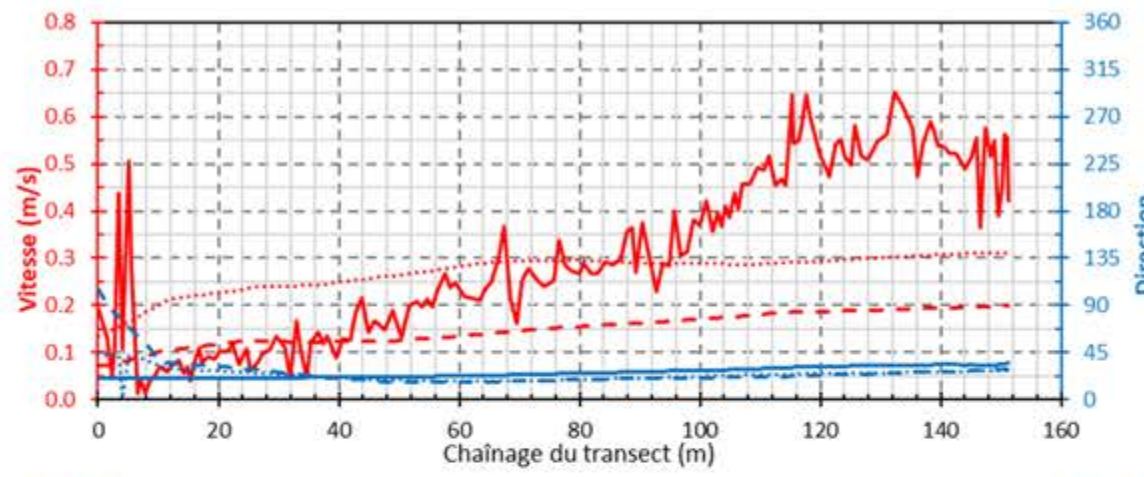


d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019

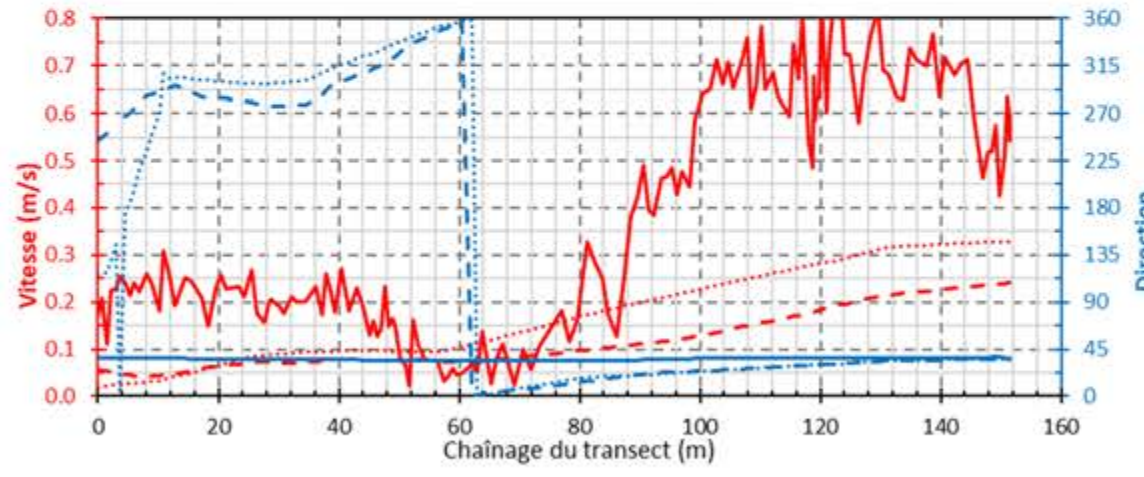


e) État de la marée

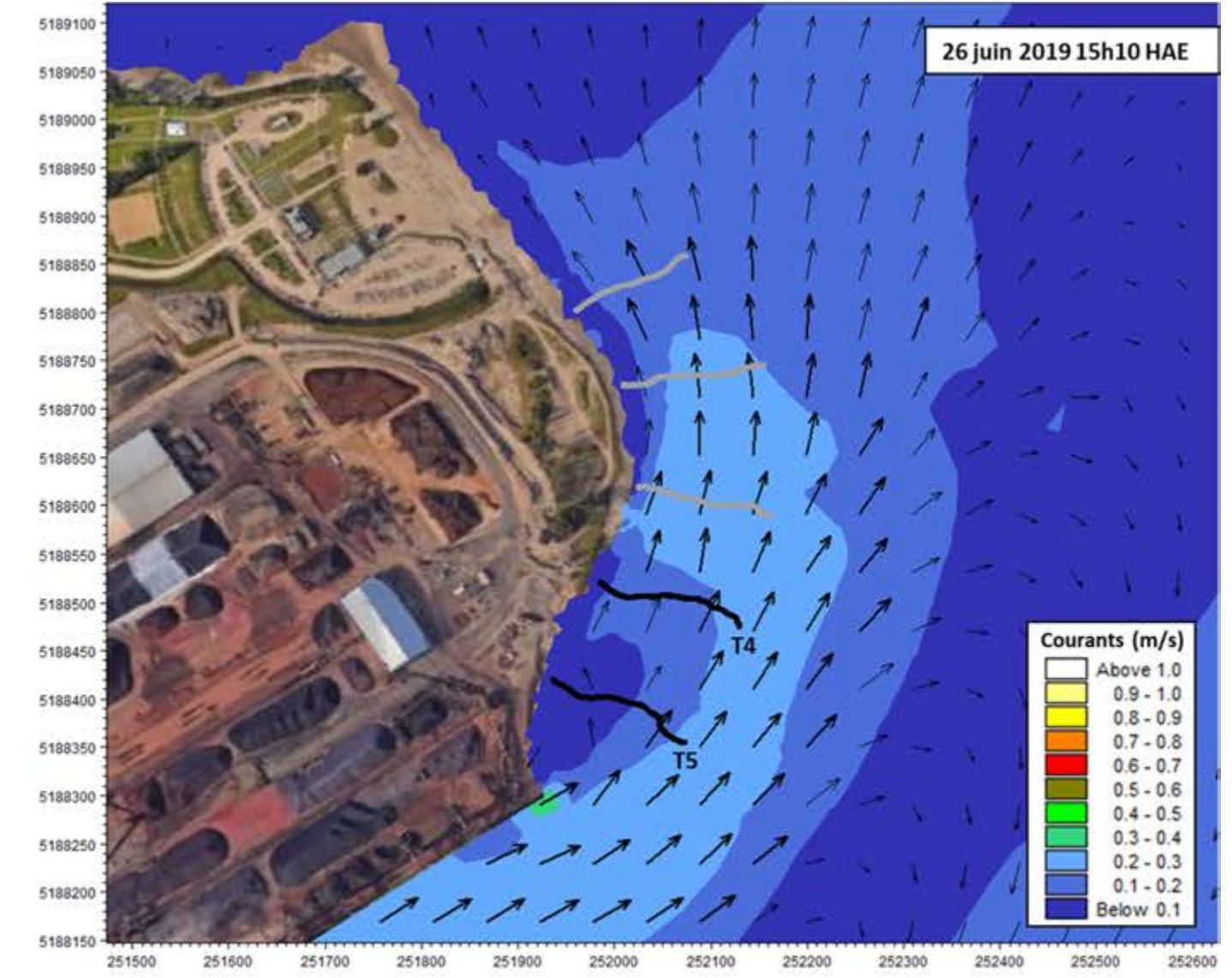
Validation des modèles – Fin juin 2019 – Courants à la marée haute en morte-eau



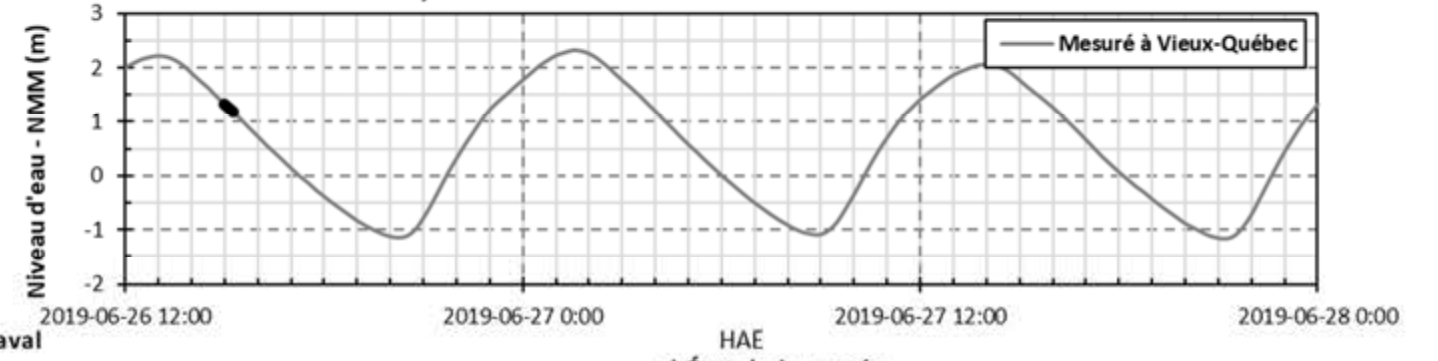
a) T4 - 15h08



b) T5 - 15h16



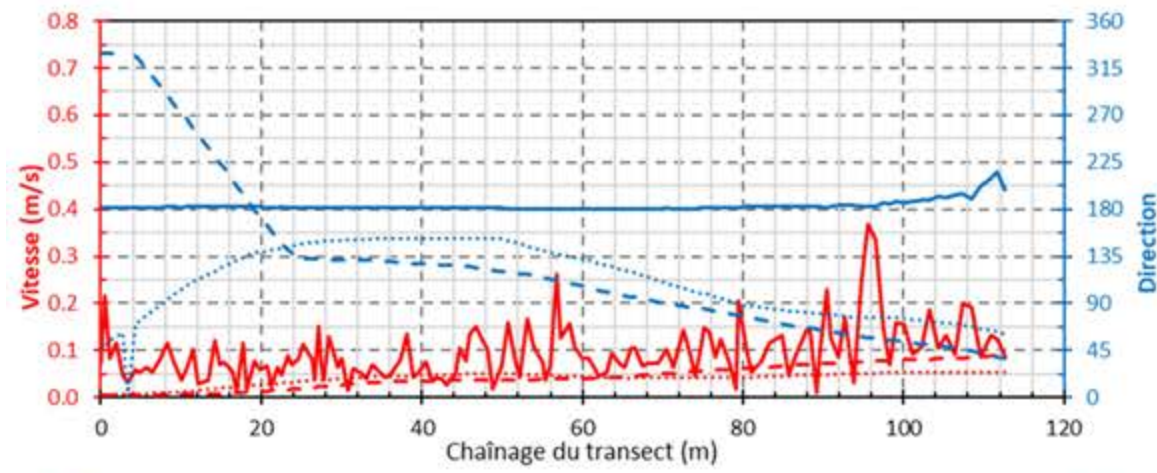
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



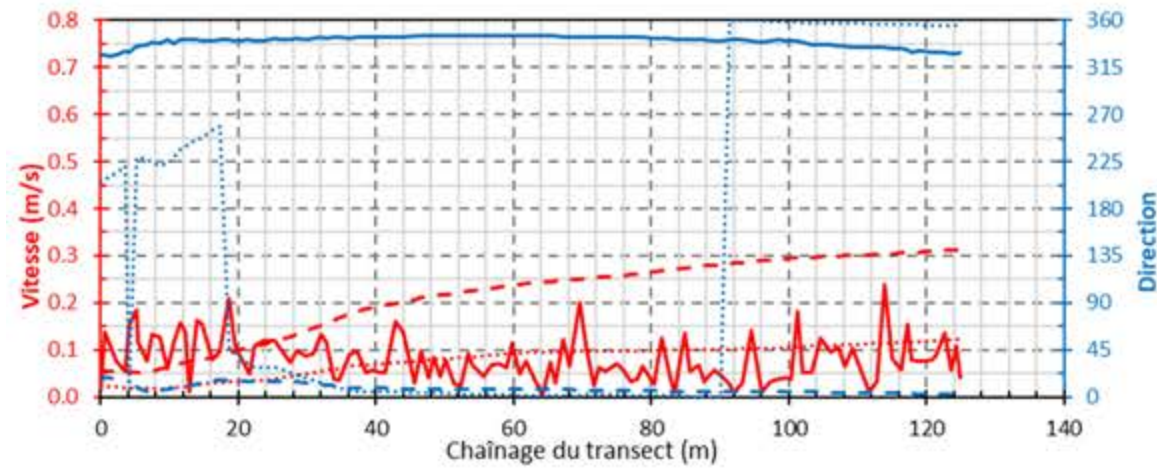
e) État de la marée

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval

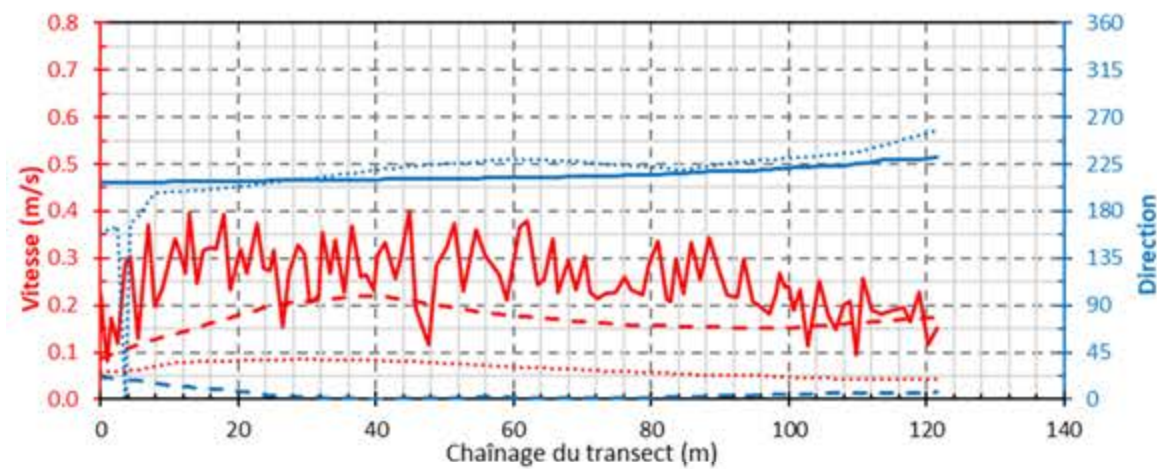
Validation des modèles – Fin juin 2019 – Courants à la marée haute en morte-eau (suite)



a) T1 - 17h18

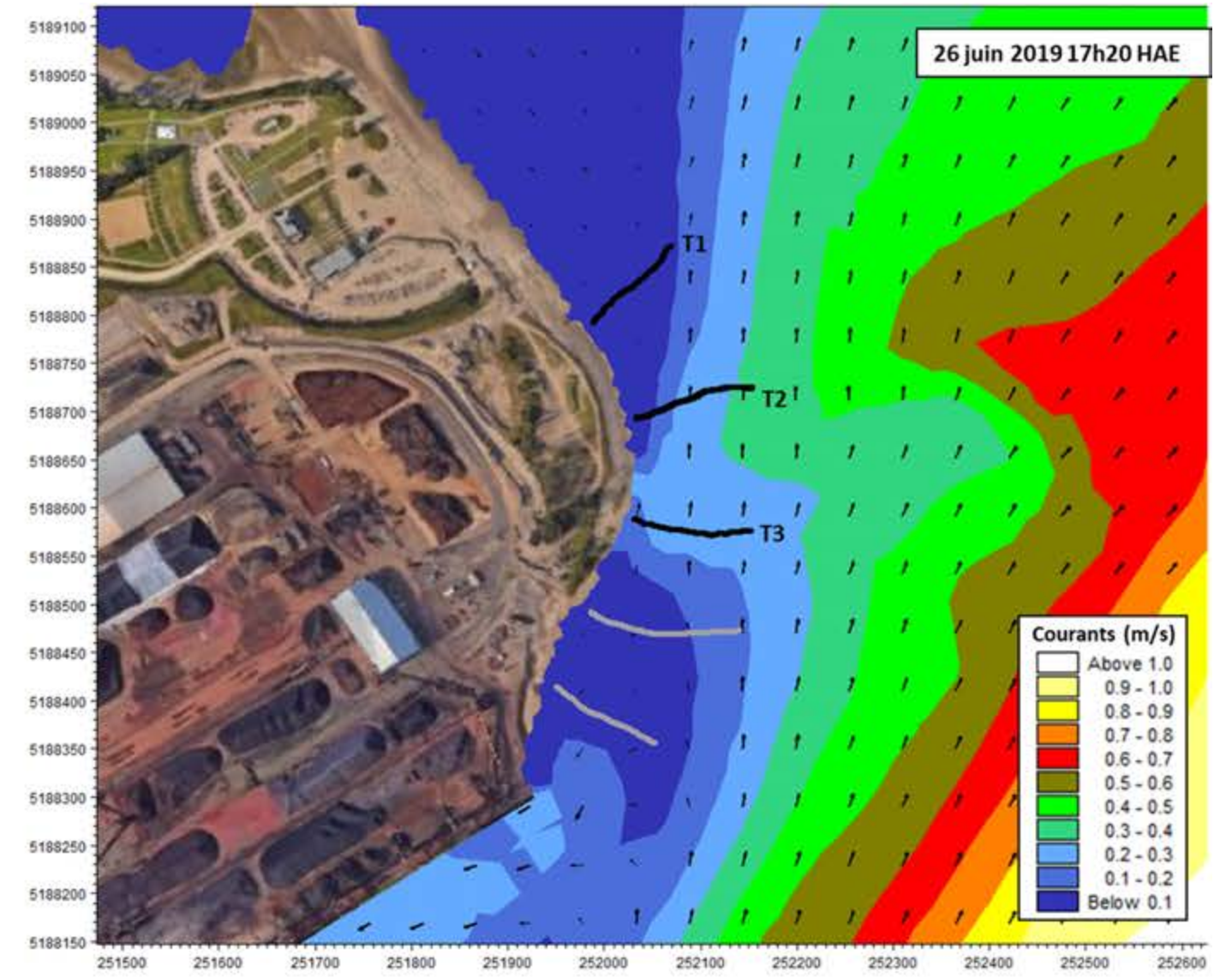


b) T2 - 17h24

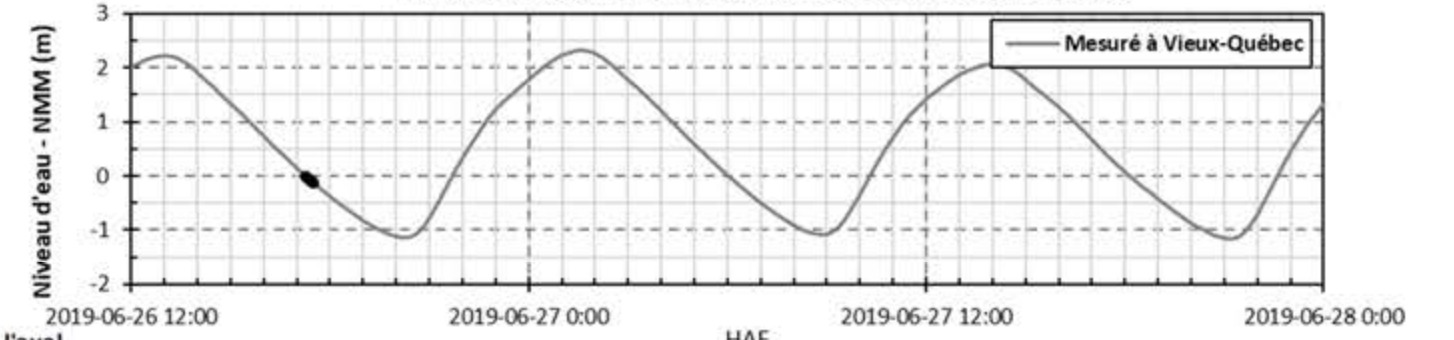


c) T3 - 17h30

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
 — Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé Direction - Modèle étendu vers l'aval

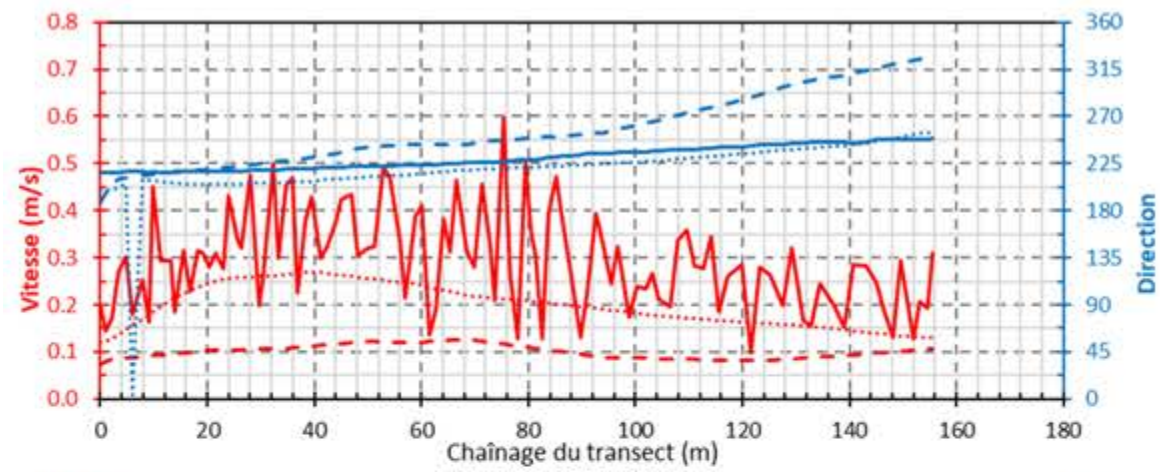


d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019

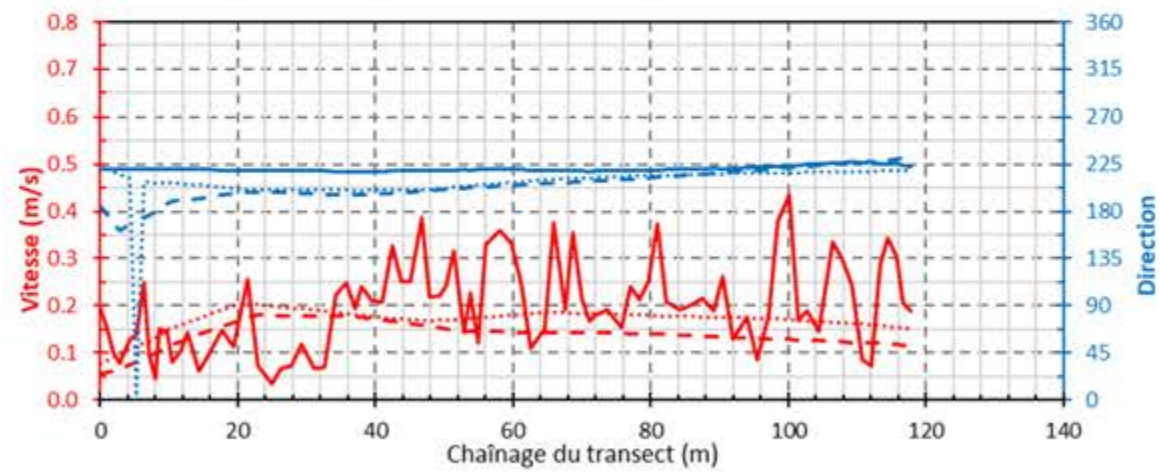


e) État de la marée

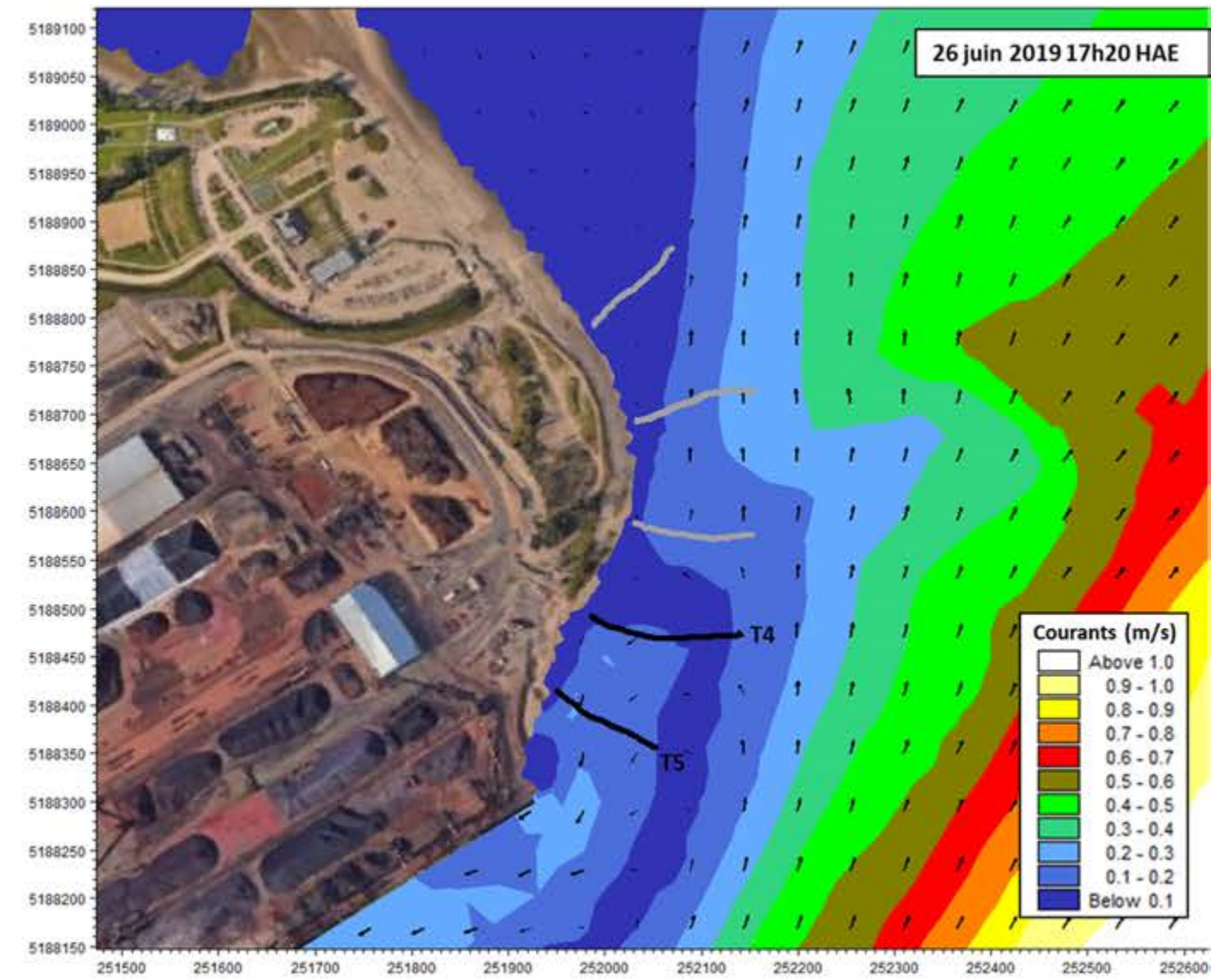
Validation des modèles – Fin juin 2019 – Courants au jusant en morte-eau



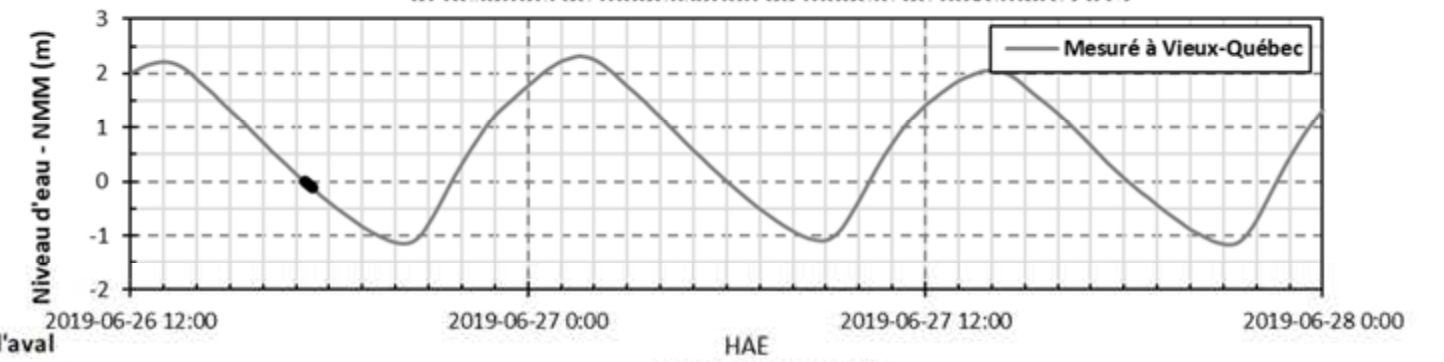
a) T4 - 17h36



b) T5 - 17h42



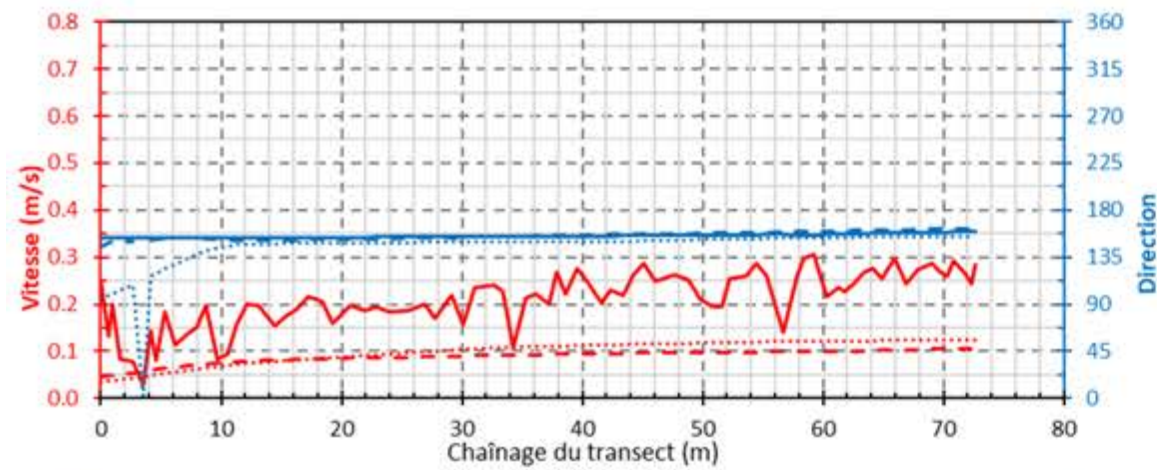
d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



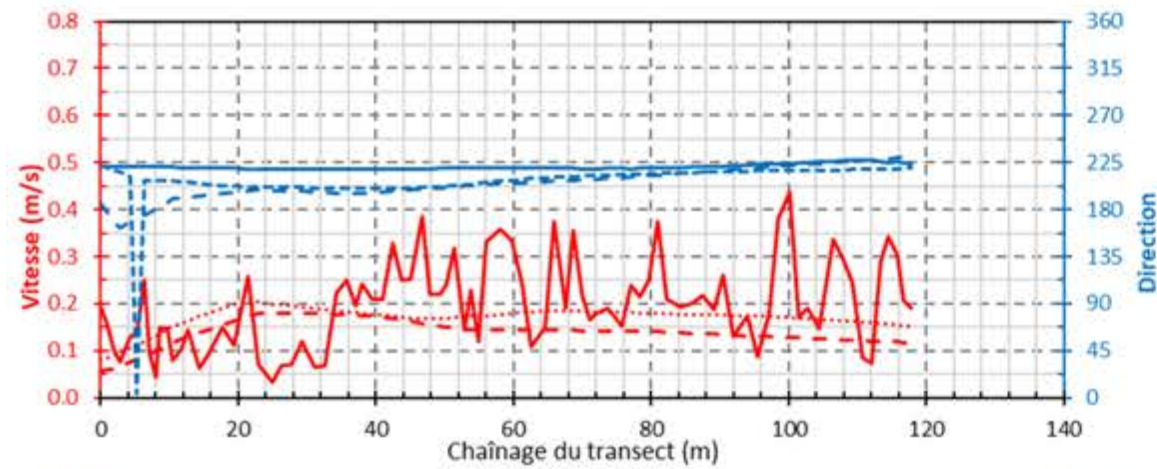
e) État de la marée

- Vitesse - Mesurée
- Vitesse - Modèle révisé
- Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
- Direction - Mesurée
- Direction - Modèle révisé
- Direction - Modèle étendu vers l'aval

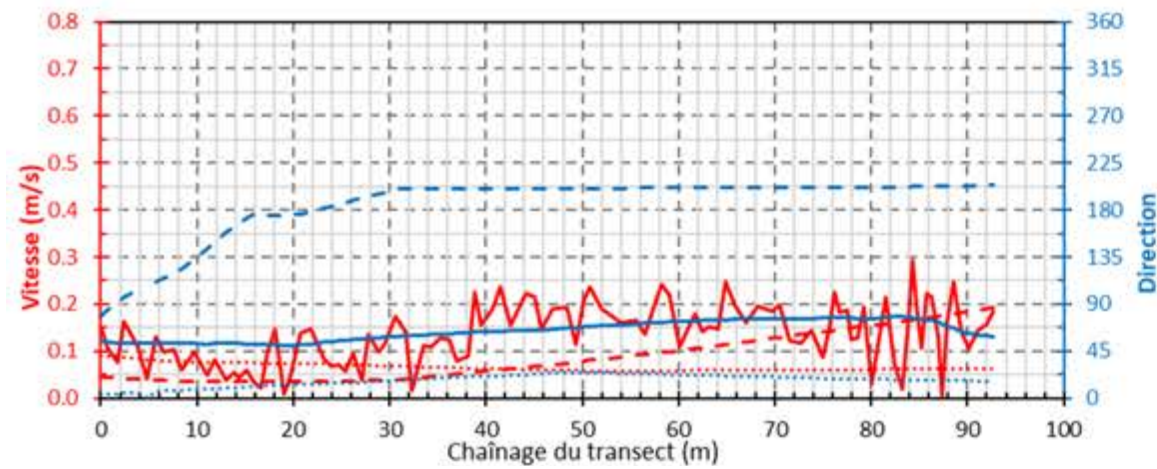
Validation des modèles – Fin juin 2019 – Courants au jusant en morte-eau (suite)



a) T1 - 8h57

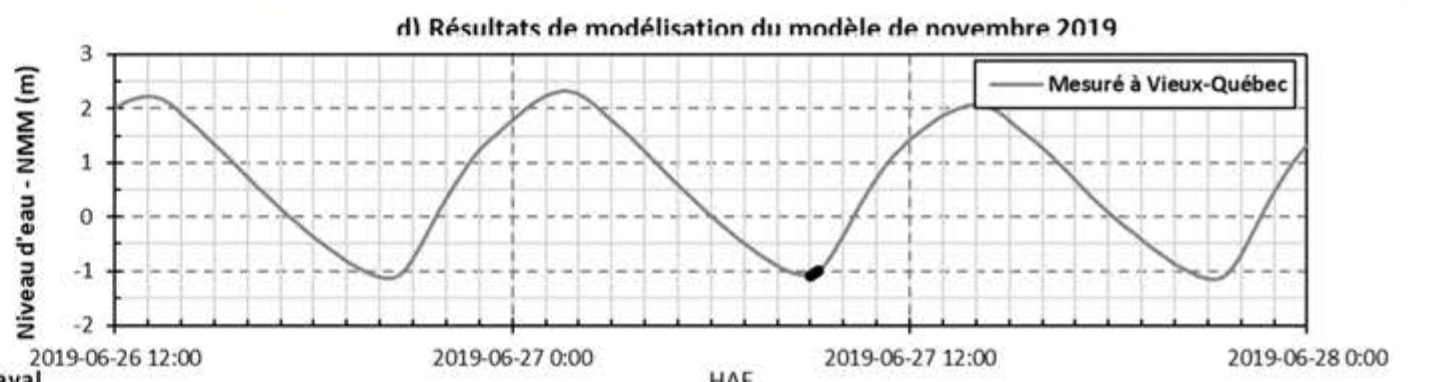
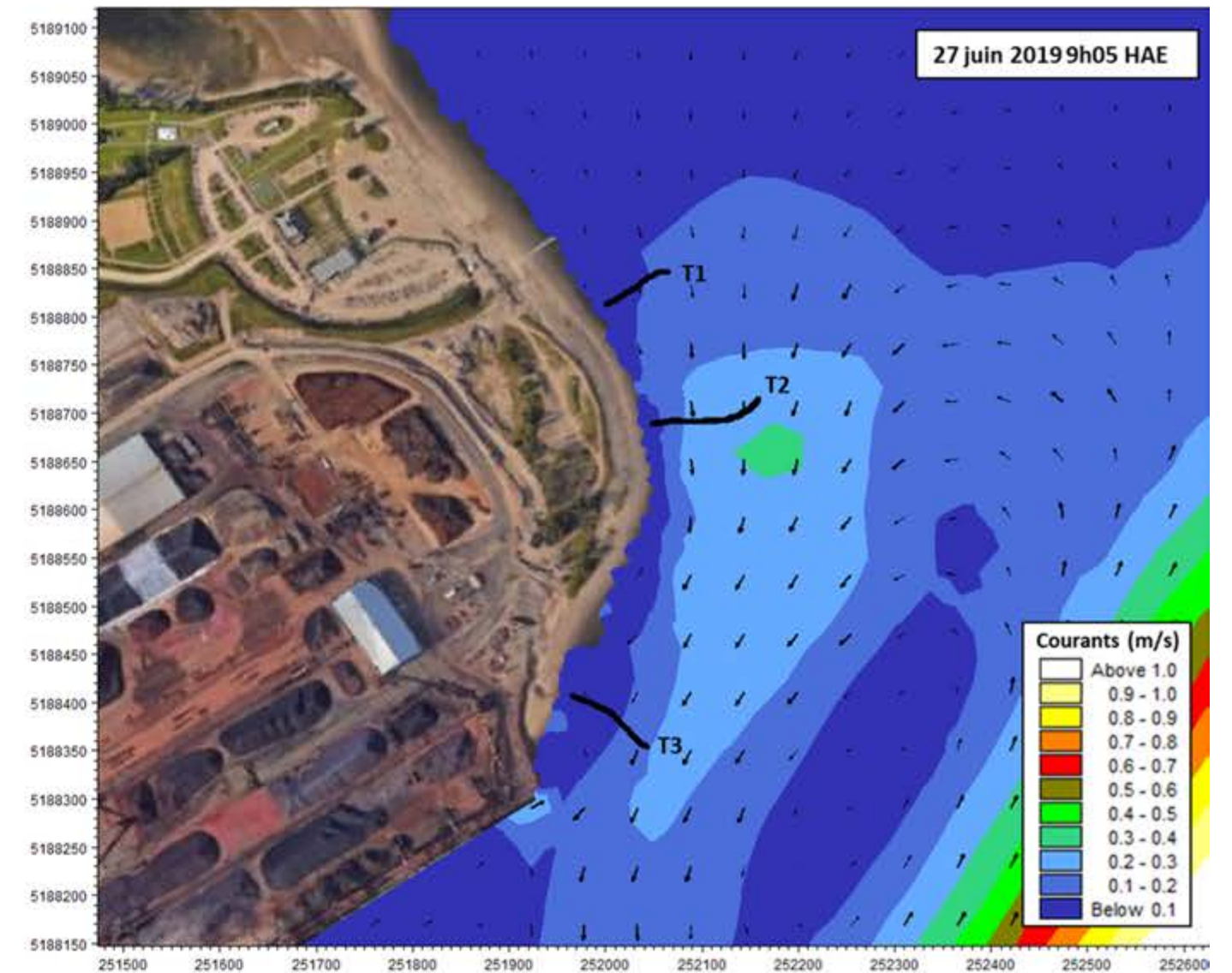


b) T2 - 9h03

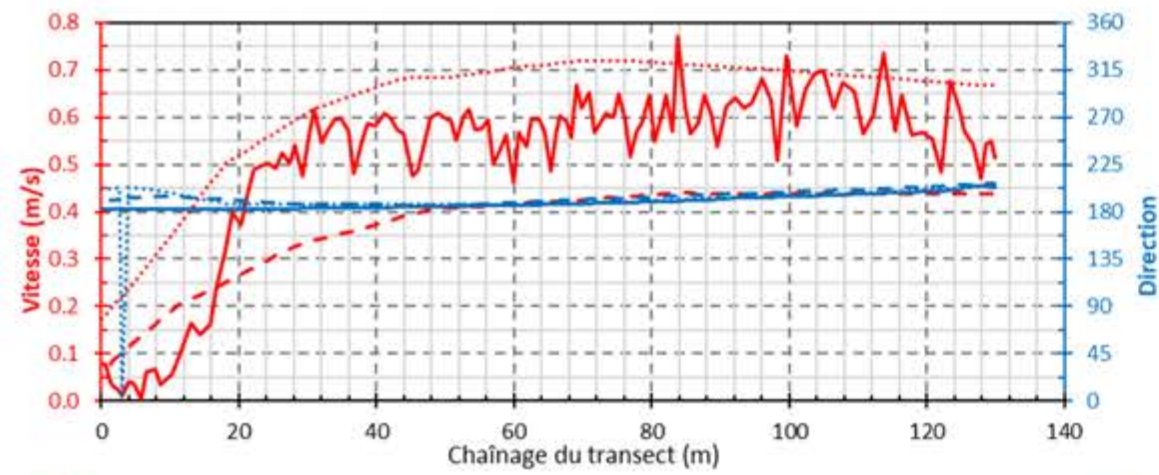


c) T5 - 9h21

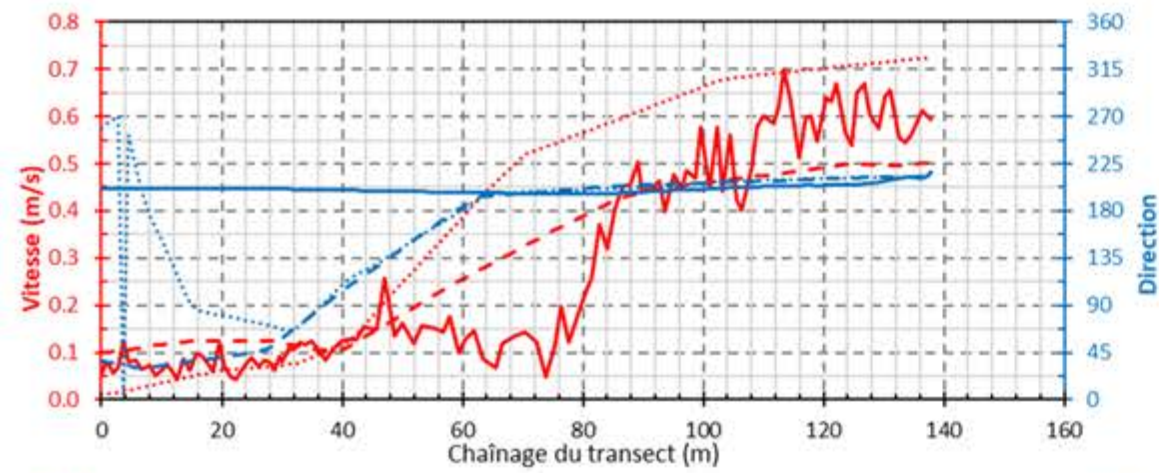
— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé ⋯ Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
— Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé ⋯ Direction - Modèle étendu vers l'aval



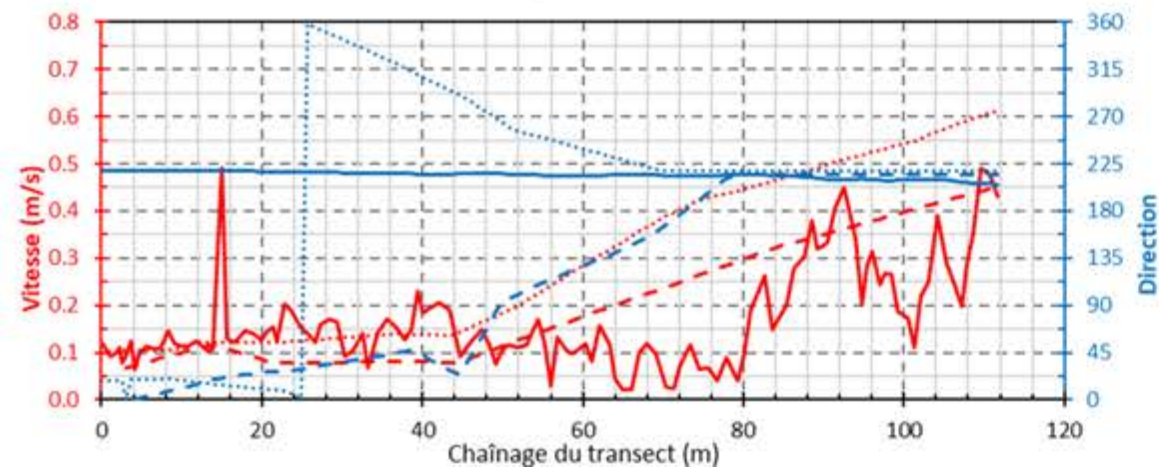
Validation des modèles – Fin juin 2019 – Courants à la marée basse en morte-eau



a) T3 - 12h02

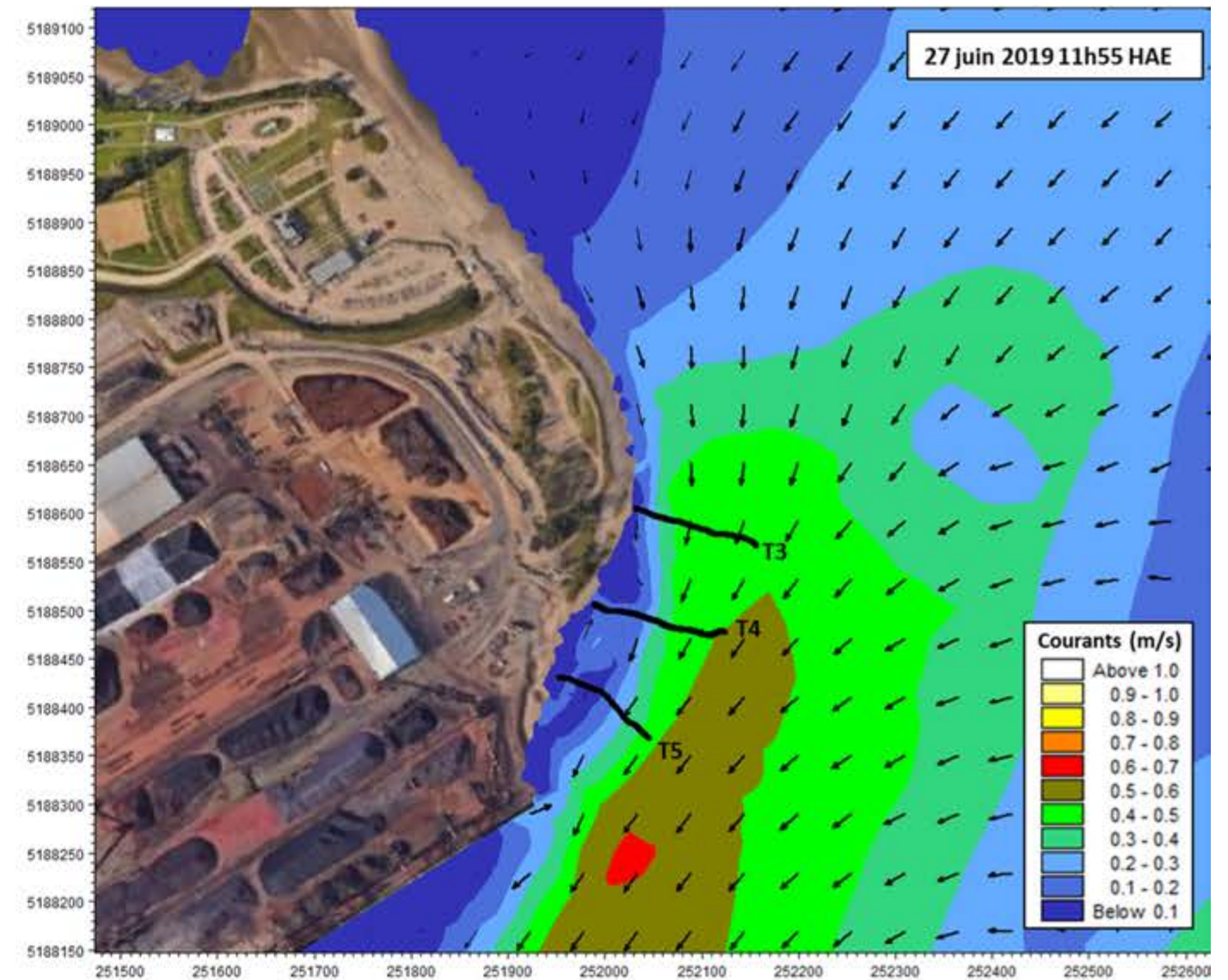


b) T4 - 11h56

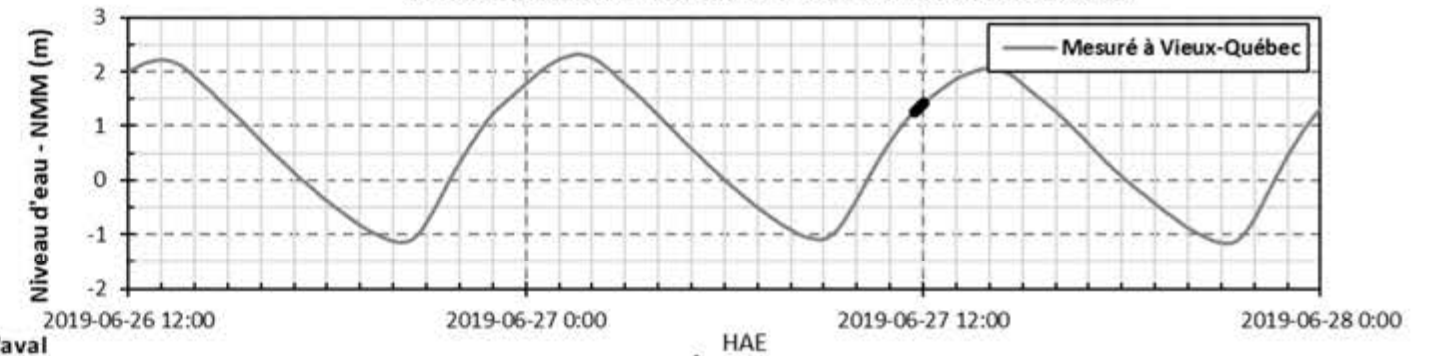


c) T5 - 11h50

— Vitesse - Mesurée - - - Vitesse - Modèle révisé Vitesse - Modèle étendu vers l'aval
 — Direction - Mesurée - - - Direction - Modèle révisé Direction - Modèle étendu vers l'aval



d) Résultats de modélisation du modèle de novembre 2019



e) État de la marée

Validation des modèles – Fin juin 2019 – Courants au flot en morte-eau

ANNEXE E : INFLUENCE DU DÉBIT DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

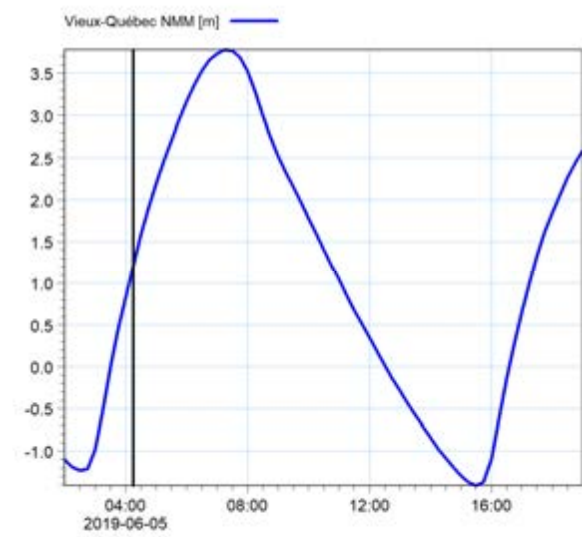
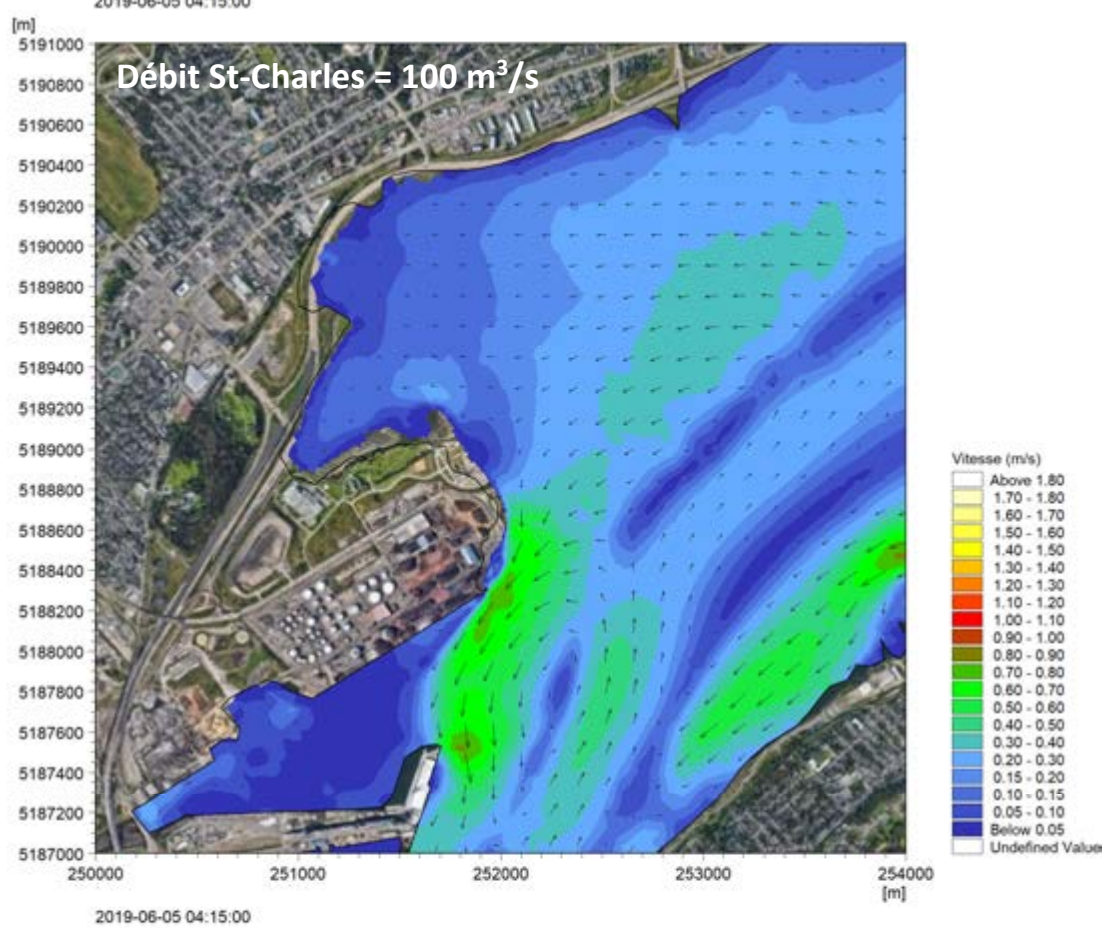
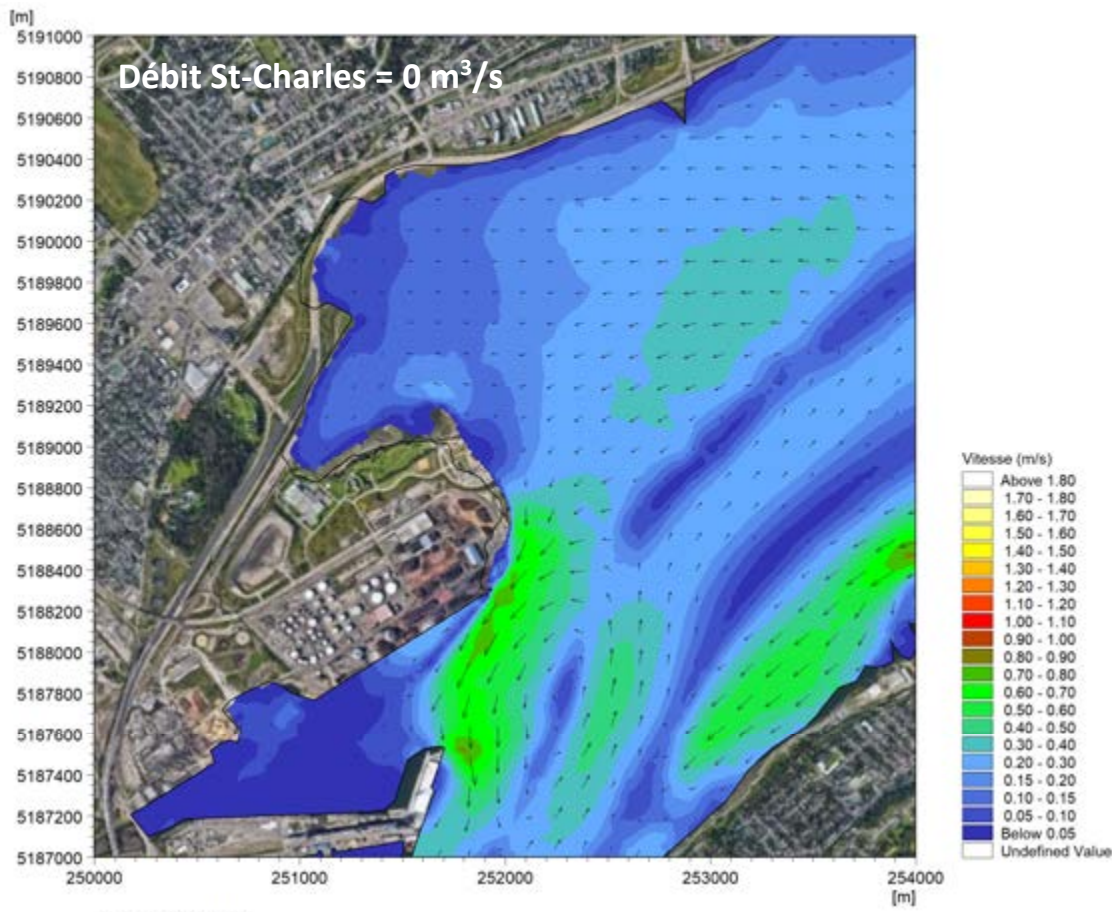


Figure E-1a : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Vive-eau

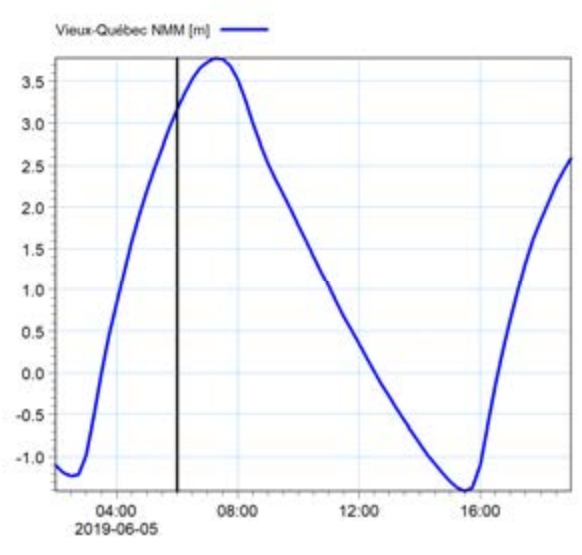
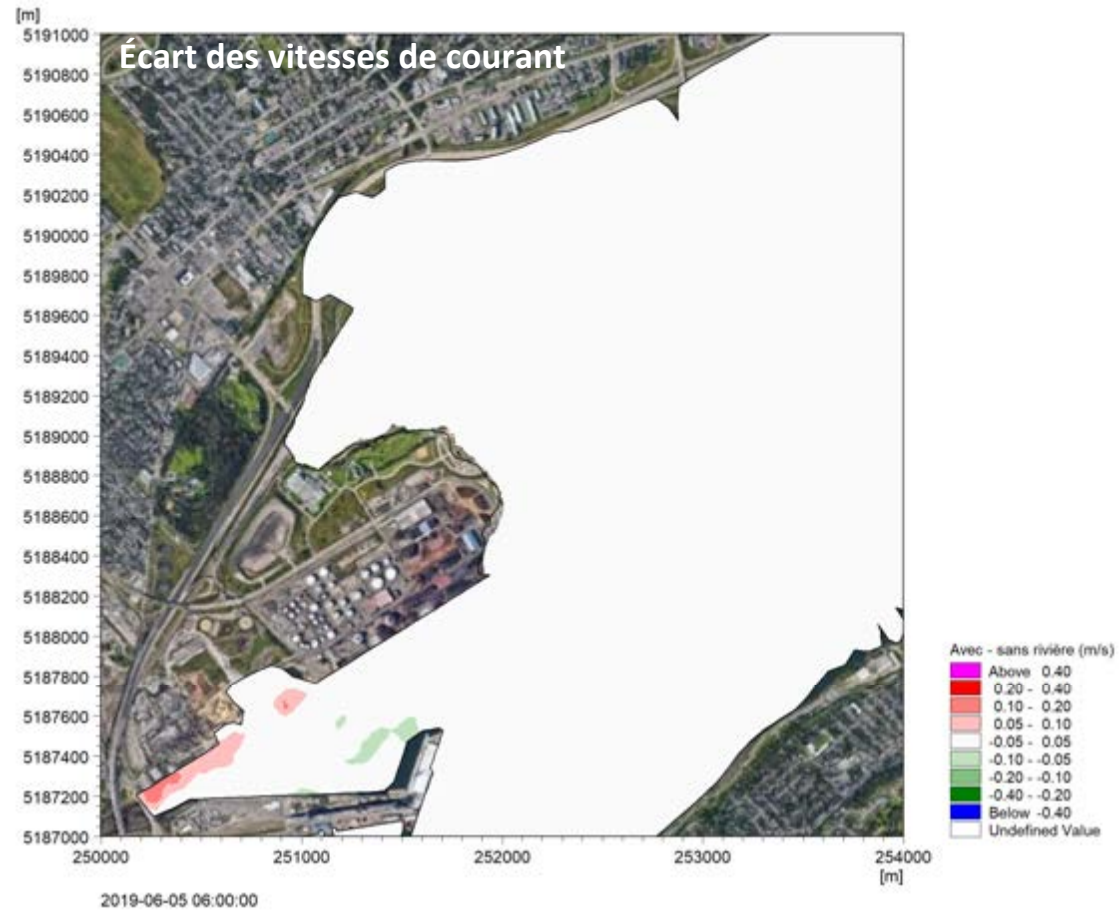
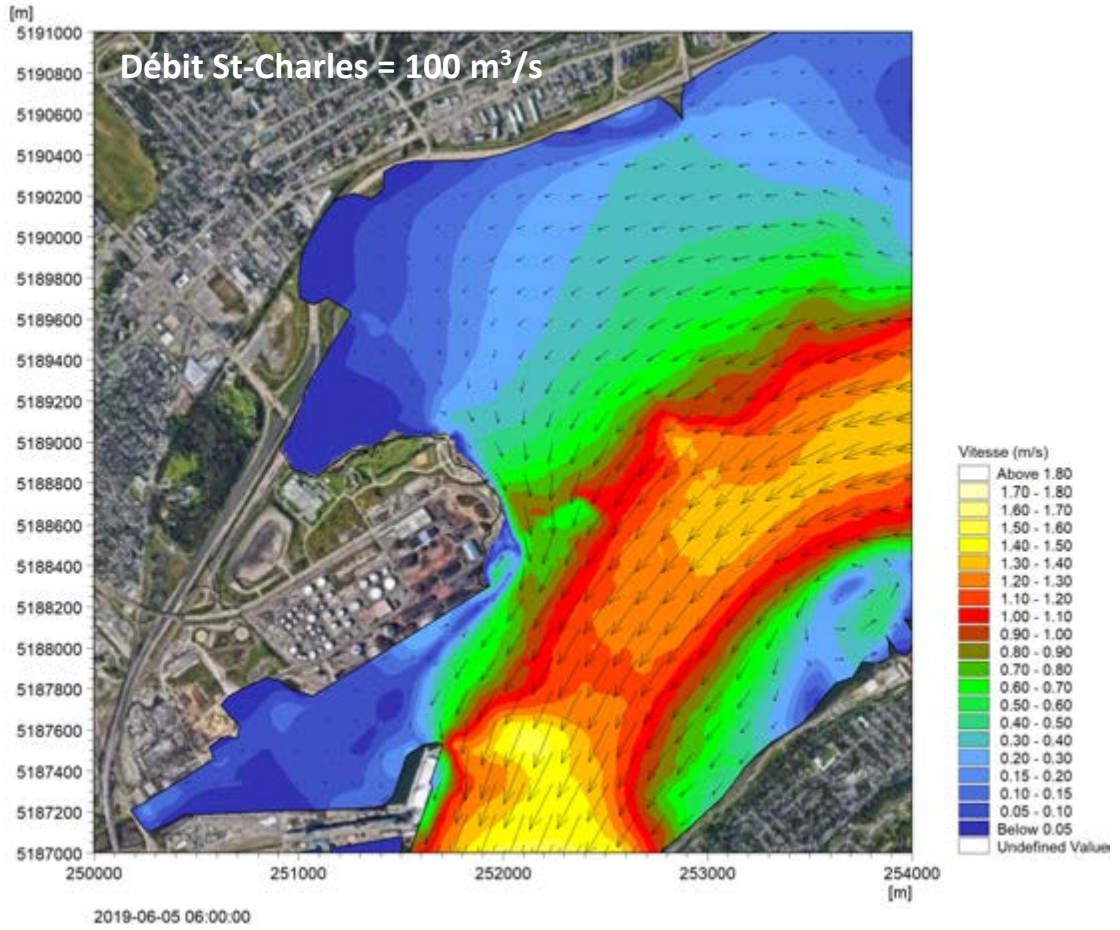
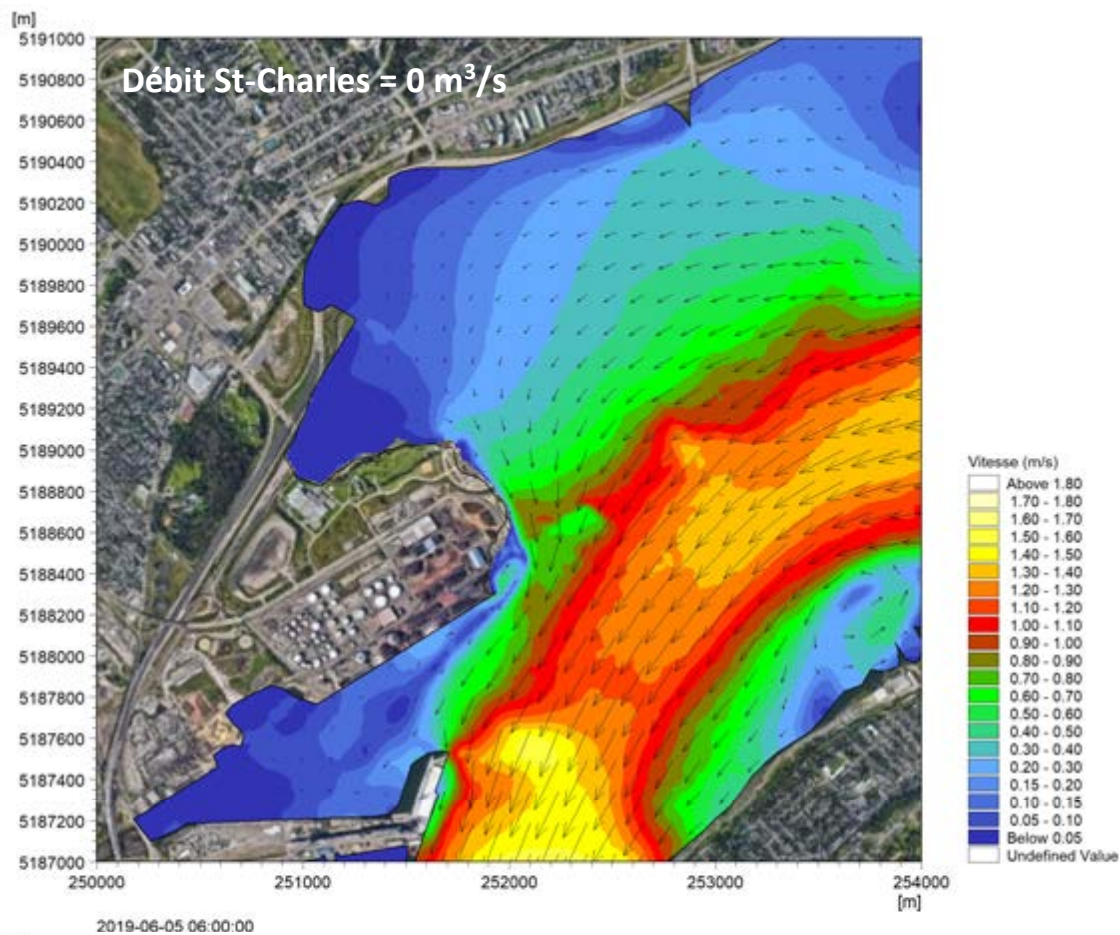


Figure E-1b : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Vive-eau (suite)

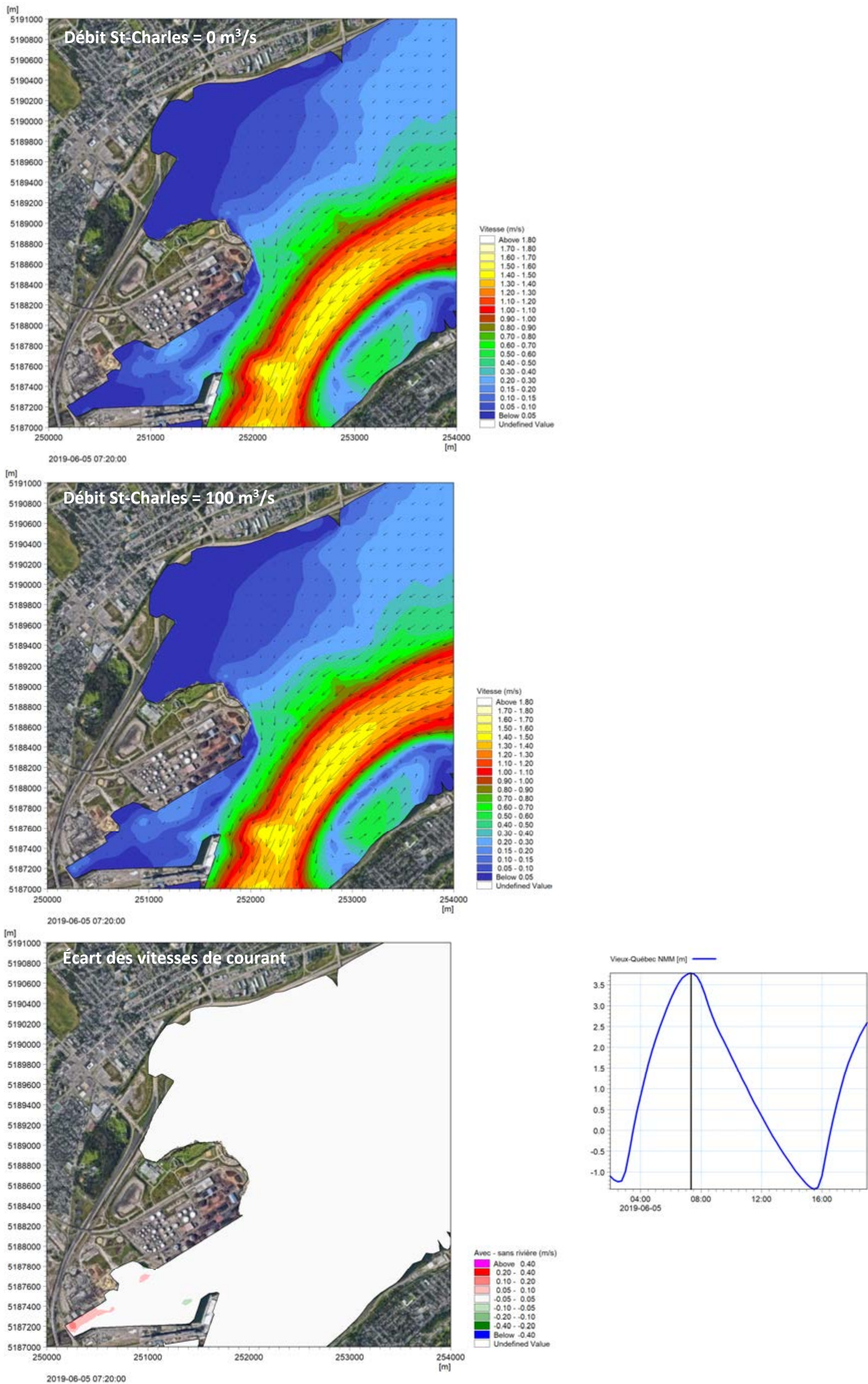


Figure E-1c : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Vive-eau (suite)

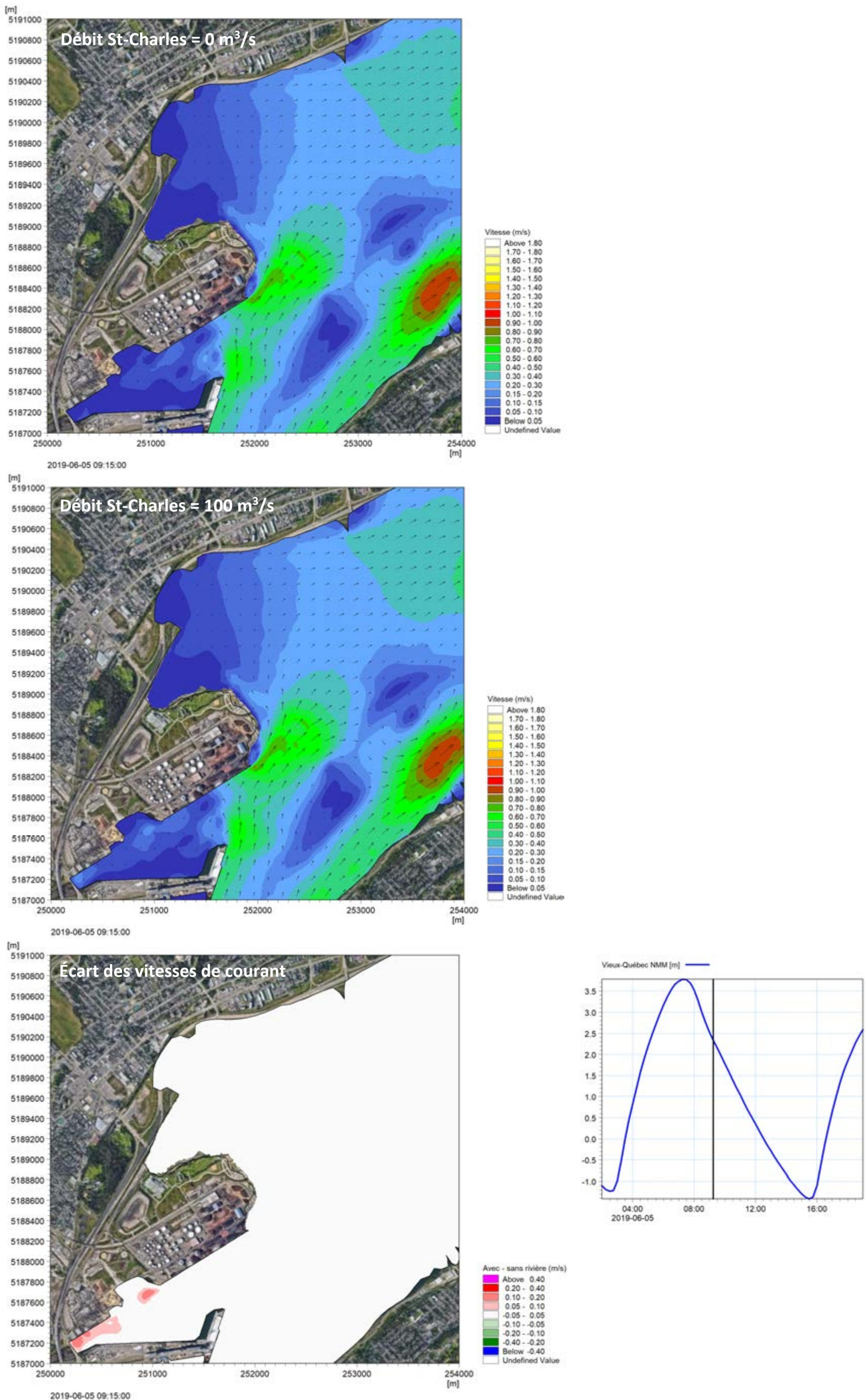


Figure E-1d : Influence du débit de la rivière Saint-Charles ($Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) – Vive-eau (suite)

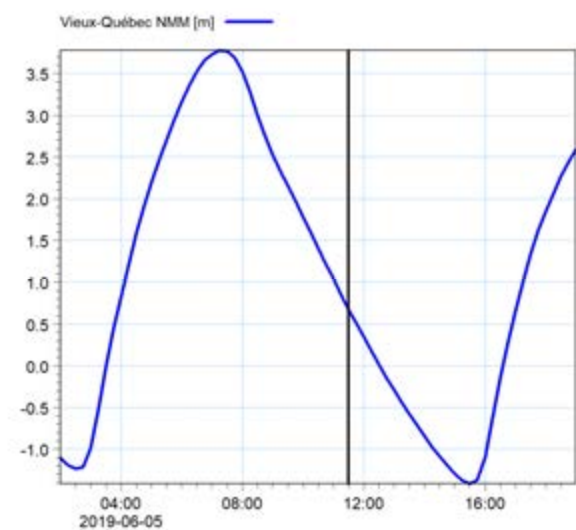
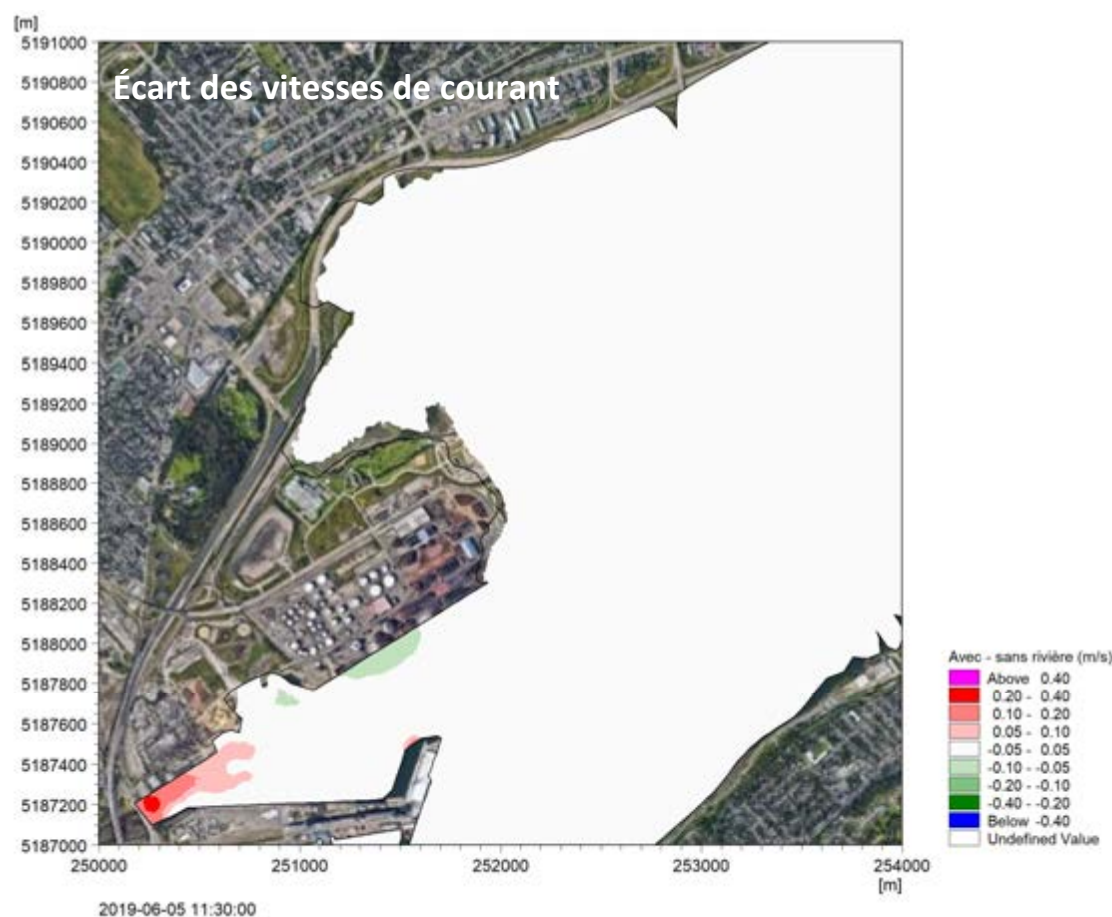
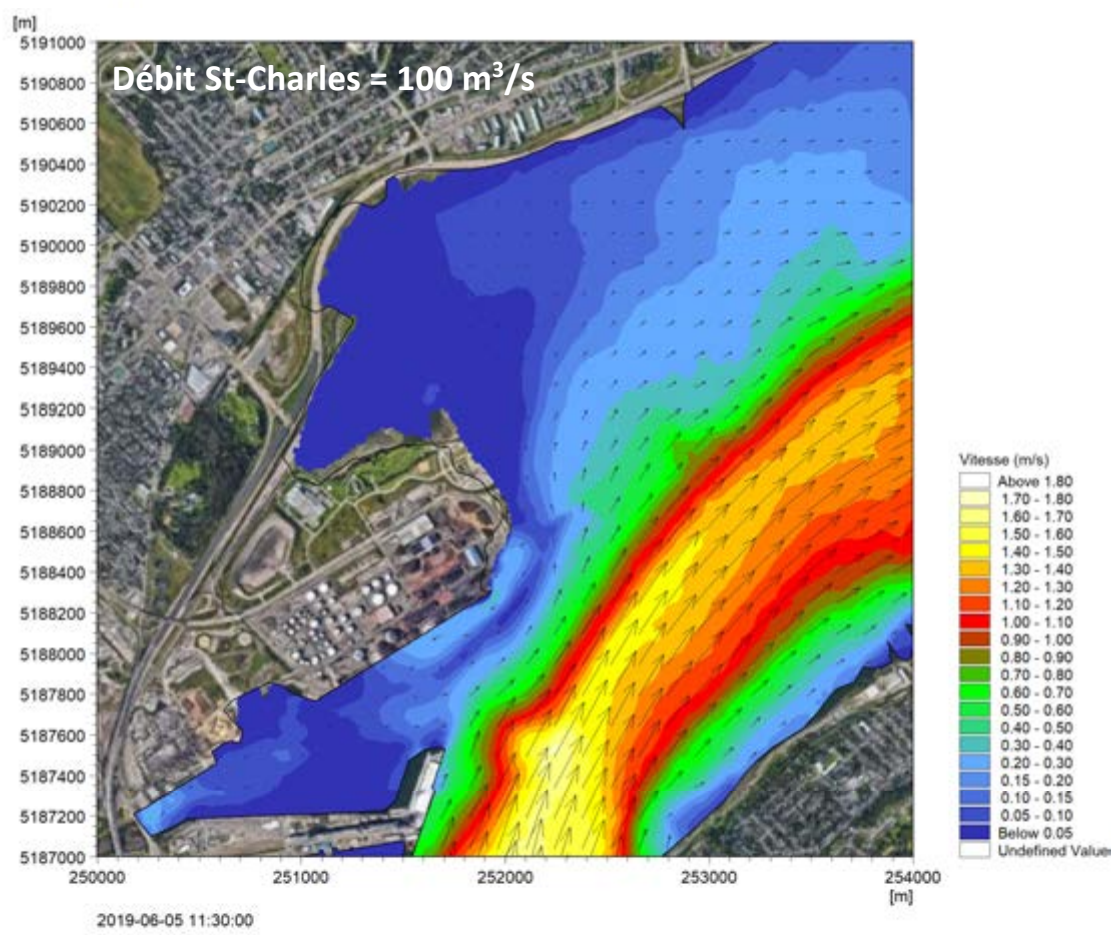
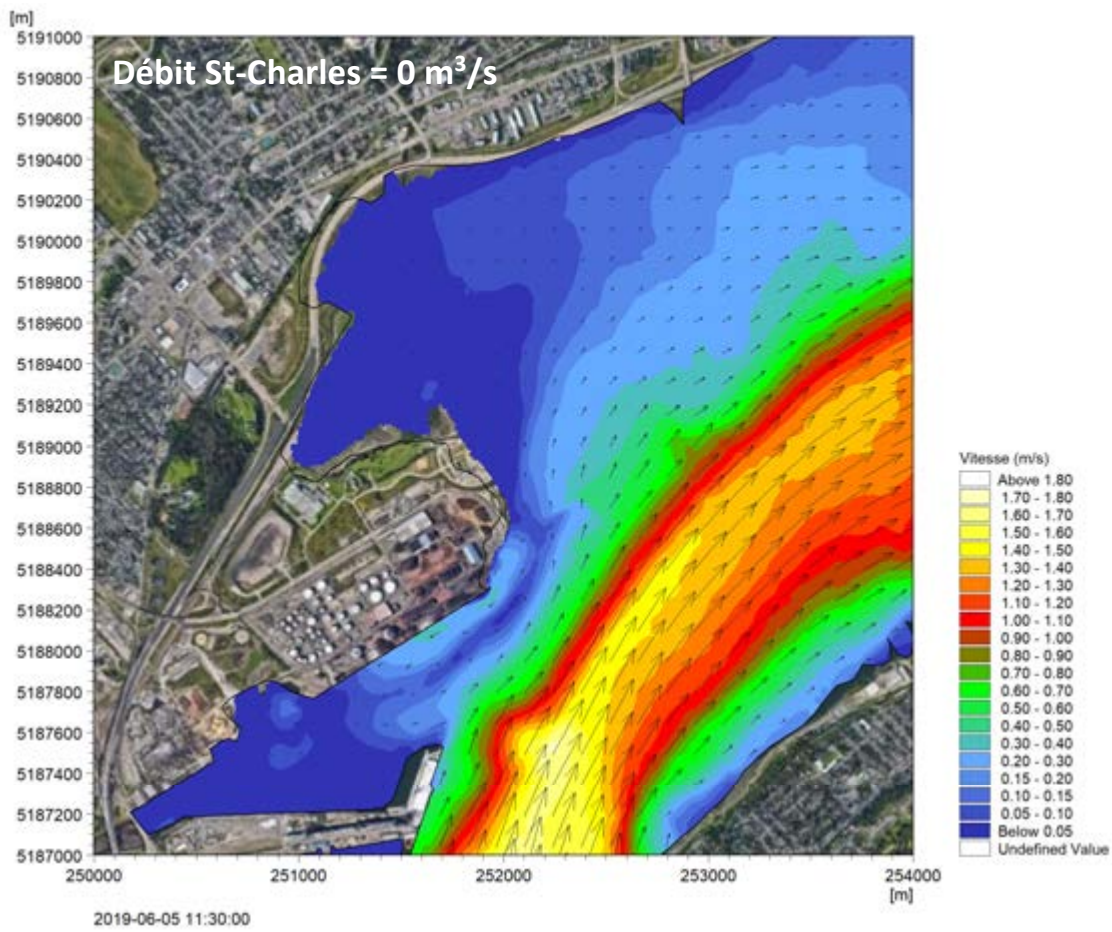


Figure E-1e : Influence du débit de la rivière Saint-Charles ($Q = 100 \text{ m}^3/\text{s}$) – Vive-eau (suite)

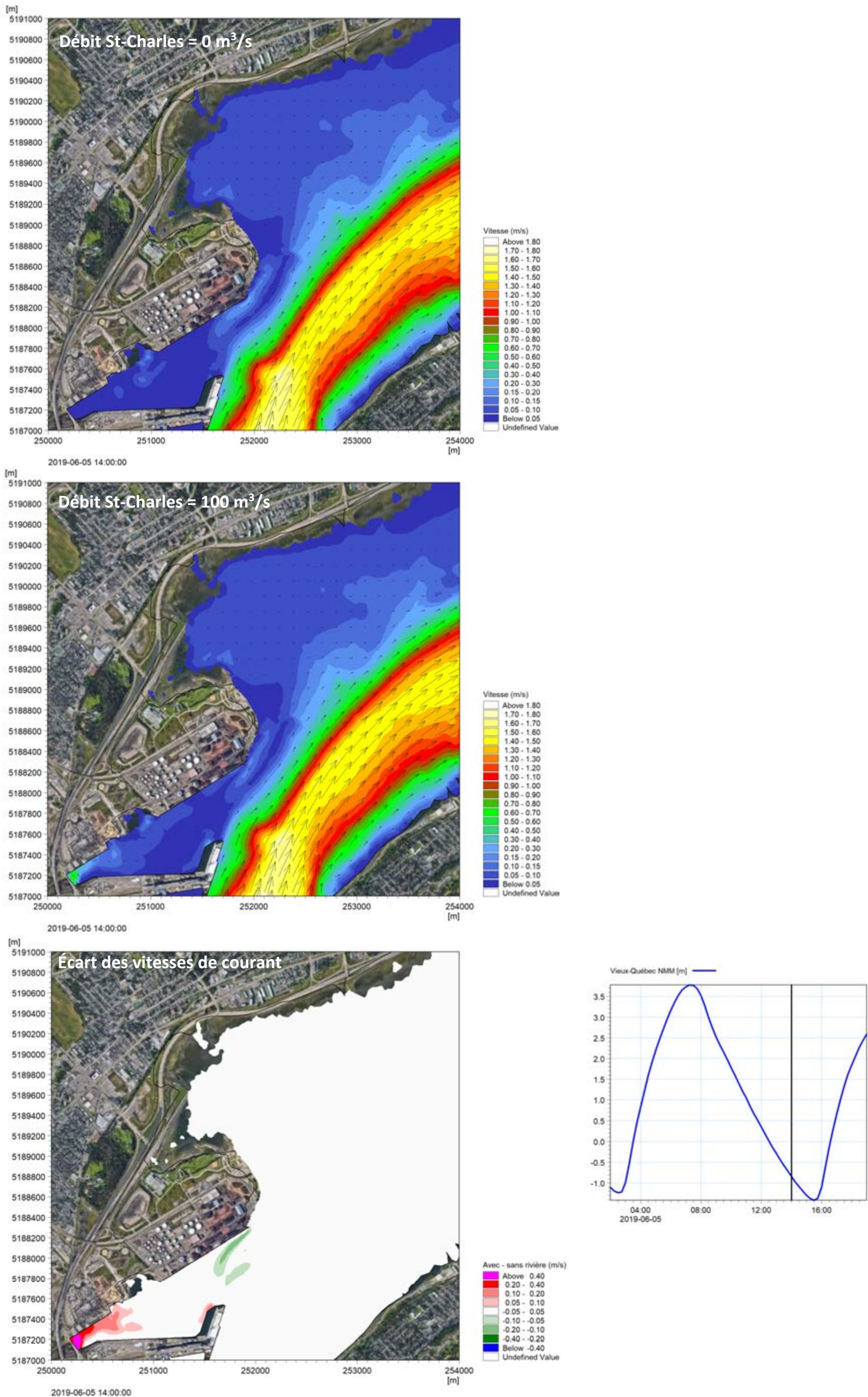


Figure E-1f : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Vive-eau (suite)

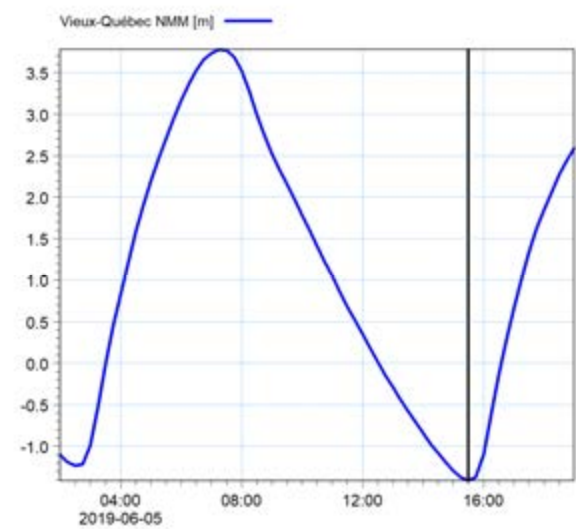
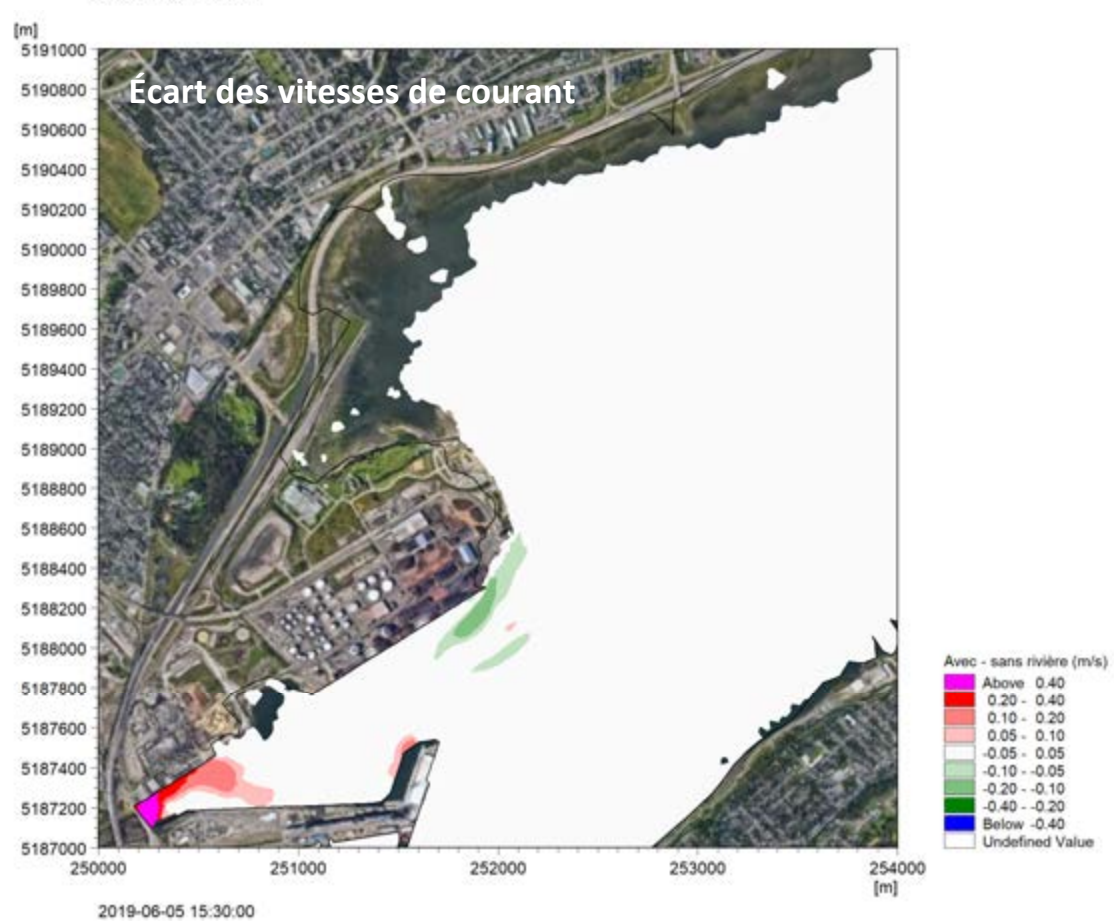
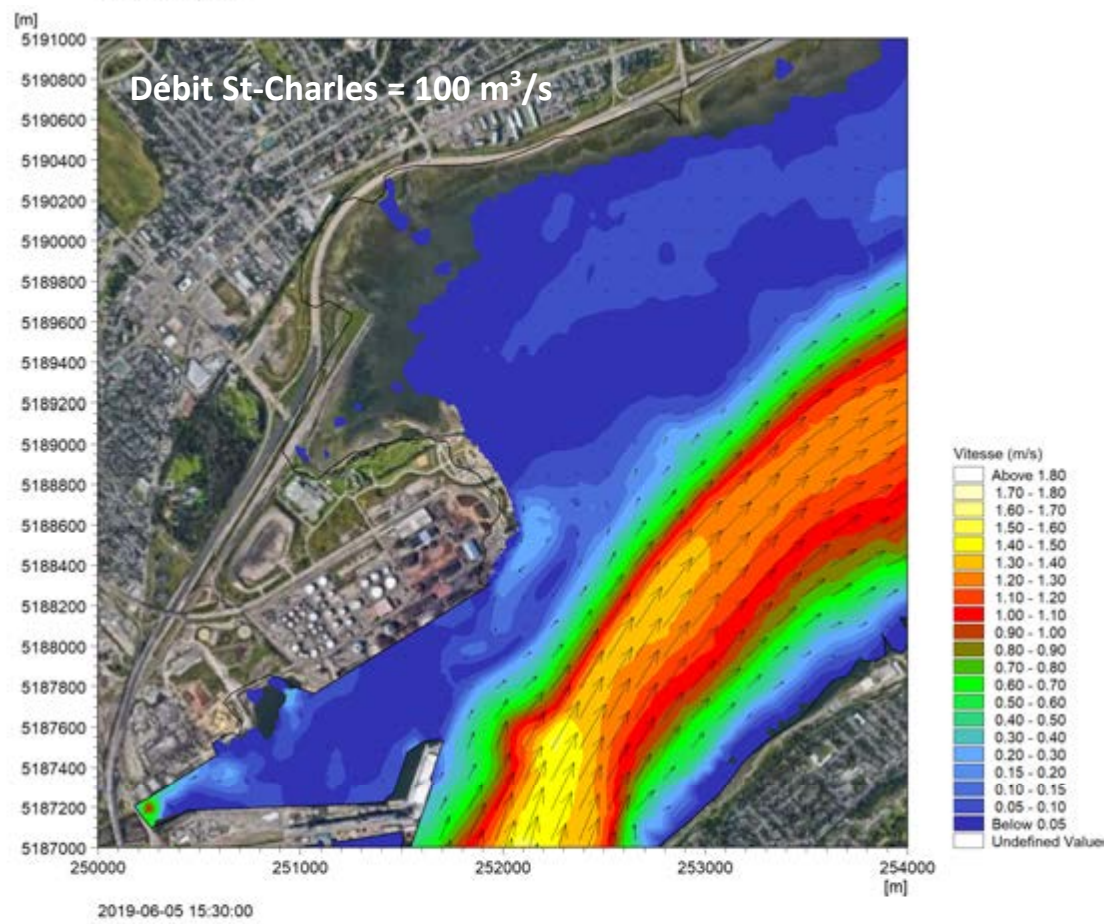
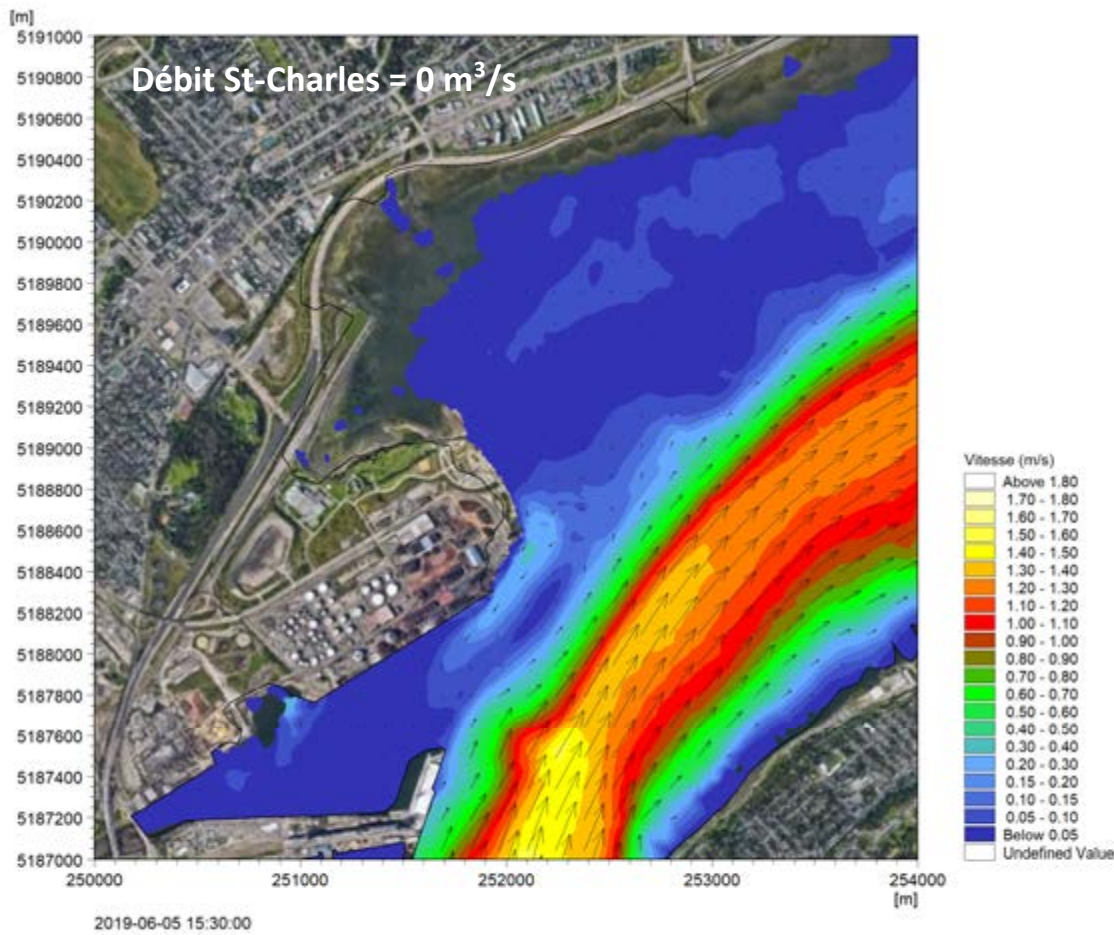


Figure E-1g : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Vive-eau (suite)

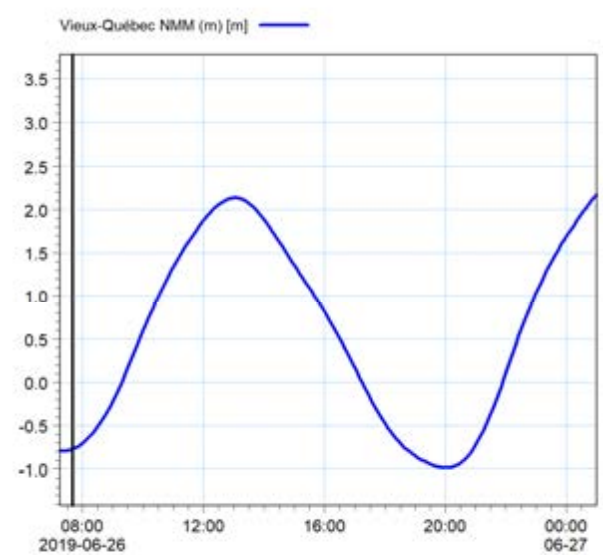
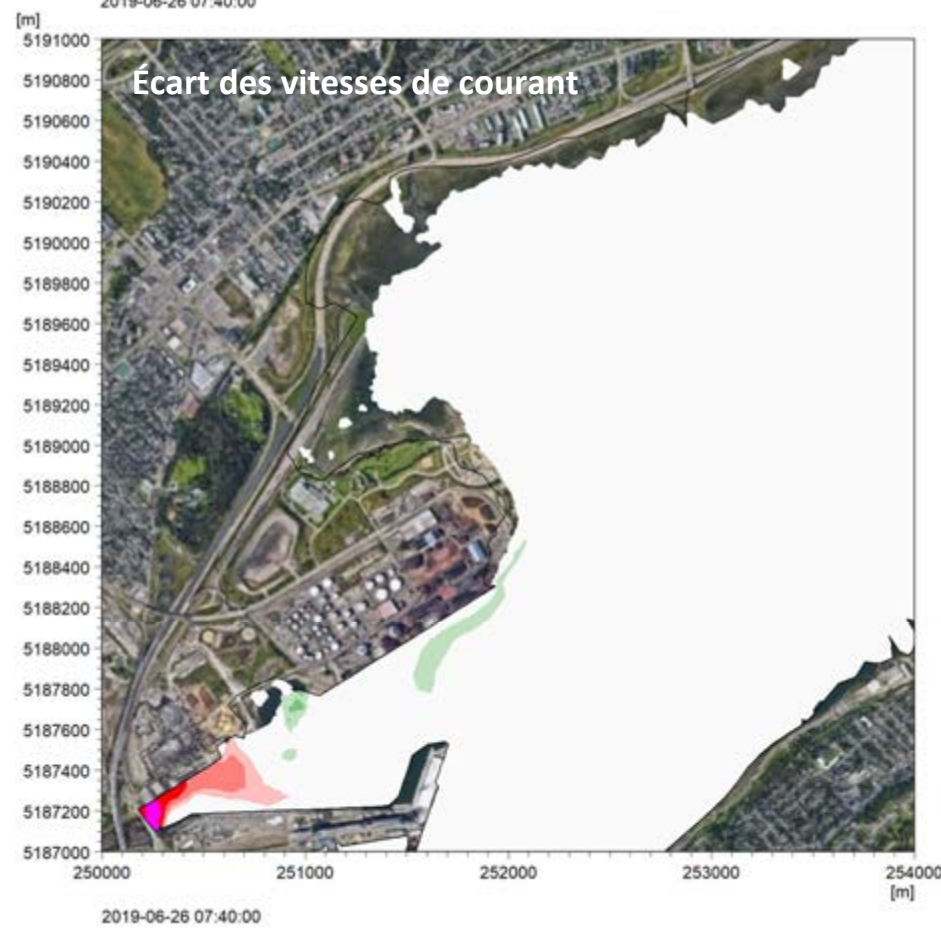
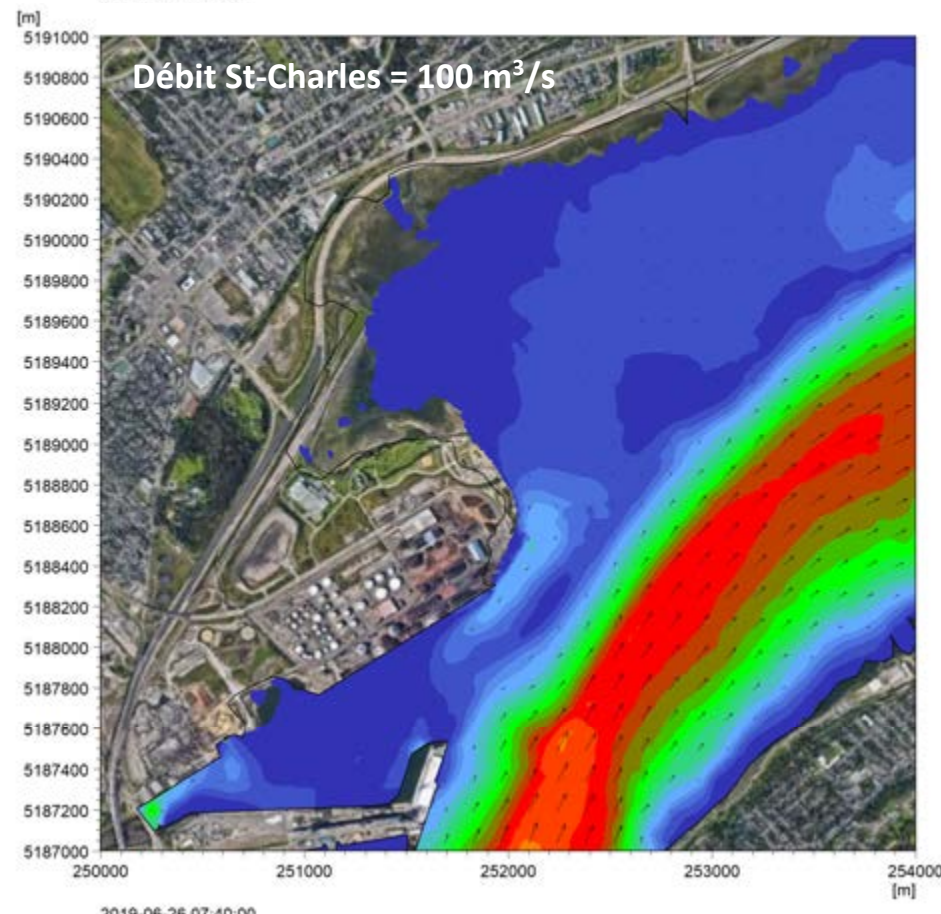
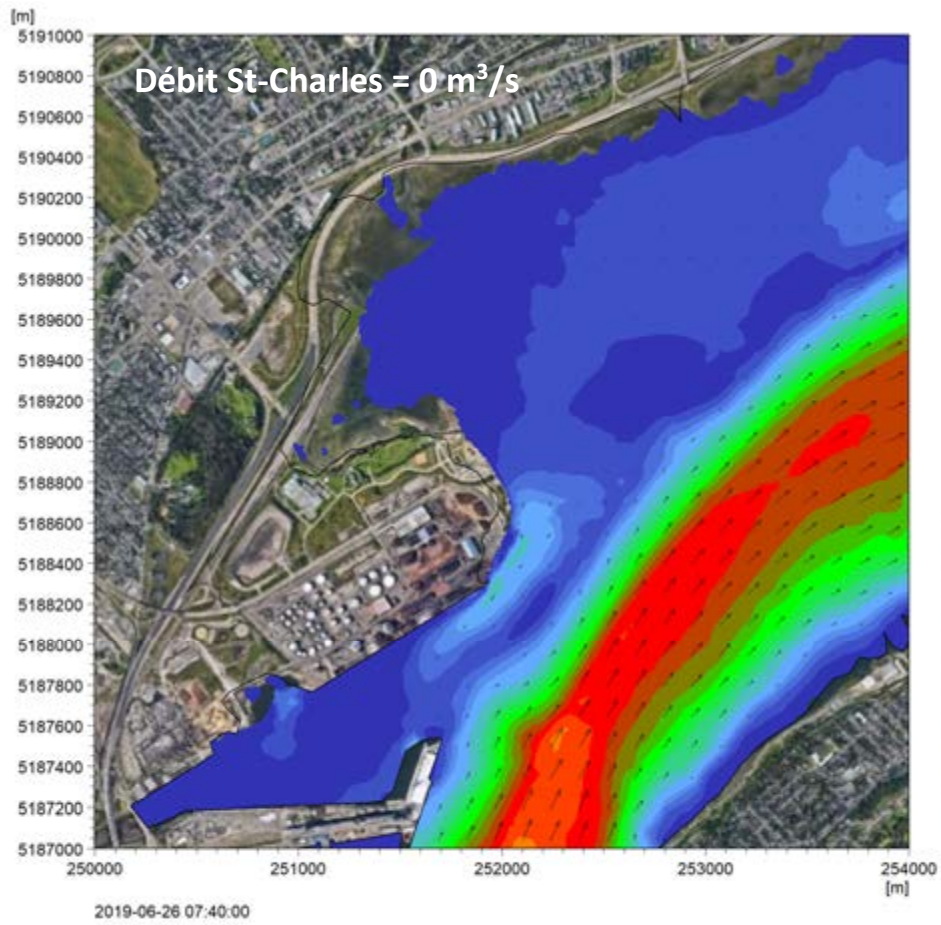


Figure E-2a : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau

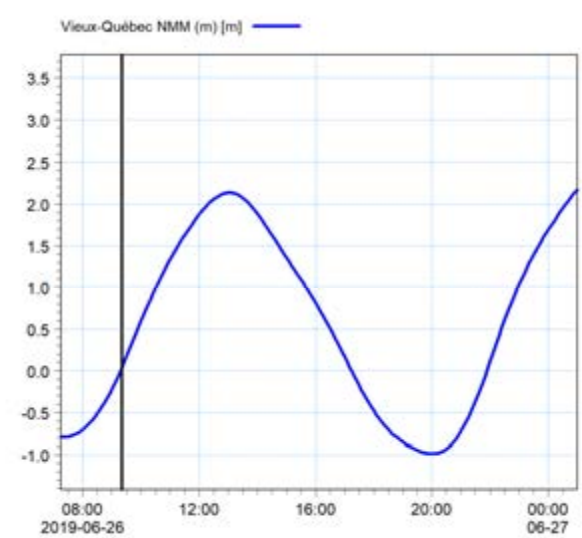
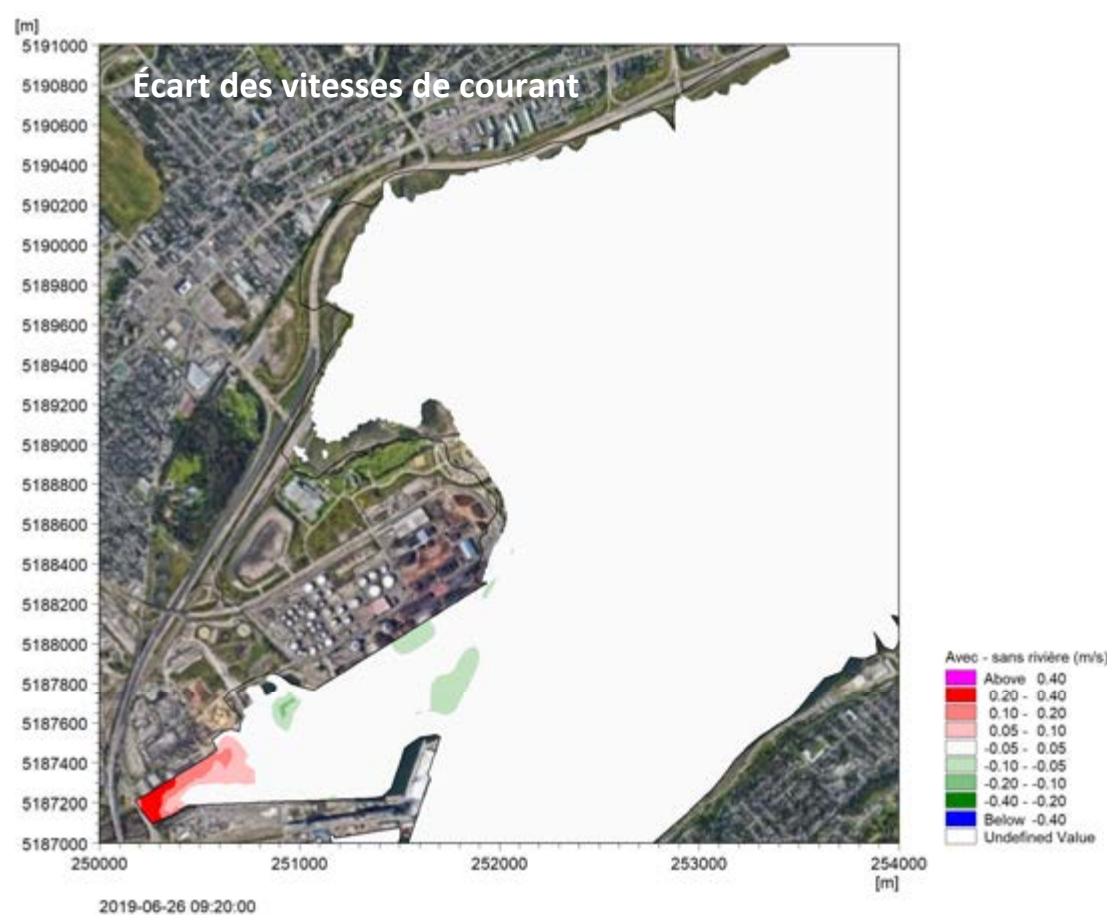
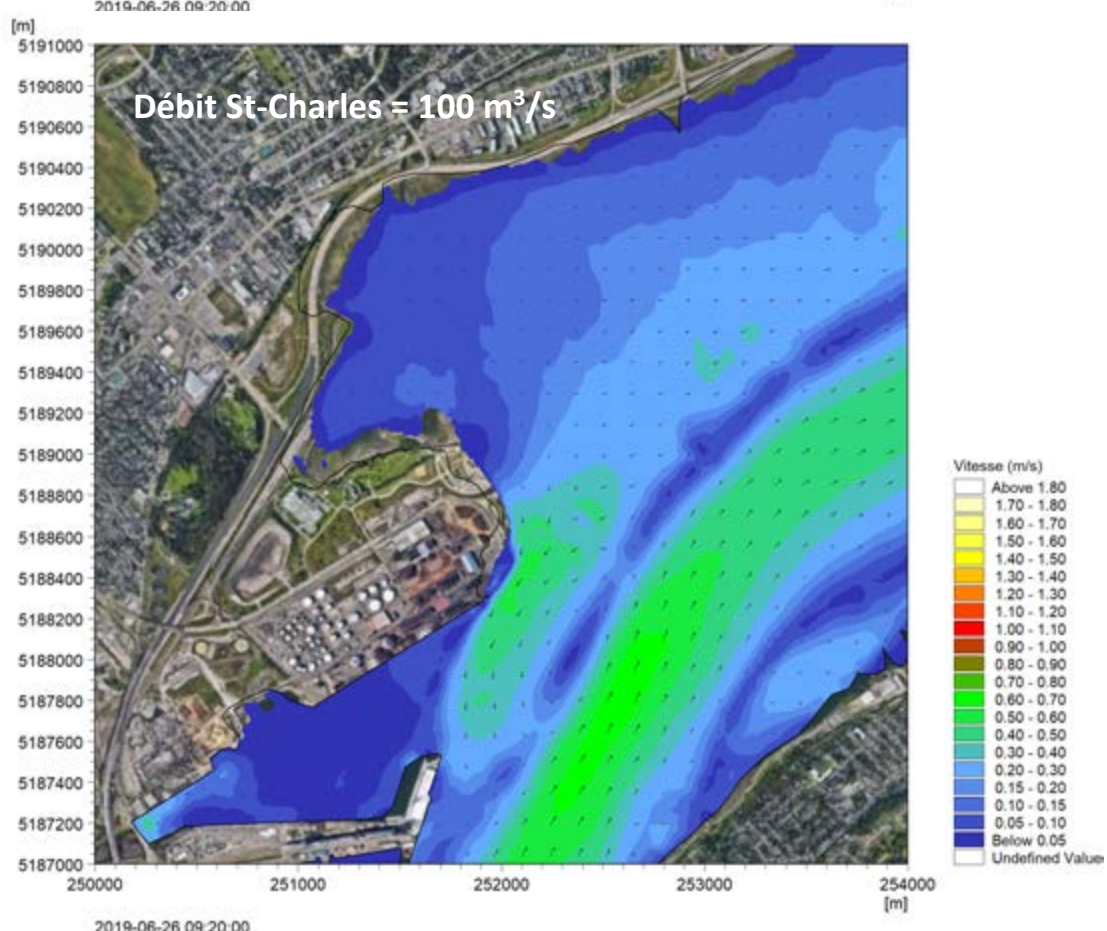
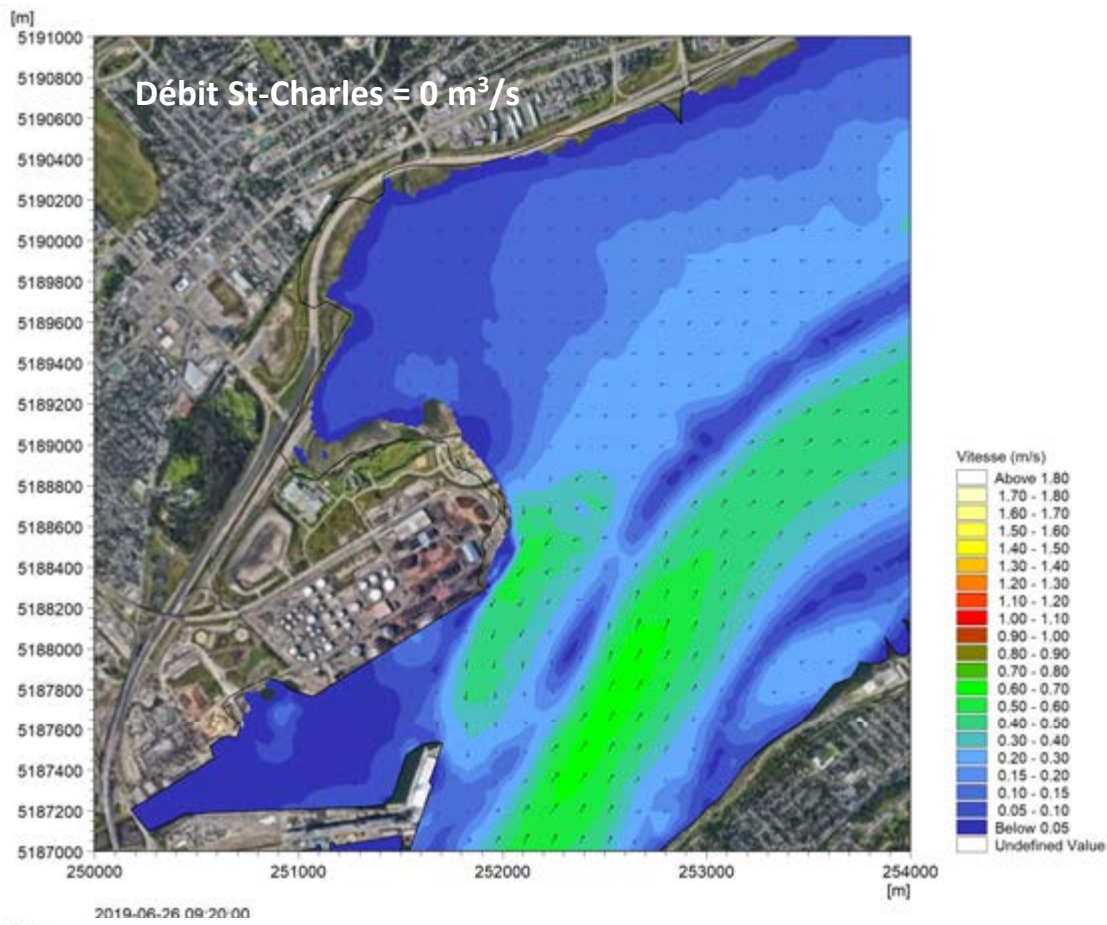
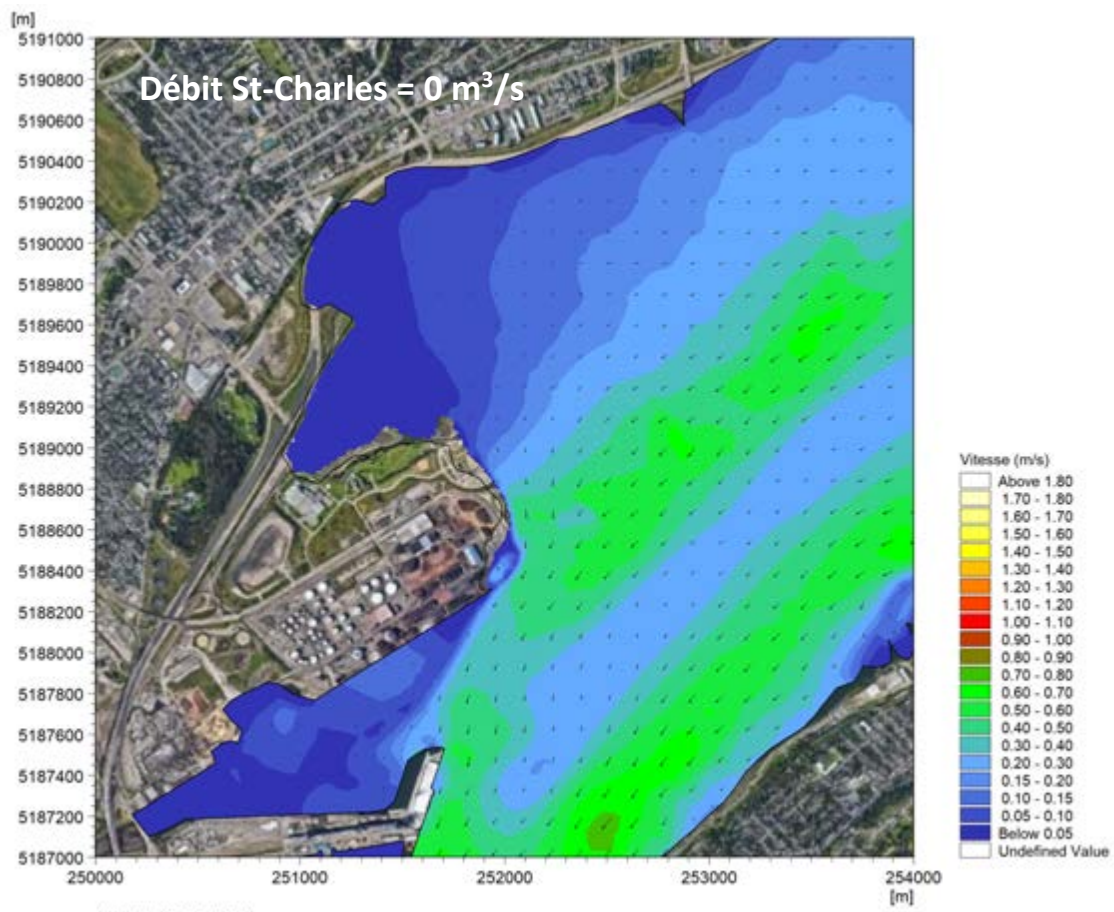
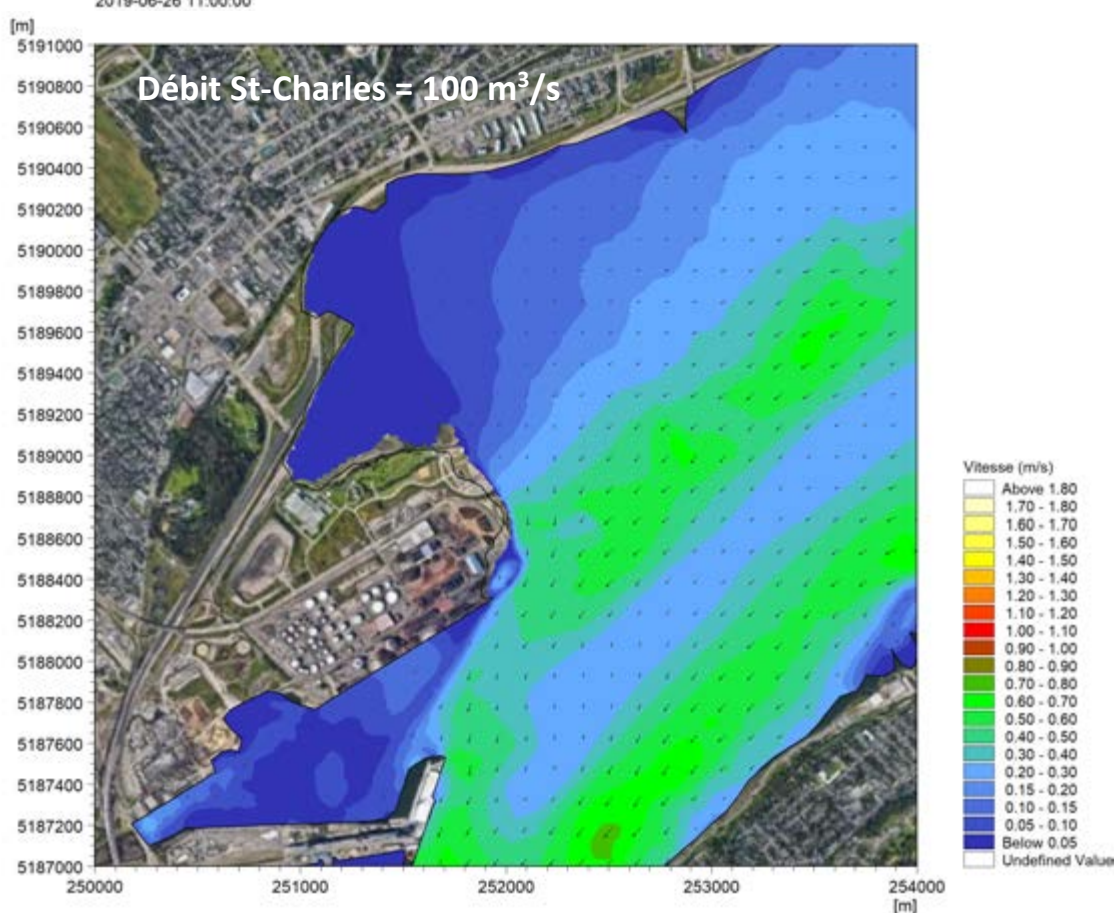


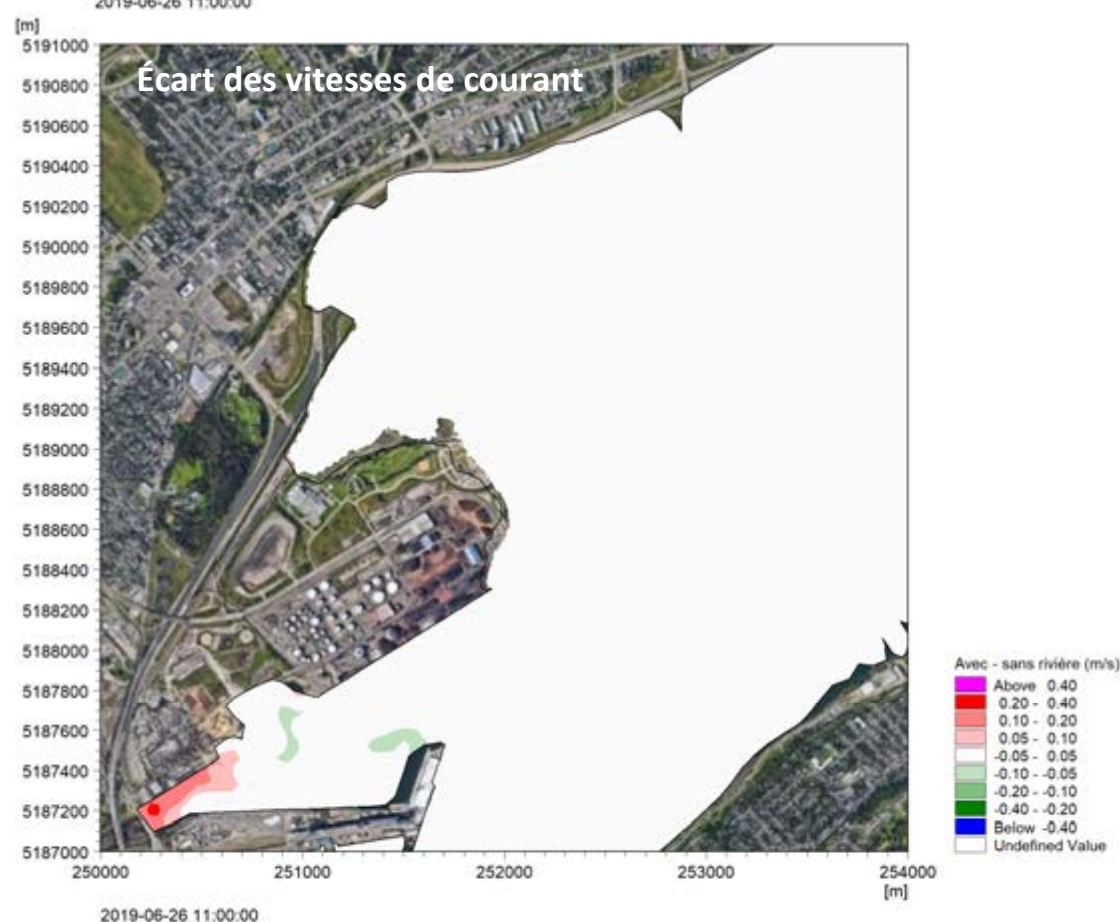
Figure E-2b : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau (suite)



2019-06-26 11:00:00



2019-06-26 11:00:00



2019-06-26 11:00:00

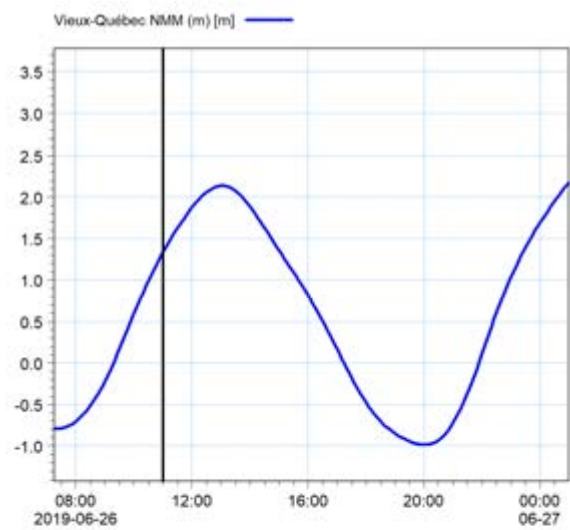


Figure E-2c : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau (suite)

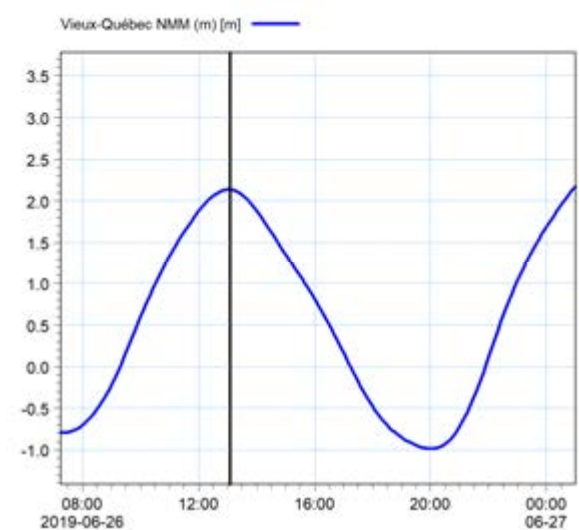
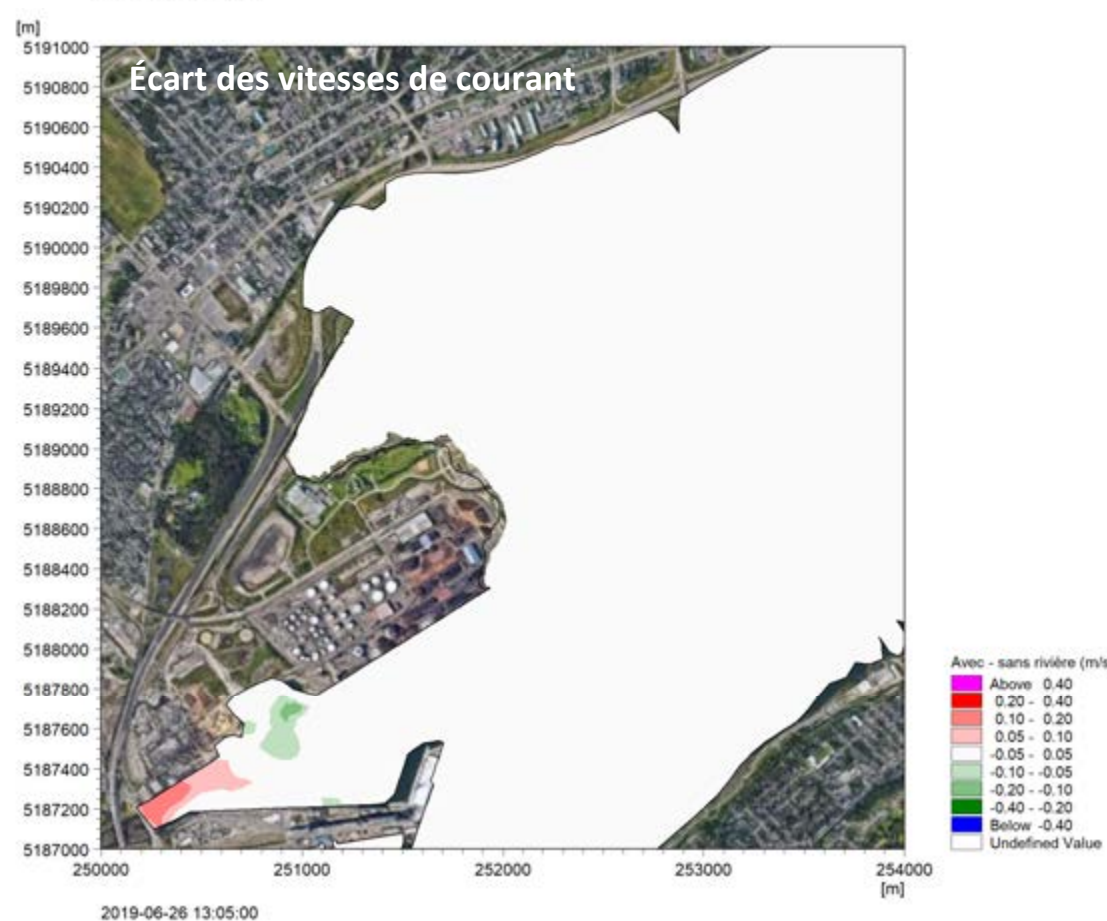
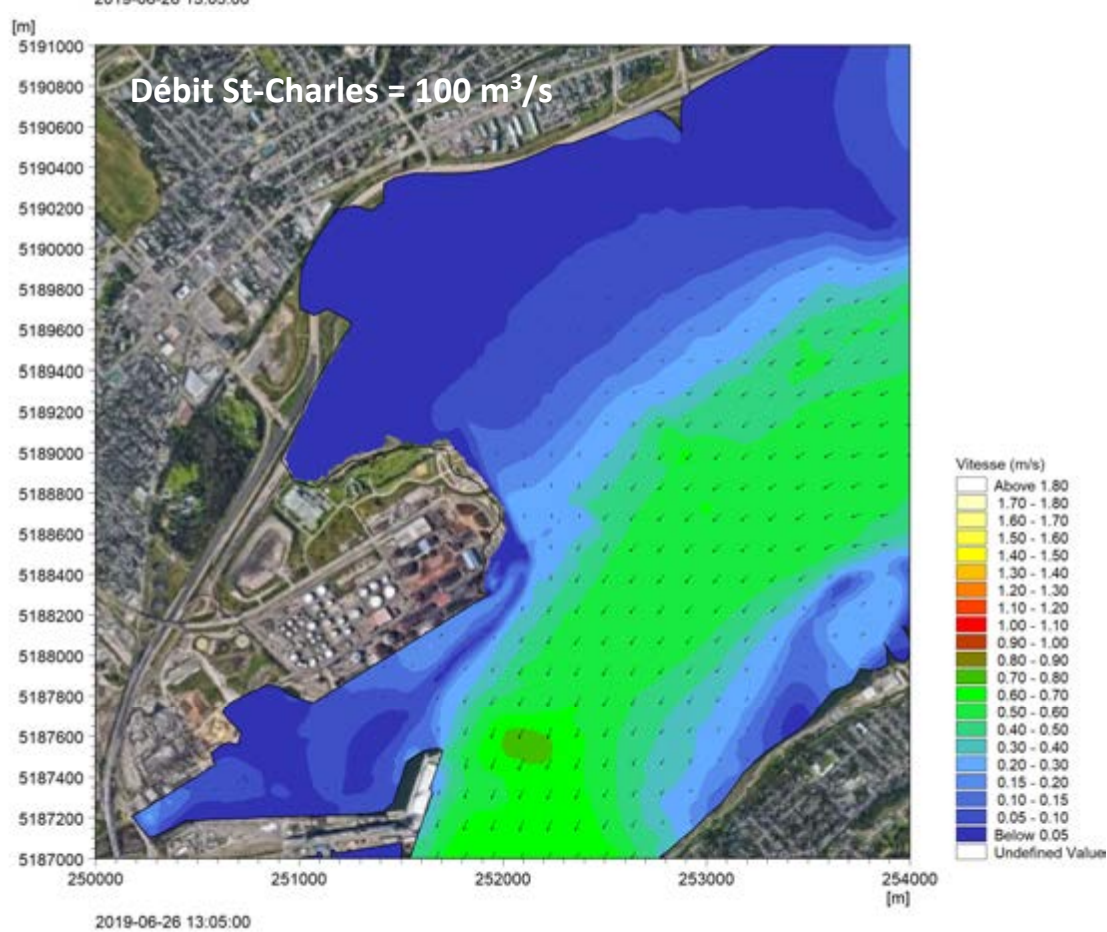
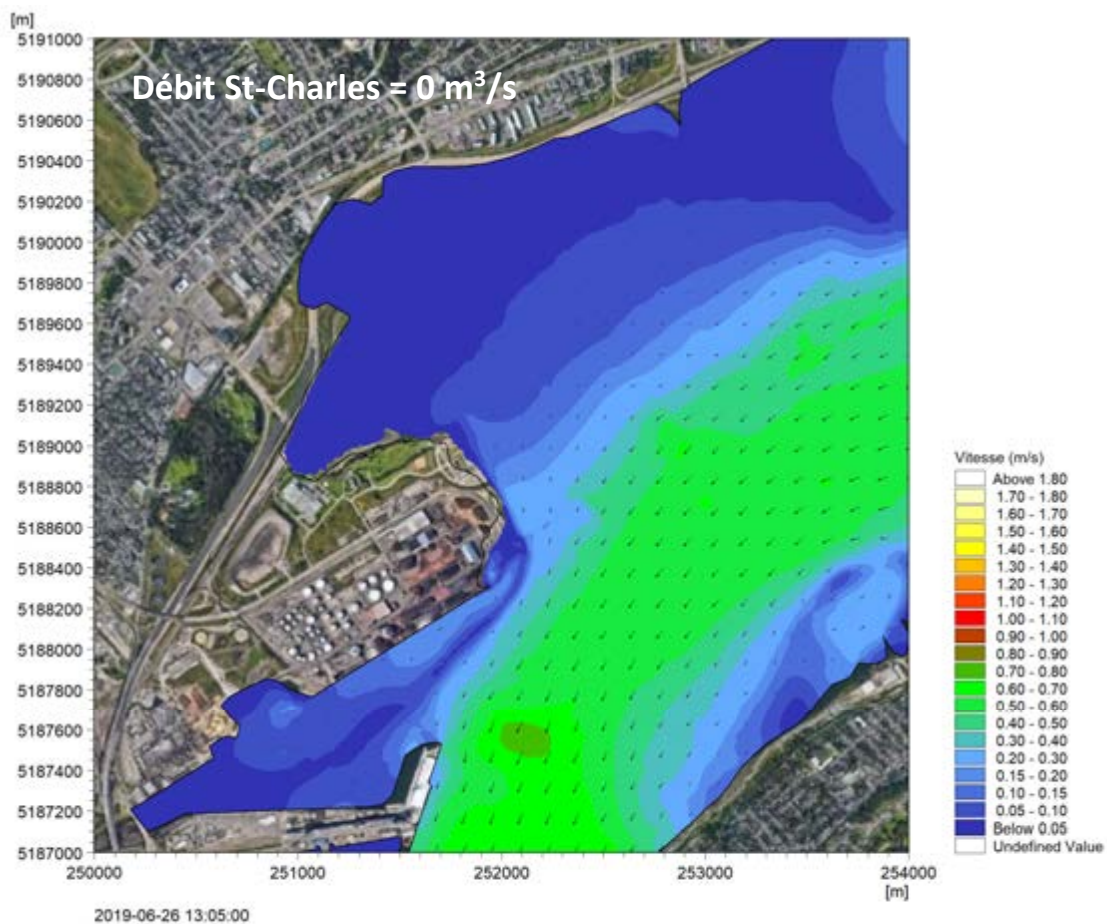


Figure E-2d : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau (suite)

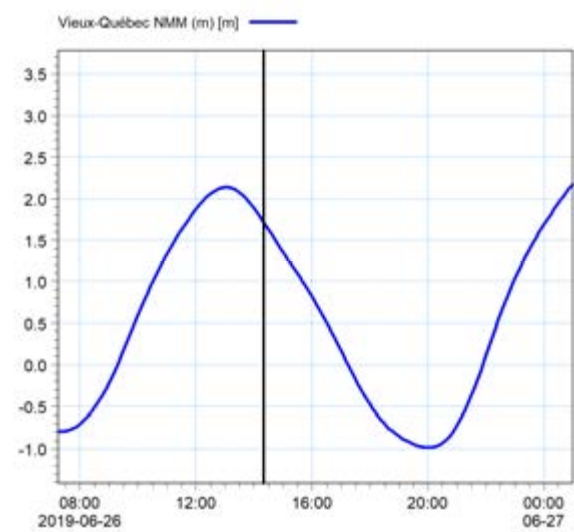
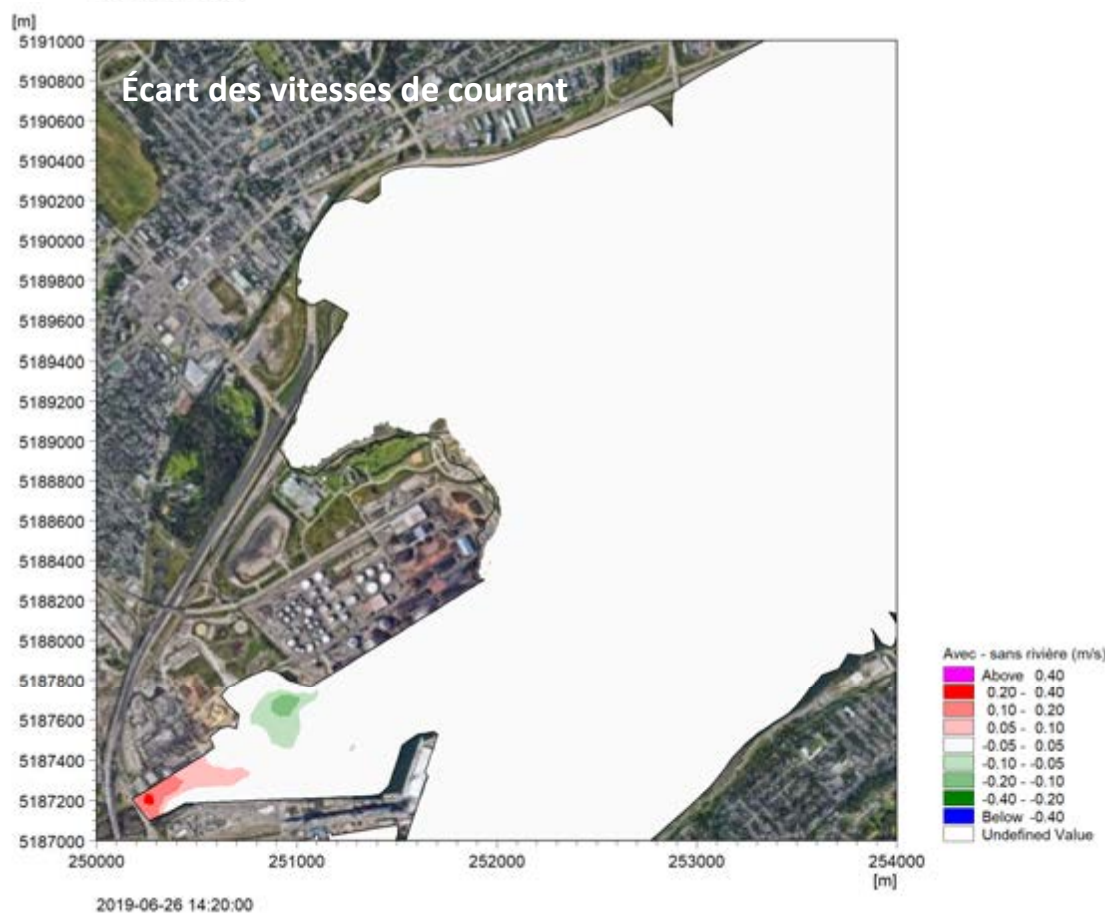
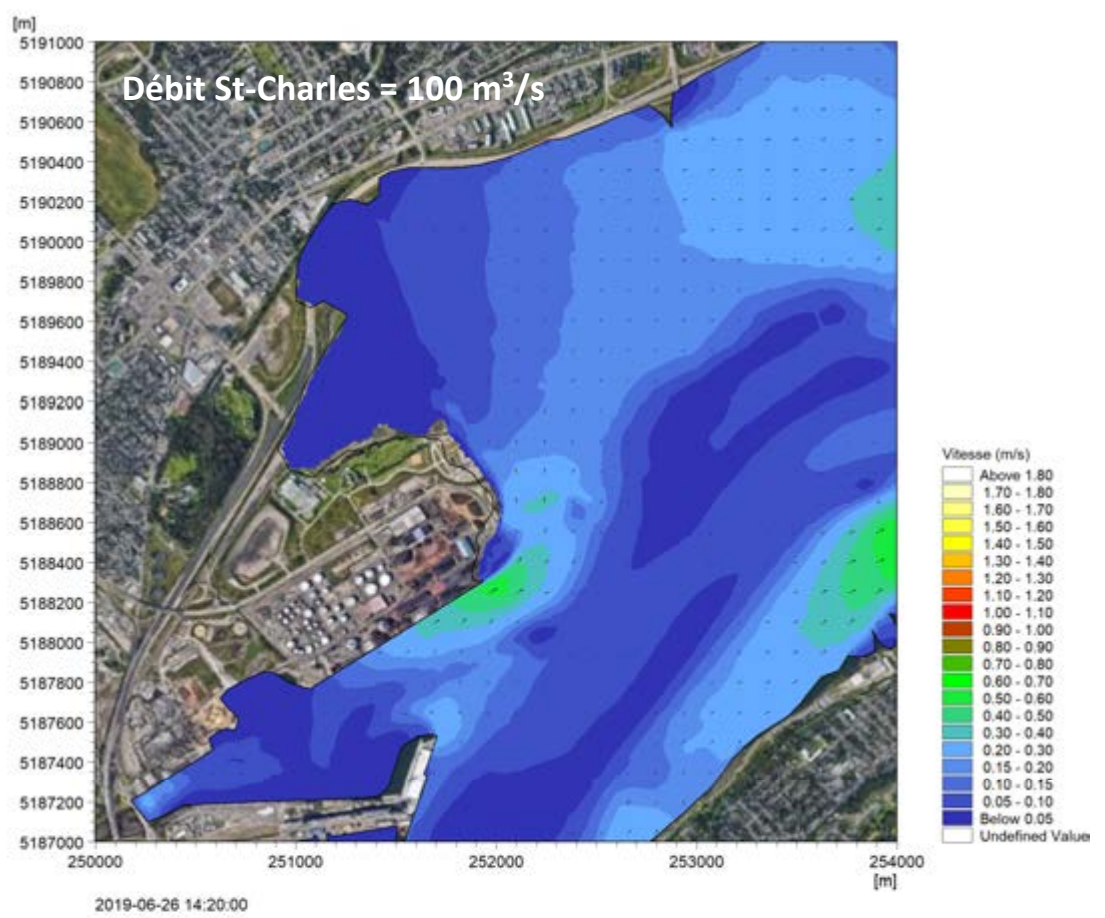
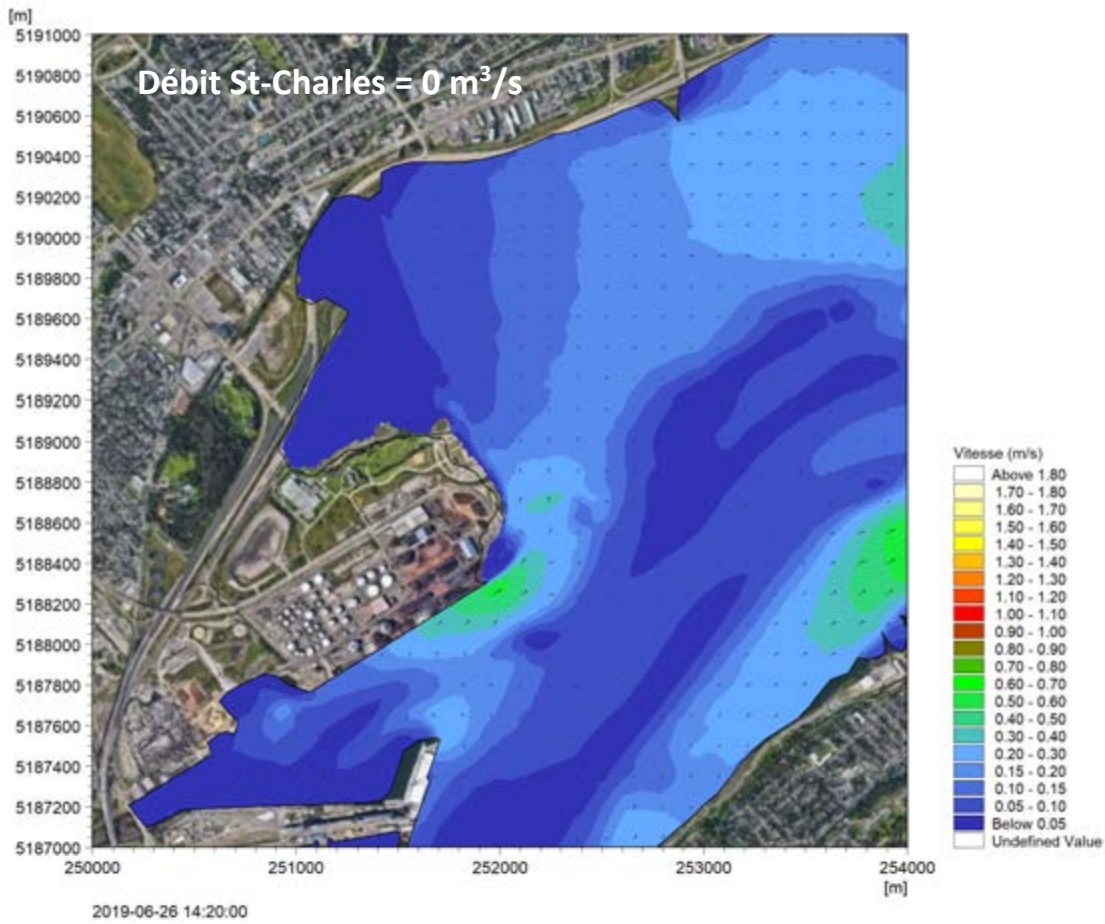


Figure E-2e : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau (suite)

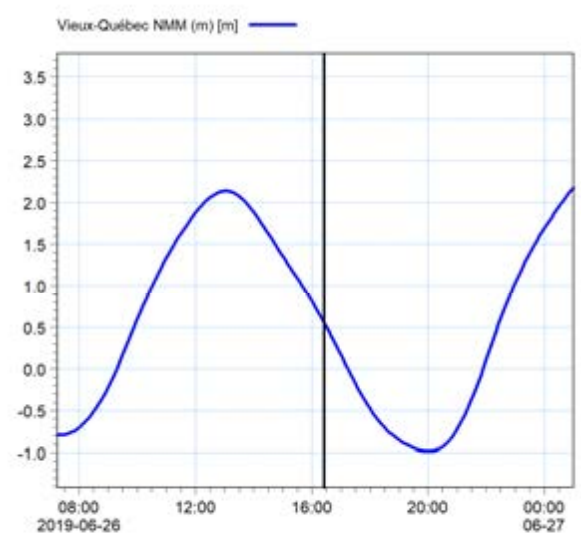
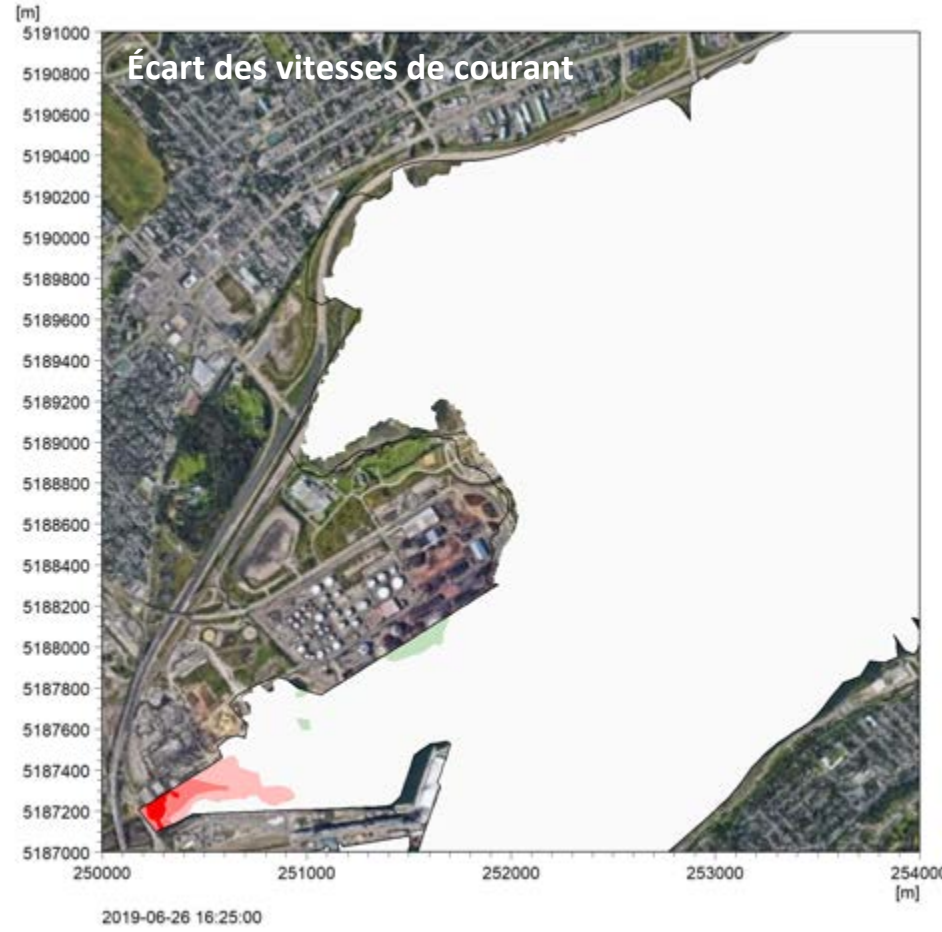
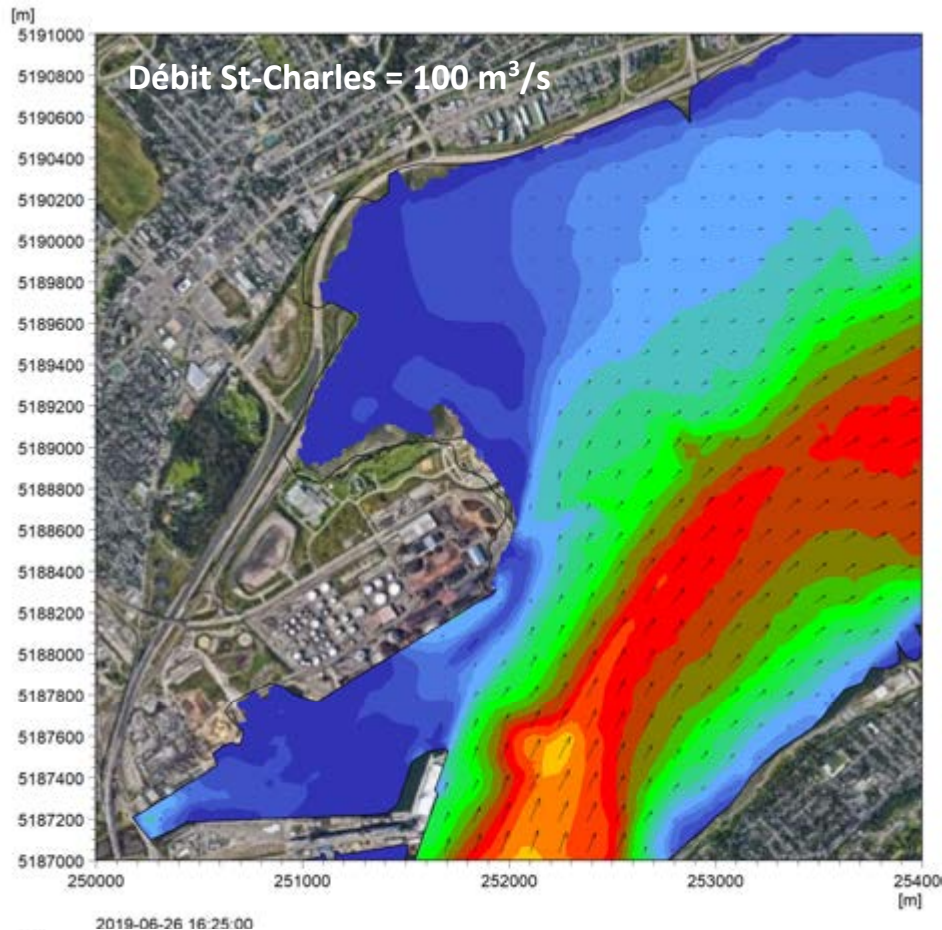
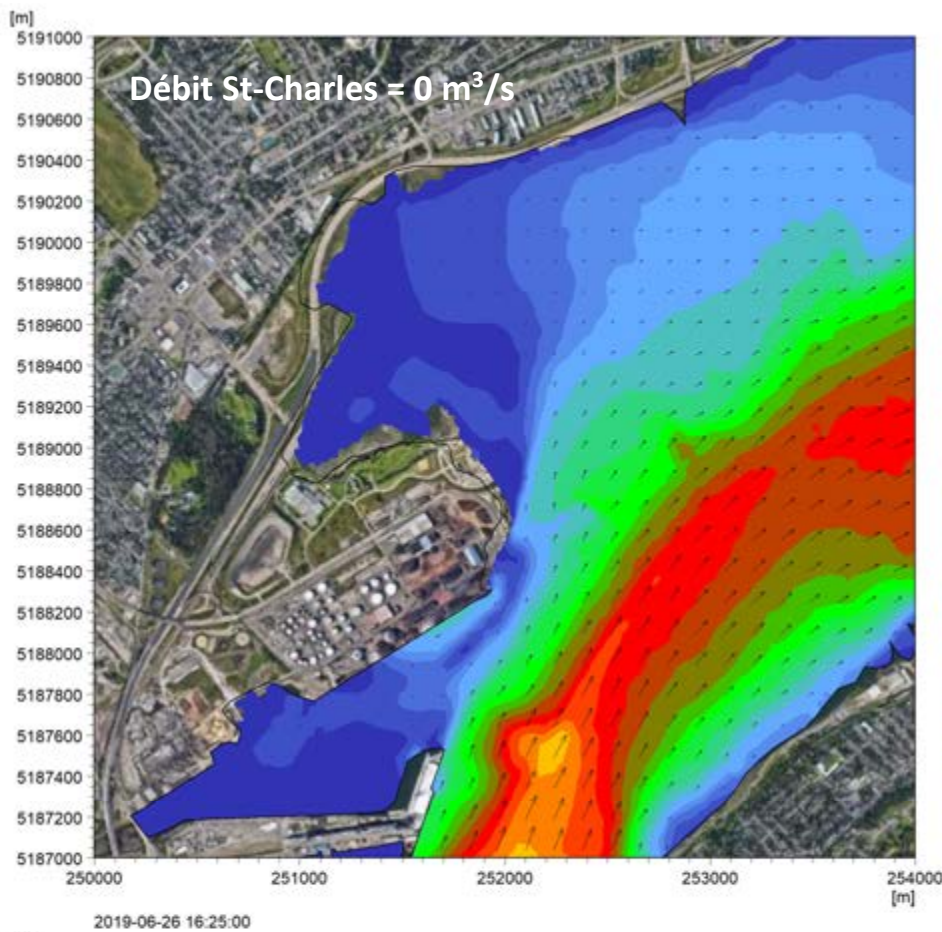


Figure E-2f : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau (suite)

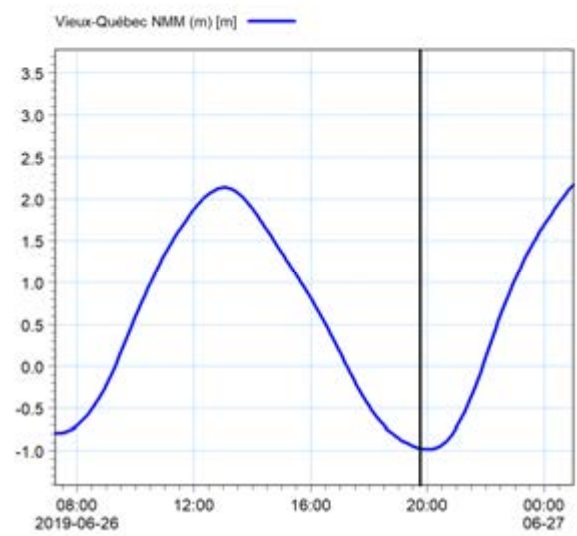
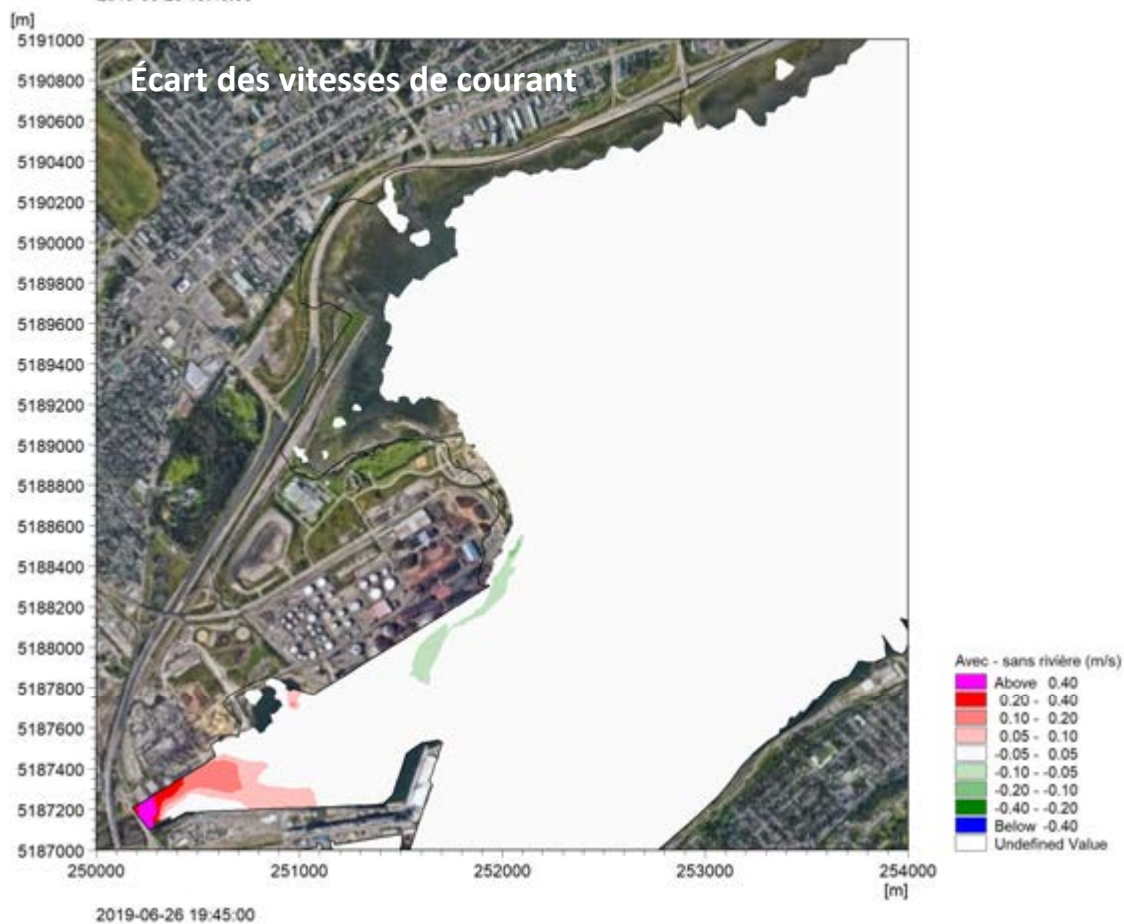
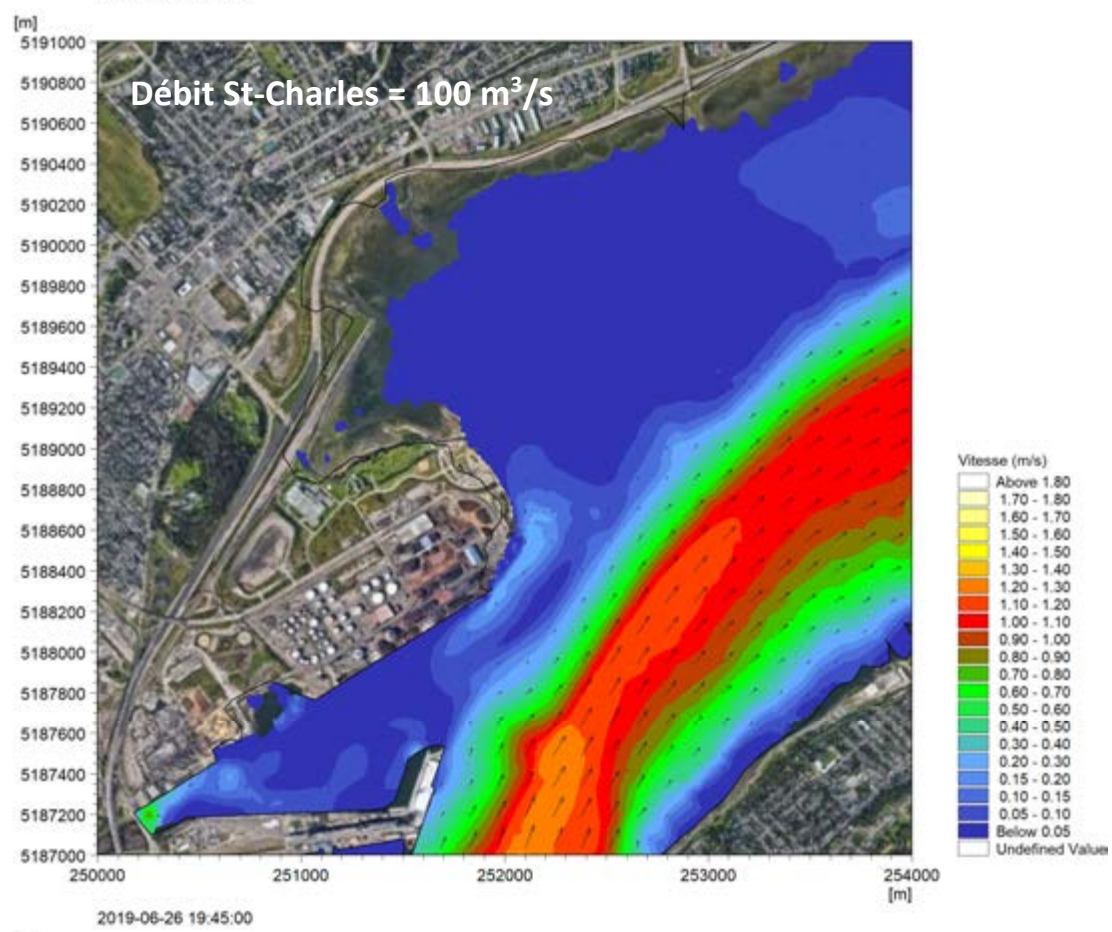
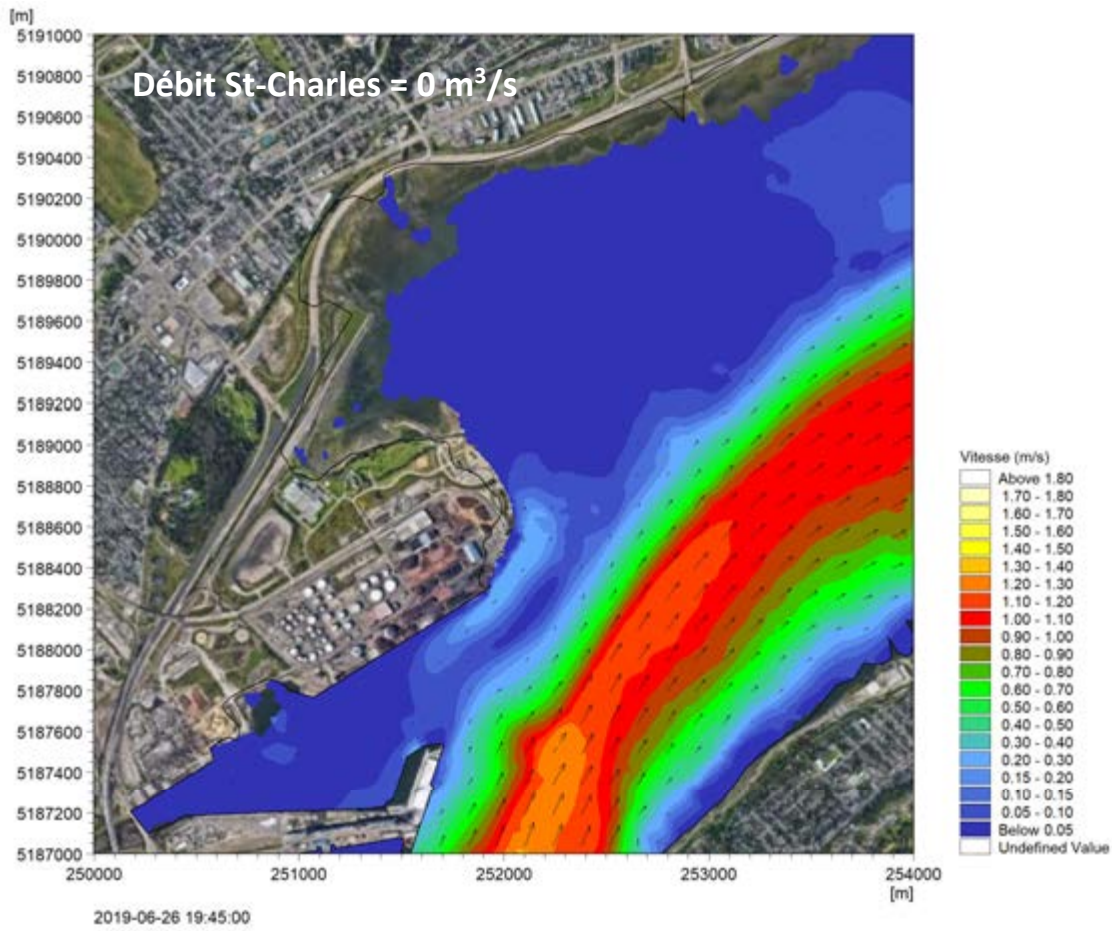


Figure E-2g : Influence du débit de la rivière Saint-Charles (Q = 100 m³/s) – Morte-eau (suite)

Annexe B Impact du déplacement de l'émissaire de surverse – Modélisation numérique de la dispersion



Lasalle|NHC Ref. No. 08005780

Lasalle, le 22 mai 2020

Englobe

505, boul. du Parc-Technologique, Québec (Qc) G1P 4S9
Québec (QC)
G1P 4S9

Attention: **M. Philippe Charest-Gélinas, biologiste**
Chargé de projets - Études environnementales et Relations avec les Communautés

Par courriel: Philippe.Charest-Gelinas@englobecorp.com

Objet: **Projet Laurentia - Impact du déplacement de l'émissaire de surverse**
Modélisation numérique de la dispersion
Rapport no 0293

Cher Monsieur Charest-Gélinas,

Il nous fait plaisir de vous présenter les nouveaux résultats de modélisation obtenus pour la dispersion de l'effluent issu de l'émissaire de la Ville de Québec situé dans l'emprise du projet Laurentia.

1 CONTEXTE

Avec le Projet Laurentia, l'Administration portuaire de Québec (APQ) poursuit actuellement le développement du secteur Beauport, dont l'expansion est envisagée depuis de nombreuses années.

Depuis plus de trente ans, Lasalle|NHC (anciennement Groupe-Conseil LaSalle et Laboratoire d'hydraulique LaSalle) a été étroitement lié aux études d'optimisation du projet d'extension Beauport, pour tout ce qui touche l'impact du projet sur les conditions hydrauliques et sédimentologiques.

En 2016, en réponse à des questions soulevées par les autorités environnementales fédérales et provinciales, Lasalle|NHC avait analysé l'impact du déplacement de l'émissaire de la Ville de Québec situé dans l'emprise du projet d'extension portuaire. Les panaches de dispersion et les concentrations maximales d'effluent atteintes dans la zone à l'étude avaient été établis pour les conditions d'aménagement actuelles et futures¹.

¹ VILLENEUVE, M., ROPARS, Y. ET GALLANT, N. (2016), « Port de Québec – Beauport 2020 - Réponses aux questions d'ordre hydro-sédimentaire – Évaluation d'impact environnementale », Rapport Lasalle|NHC no 0059 préparé pour le compte de l'Administration portuaire de Québec, Mars 2016.

Suite aux dernières questions soulevées en 2019 par l'Agence canadienne d'évaluation environnementale (ACEE), le modèle numérique développé par Lasalle|NHC a toutefois été modifié. Les réponses aux questions de l'ACEE et les modifications apportées au modèle sont présentées en détail dans le rapport émis en mars 2020 par Lasalle|NHC².

Le présent rapport vise essentiellement à mettre à jour les résultats de l'étude de dispersion à l'aide de la dernière version du modèle numérique. Cette révision permet également de prendre en compte la configuration la plus récente de l'extension portuaire du projet Laurentia.

2 MODÉLISATION DE LA DISPERSION DES EAUX USÉES

2.1 Situation actuelle

Les événements de surverse du système de traitement des eaux usées de la Ville de Québec peuvent provoquer l'évacuation d'une partie des eaux usées vers le fleuve par l'intermédiaire d'un émissaire dont l'exutoire se trouve actuellement à environ 100 m au nord de l'extrémité aval du quai 53, tel qu'illustré à la figure 1.



Figure 1: Localisation de l'émissaire en conditions actuelles

² VILLENEUVE, M., GALLANT, N. ET AUBEL, T. (2020) « Port Québec – Projet Laurentia – Réponses aux questions de l'Agence Canadiennes d'Évaluation environnementale », Rapport Lasalle|NHC no 0261, préparé pour Englobe pour le compte de l'Administration portuaire de Québec, Mars 2020.

2.2 Projet de déplacement de l'émissaire

Le projet d'extension portuaire implique le déplacement de cet émissaire. L'émissaire est prolongé, afin de déplacer son exutoire le long de la face du nouveau quai (figure 2).

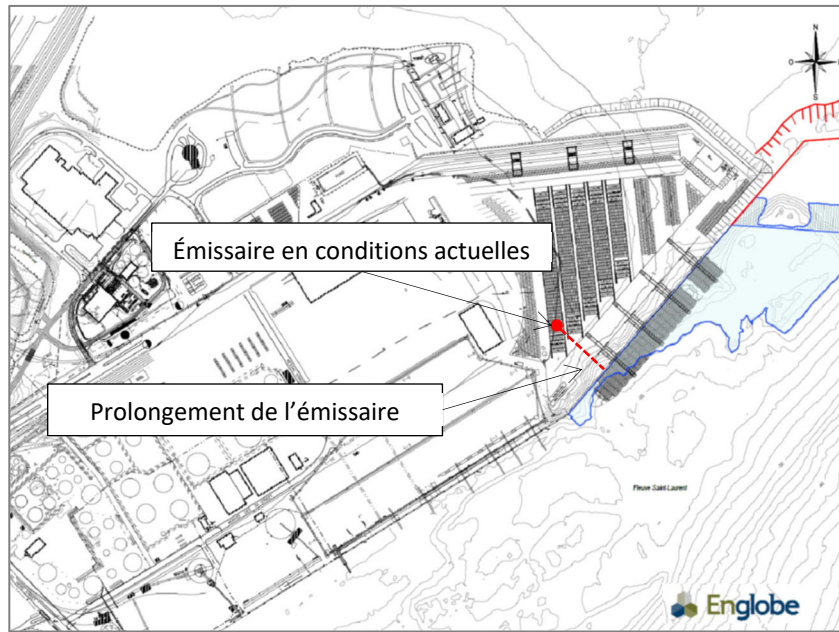


Figure 2: Prolongement de l'émissaire suite à la construction du nouveau quai

2.3 Localisation des prises d'eau de Lévis et Québec

Une des préoccupations liées au déplacement de l'émissaire concerne l'influence potentielle qu'il pourrait avoir sur les prises d'eau potable situées plus en amont (figure 3). Les prises d'eau de Lévis et de Saint-Romuald se situent respectivement à 3 et 10 km à l'amont de l'extension portuaire, du côté sud du fleuve. Une troisième prise d'eau, de la Ville de Québec, est située à 18 km en amont du site, du côté nord du fleuve. Cette prise plus éloignée se situe hors des limites de notre modèle numérique mais son potentiel de contamination peut être évalué en fonction des conditions hydrauliques et des concentrations obtenues dans la portion amont du modèle.

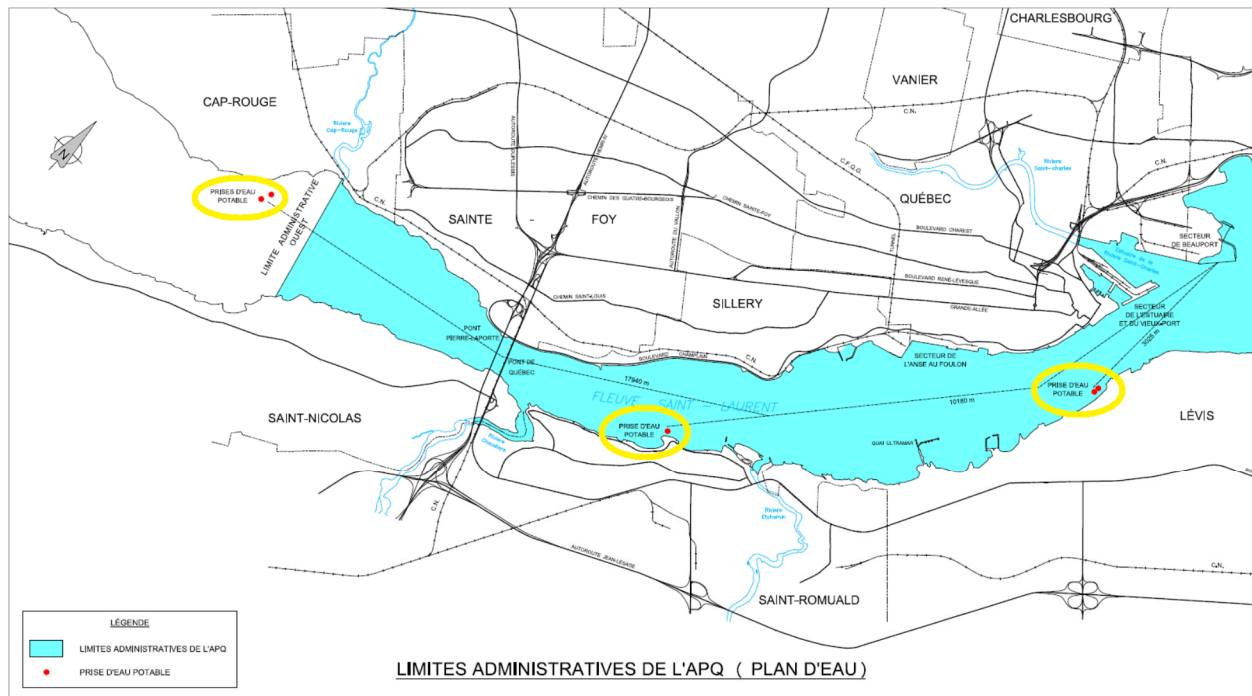


Figure 3: Localisation des prises d'eau de Lévis et Québec

2.4 Méthodologie

Sur la base des informations relatives à la conception de la Station Est de traitement des eaux usées de la Ville de Québec³, la surverse a été simulée à l’aide d’un débit constant de 4 m³/s imposé pendant 6 heures (avec une vitesse de 1 m/s à l’exutoire). Cette hypothèse est pessimiste car elle correspond au débit journalier total de conception de la Station Est en conditions de temps sec. Il importe de souligner à cet égard que le but des présentes simulations n’est pas de reconstituer un événement en particulier, mais bien d’utiliser un scénario de surverse commun pour comparer la dispersion de l’effluent obtenue dans les conditions d’aménagement actuelles et futures.

Afin de couvrir la gamme complète des conditions de marée, les simulations de la dispersion ont été réalisées en conditions de vive-eau et de morte-eau, en considérant les mêmes épisodes de marée que dans notre rapport récent visant à répondre aux questions de l’ACEE :

- Marée de vive-eau du 5 juin 2019;
- Marée de morte-eau du 26 juin 2019.

³ COMMUNAUTÉ URBAINE DE QUÉBEC (1999), «Description des ouvrages d’assainissement de la Communauté urbaine de Québec »

Notre rapport no 0261 (voir référence au bas de la page 2) donne des informations détaillées sur les niveaux d'eau et courants qui caractérisent ces épisodes de marée.

La surverse a été initié au début du flot (courant de marée montante), en supposant que ces conditions conduisaient au potentiel de contamination le plus élevé des prises d'eau potable situées plus en amont⁴ :

- En vive-eau, le rejet s'effectue le 5 juin 2019 de 3h00 à 9h00 (UTC)
- En morte-eau, le rejet s'effectue le 26 juin 2019 de 8h00 à 14h00 (UTC)

La concentration de traceur à la sortie de l'émissaire est arbitrairement fixée à 1 000 000 de ppm. La formulation bidimensionnelle du modèle numérique implique que l'effluent se disperse rapidement sur toute la colonne d'eau dès sa sortie de l'émissaire. Le modèle suppose également que le panache d'effluent est conservatif, c'est-à-dire qu'il ne se dégrade pas dans le milieu récepteur, sa concentration n'étant liée qu'à la dispersion et à la dilution qui en résulte.

Les figures 4 à 7 présentent les concentrations maximales atteintes en tout point de la zone d'intérêt lors de la dispersion du panache d'effluent, et ce pendant les six heures de surverse et les trois cycles de marée subséquents. Les panaches illustrés sur ces figures ne correspondent donc pas à un instant donné mais plutôt à une intégration des valeurs maximales de concentration obtenues lors des simulations.

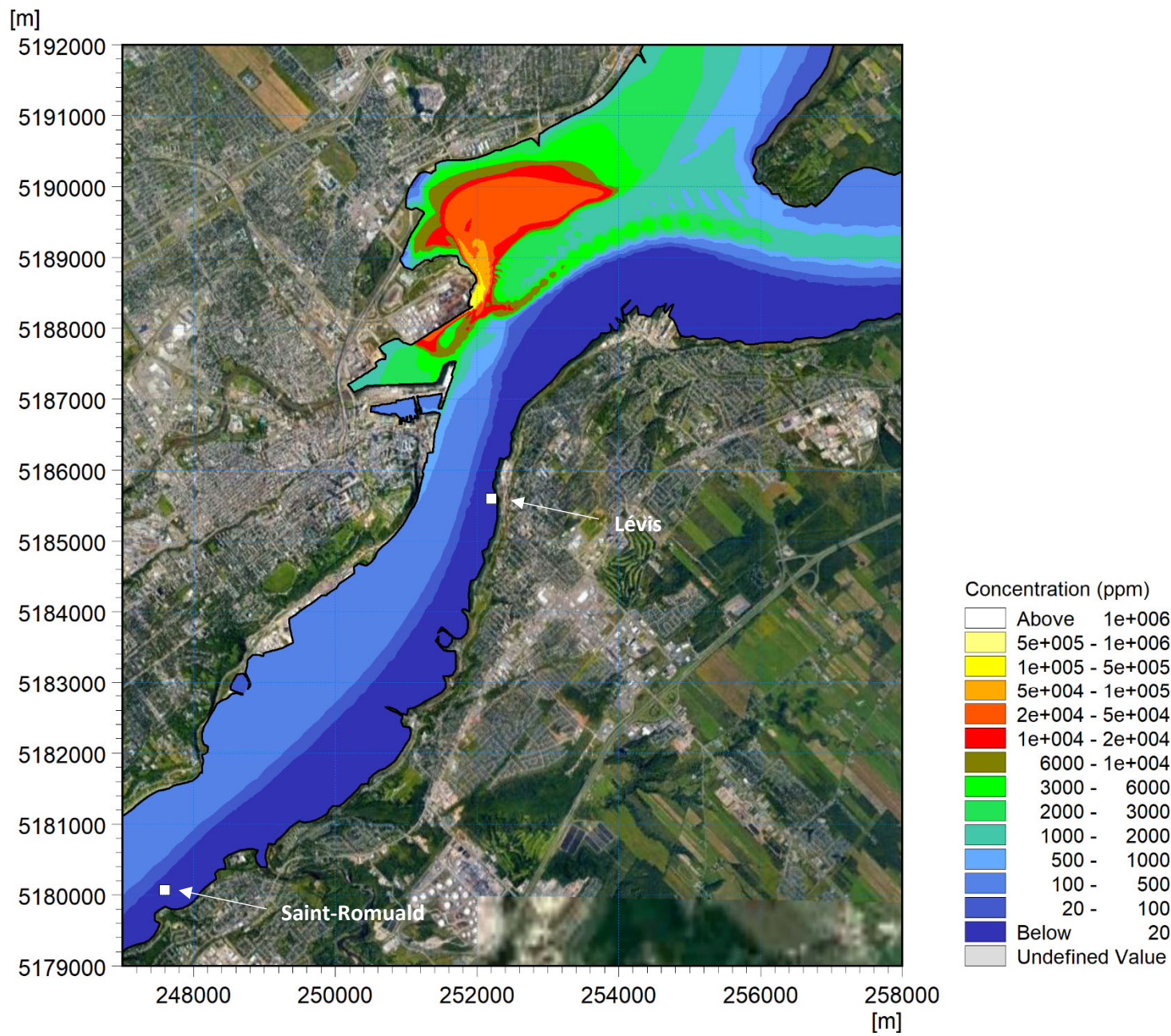
2.5 Conditions actuelles

Les figures 4 et 5 illustrent la concentration maximale d'effluent obtenue en conditions d'aménagement actuelles pour une marée de vive-eau (figure 4) et une marée de morte-eau (figure 5). Dans les deux cas, les concentrations les plus élevées sont observés dans le secteur Beauport et le rentrant sud-ouest (figures 4b et 5b). De plus, les concentrations maximales dans le bras nord de l'île d'Orléans sont plus élevées que dans le chenal principal.

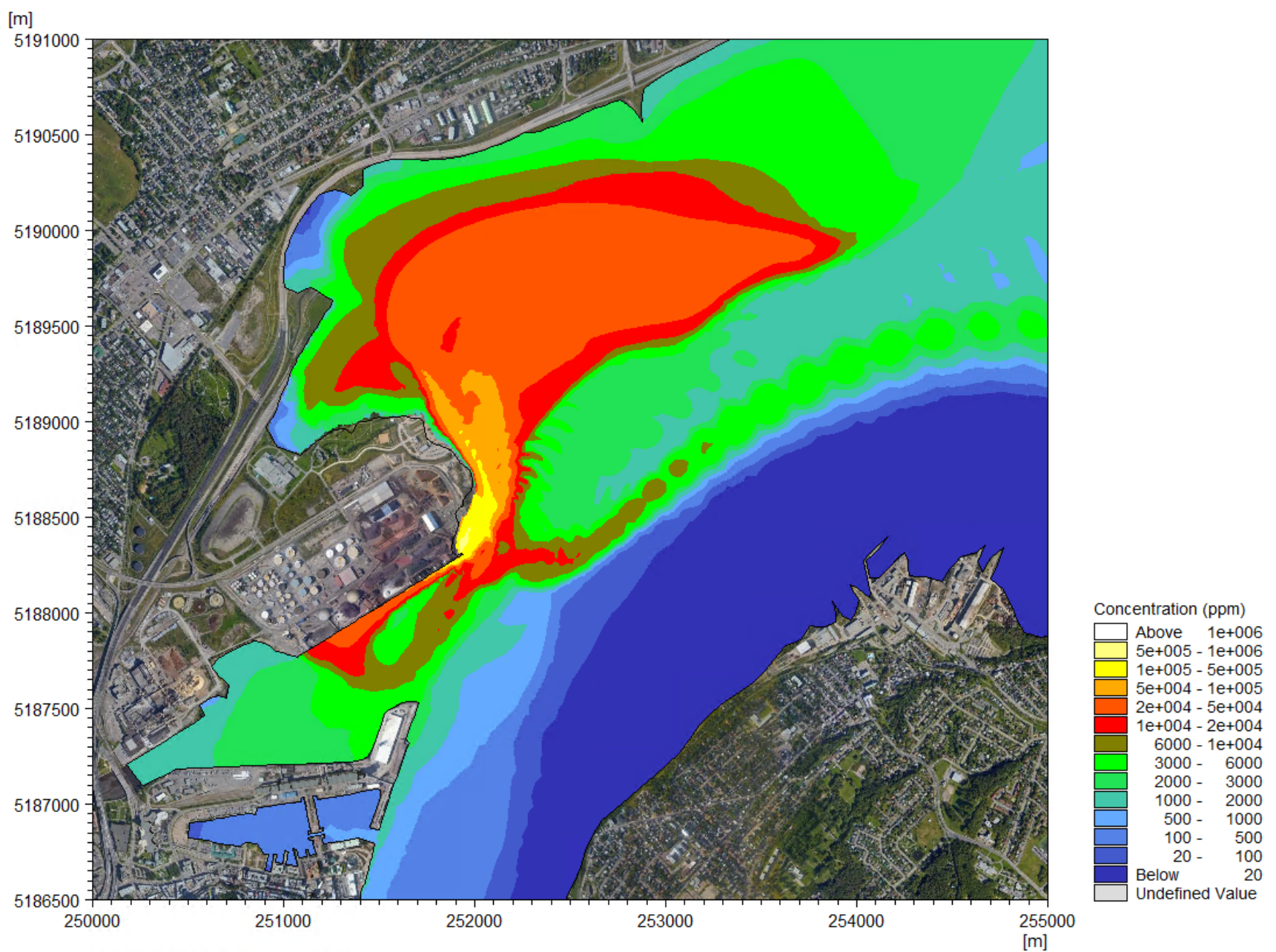
En amont de l'estuaire de la Saint-Charles, l'effluent demeure davantage concentré dans la moitié nord du fleuve. Les concentrations maximales atteintes aux prises d'eau potable de Lévis et Saint-Romuald sont très faibles :

- En vive-eau (figure 4a), concentration maximale de moins de 20 ppm (facteur de dilution d'au moins 50 000) aux deux prises d'eau;
- En morte-eau (figure 5a), concentration maximale dans la gamme de 20 à 100 ppm à Lévis (facteurs de dilution correspondants de 50 000 et 10 000) et d'environ 20 ppm à Saint-Romuald (facteur de dilution de 50 000).

⁴ Des simulations supplémentaires, impliquant une surverse se produisant à d'autres moments de la marée, ont indiqué que les conclusions du présent rapport quant à l'impact du projet demeuraient valables pour l'ensemble du cycle de marée.

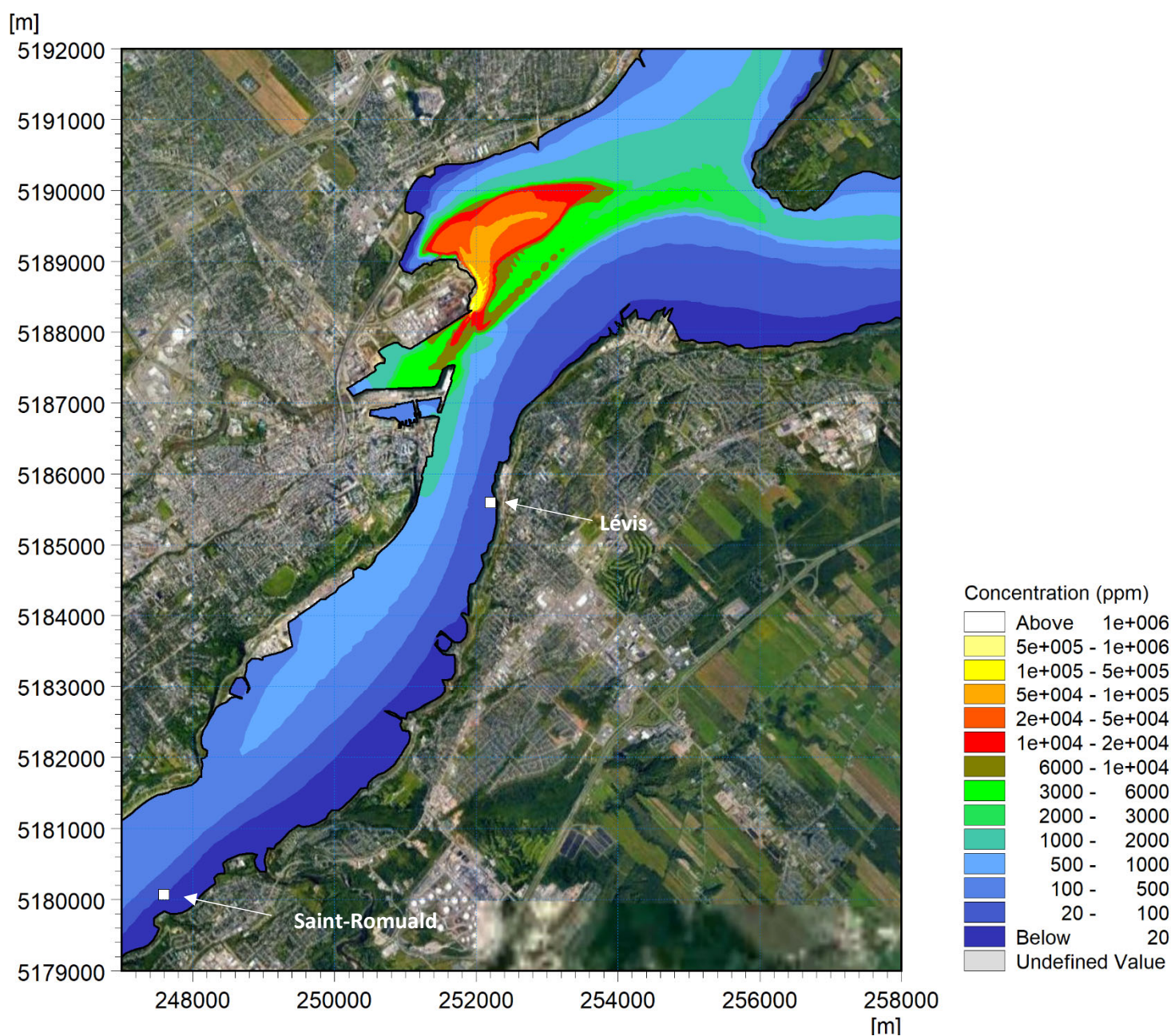


a) Vue d'ensemble de la zone à l'étude

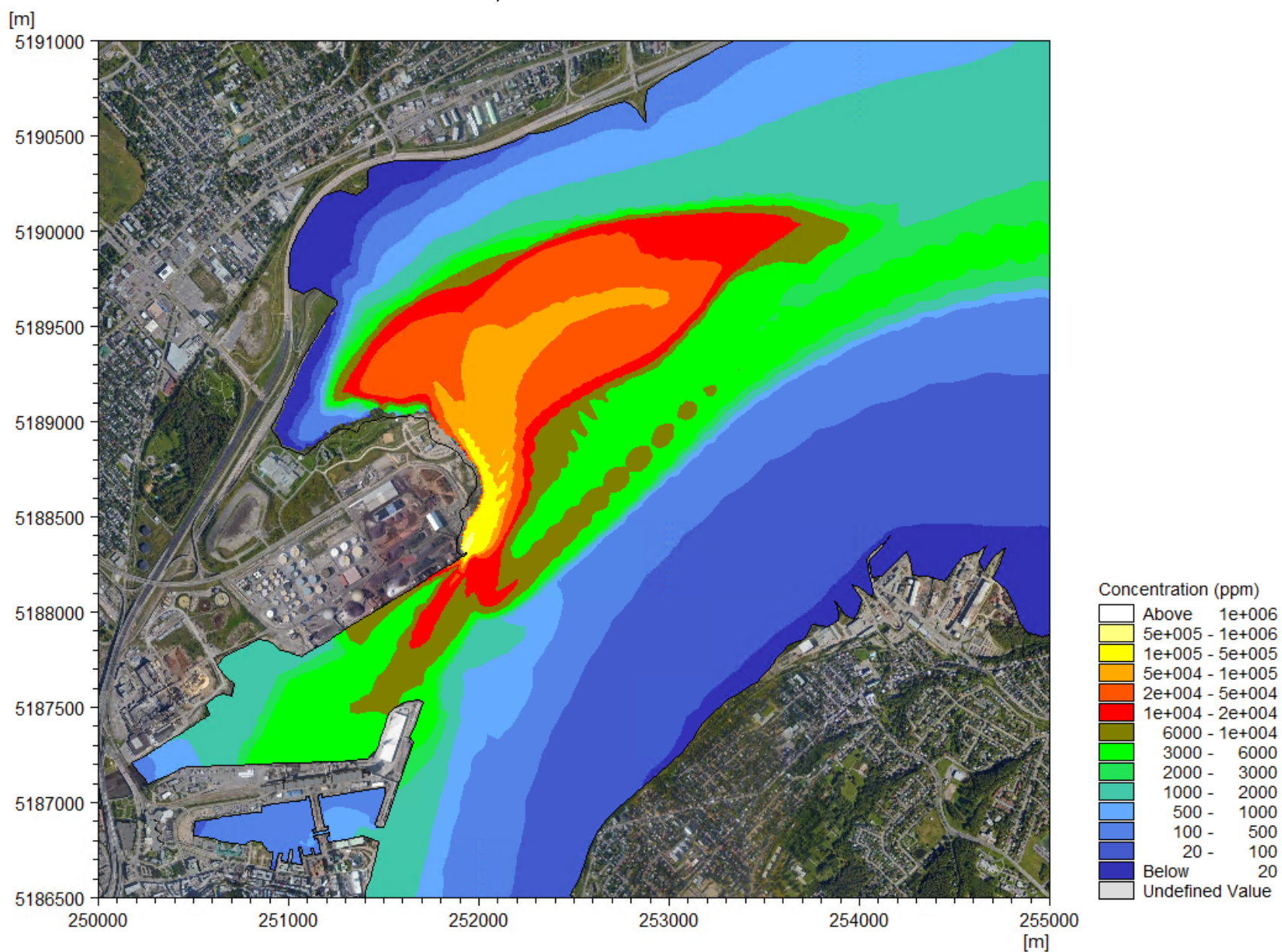


b) Secteur Beauport

Figure 4 : Concentrations maximales obtenues en conditions actuelles - Marée de vive-eau
(Concentration à la sortie de l'émissaire = 1×10^6 ppm)



a) Vue d'ensemble de la zone à l'étude



b) Secteur Beauport

Figure 5 Concentrations maximales obtenues en conditions actuelles - Marée de morte-eau
(Concentration à la sortie de l'émissaire = 1×10^6 ppm)

2.6 Conditions après aménagement

Les figures 6 et 7 illustrent la concentration maximale d'effluent obtenue en conditions après aménagement (avec extension portuaire et déplacement de l'émissaire) pour une marée de vive-eau (figure 6) et une marée de morte-eau (figure 7). Comme en conditions actuelles, les concentrations les plus élevées sont observées dans le secteur Beauport et les concentrations maximales dans le bras nord de l'île d'Orléans sont plus élevées que dans le chenal principal.

Par rapport aux conditions actuelles, le déplacement de l'émissaire entraîne toutefois une dispersion plus efficace des effluents dans le courant principal du fleuve et il en résulte une diminution notable des concentrations maximales obtenues dans le secteur de Beauport :

- La réduction la plus importante des concentrations est observée le long de la future plage, qui est en retrait par rapport à l'extension portuaire. Aux abords de la plage, les concentrations maximales en conditions futures se situent dans la gamme de 500 à 1 000 ppm en marée de vive-eau (figure 6b) et de 1 000 à 2 000 ppm en morte-eau (figure 7b). En conditions actuelles, les résultats de simulation indiquent des concentrations maximales beaucoup plus élevées, atteignant 50 000 à 100 000 ppm le long de la portion nord de la plage actuelle, et ce tant en vive-eau (figure 4b) qu'en morte-eau (figure 5b).
- Une réduction importante des concentrations maximales est également observée dans le rentrant sud-ouest. Les concentrations maximales en conditions futures y sont dans la gamme de 100 à 500 ppm en vive-eau (figure 6b) et de seulement 20 à 100 ppm en morte-eau (figure 7b). En conditions actuelles, on observe plutôt dans cette zone des concentrations maximales dans la gamme de 10 000 à 20 000 ppm, et ce tant pour les marées de vive-eau (figure 4b) que de morte-eau (figure 5b).
- Dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, les concentrations après aménagement sont toutefois beaucoup plus proches des valeurs actuelles. En marée de vive-eau, les concentrations maximales simulées après aménagement (figure 6b) sont dans la gamme de 10 000 à 20 000 ppm et ne sont que légèrement diminuées par rapport à celles de 20 000 à 50 000 ppm obtenues en conditions actuelles (figure 4b). Tant en conditions actuelles qu'après aménagement, des résultats très similaires sont obtenus en morte-eau, avec des concentrations maximales dans la gamme de 10 000 à 20 000 ppm observées localement (figures 5b et 7b).

Aux prises d'eau potable de Lévis et Saint-Romuald, la modélisation prédit une très légère diminution des concentrations maximales par rapport à celles obtenues en conditions actuelles, mais cette réduction est à peine perceptible en comparant les figures 4 à 7. Il est toutefois clair que l'aménagement projeté n'introduit aucune augmentation des concentrations à ces points. Par extension, la même conclusion peut être appliquée à la prise d'eau de la Ville de Québec située à l'amont de la zone modélisée.

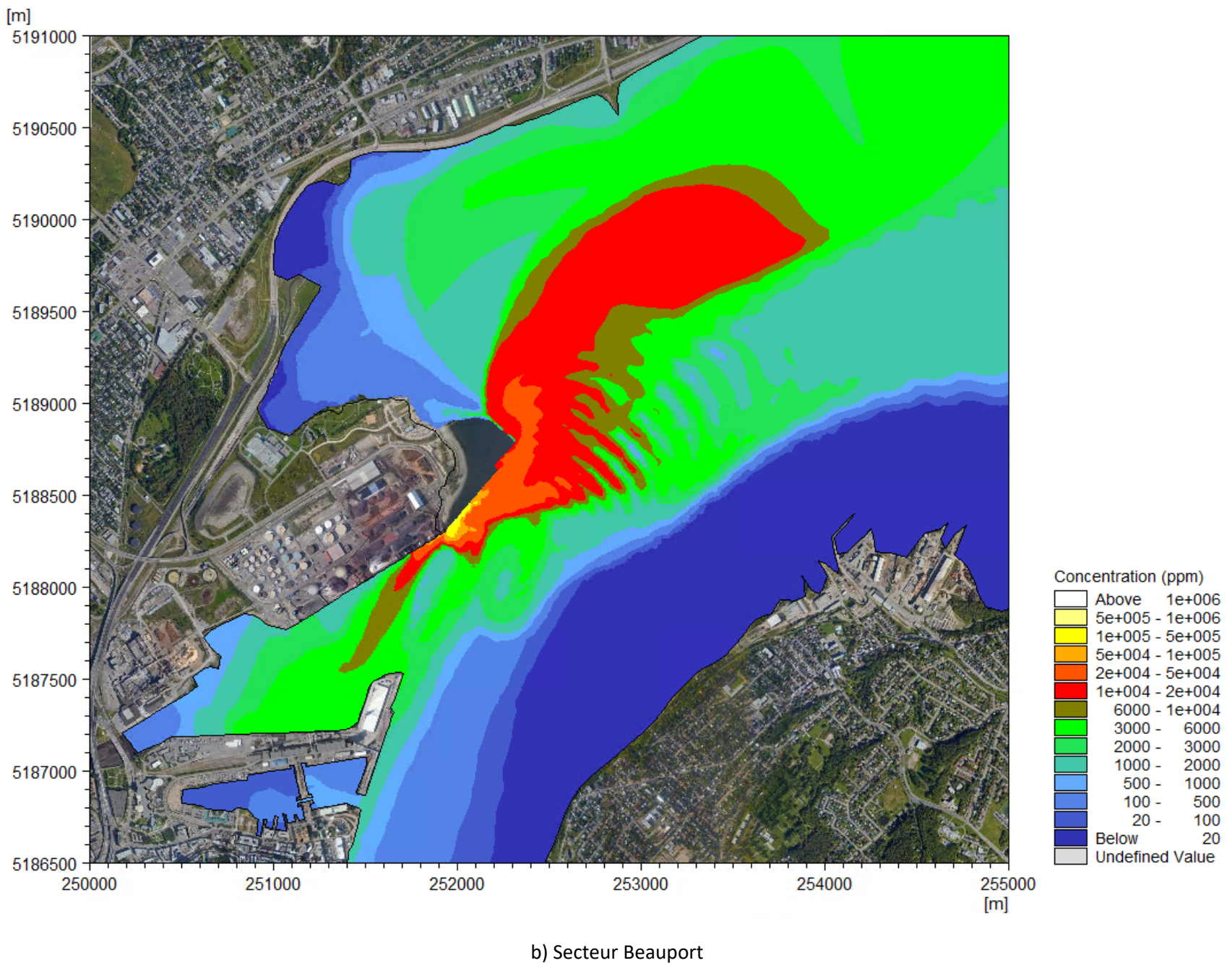
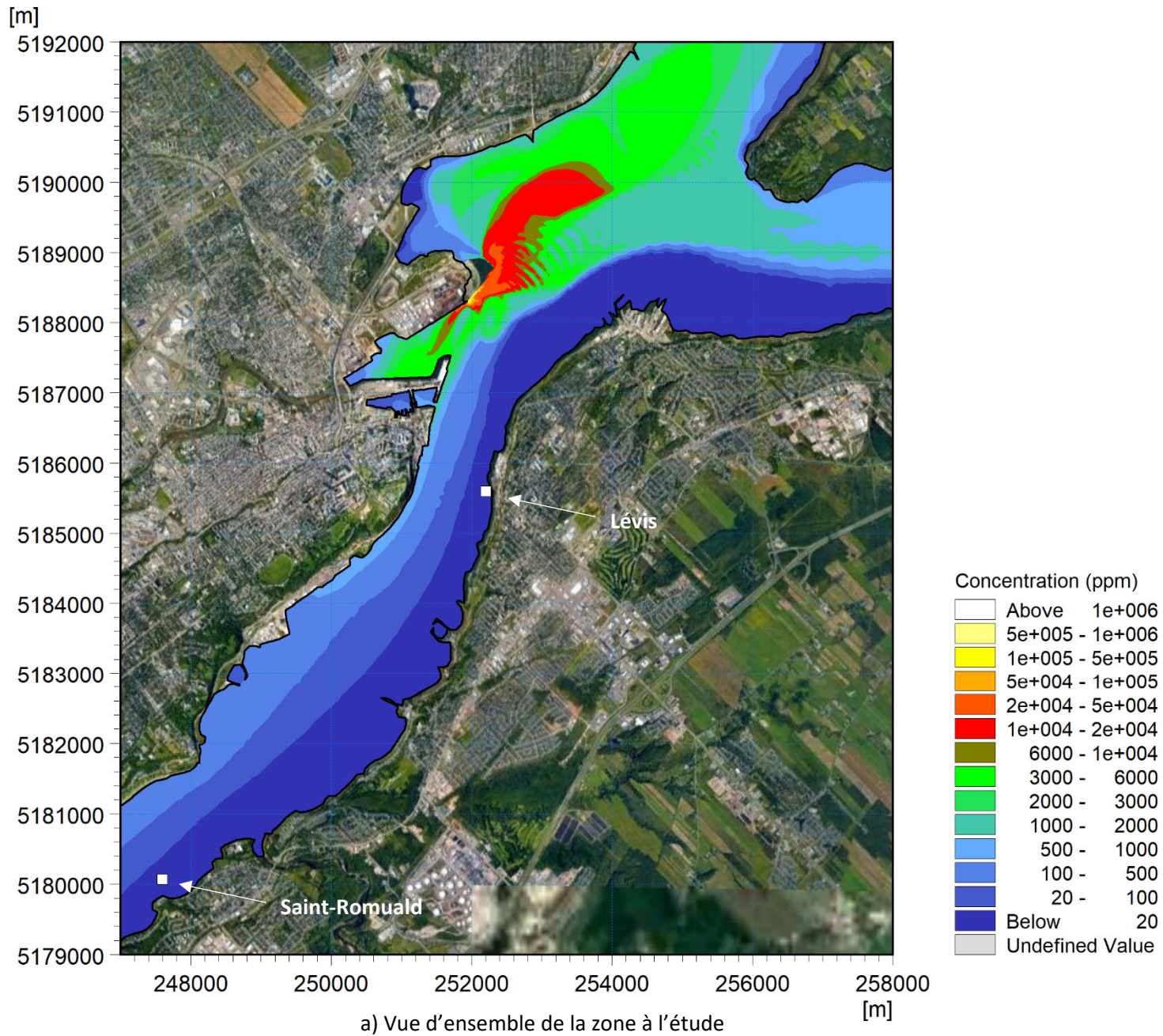
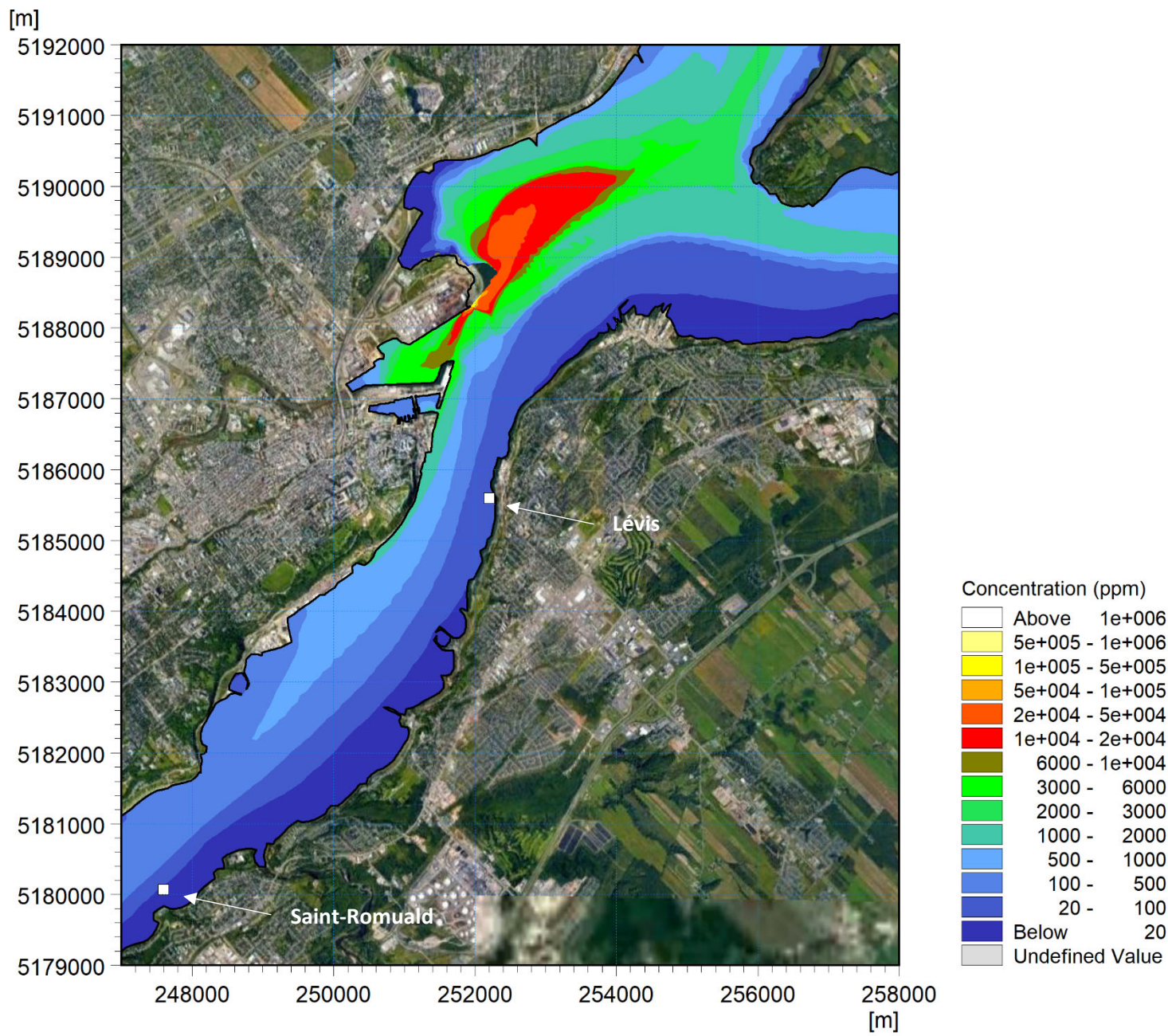
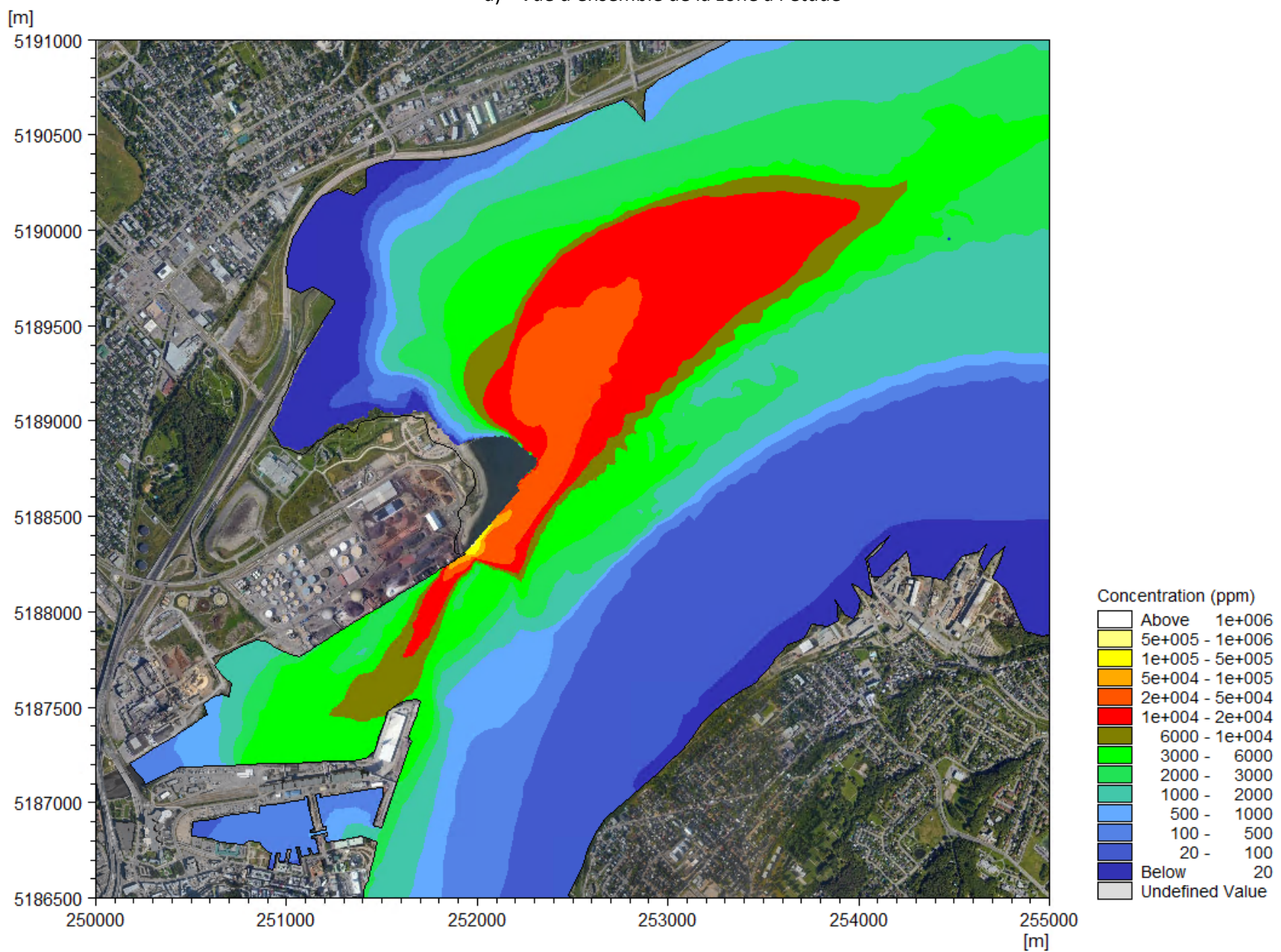


Figure 6 Concentrations maximales obtenues en conditions après aménagement - Marée de vive-eau
(Concentration à la sortie de l'émissaire = 1×10^6 ppm)



a) Vue d'ensemble de la zone à l'étude



b) Secteur Beauport

Figure 7 : Concentrations maximales obtenues en conditions après aménagement - Marée de morte-eau
(Concentration à la sortie de l'émissaire = 1×10^6 ppm)

3 CONCLUSION

Afin de déterminer l'impact potentiel du déplacement de l'émissaire de la Ville de Québec prévu dans le cadre du Projet Laurentia, des simulations du panache de dispersion issu de cet émissaire ont été effectuées en conditions actuelles et après aménagement, pour des marées de vive-eau et de morte-eau.

La position projetée de l'émissaire et la présence de l'extension portuaire favorisent la dispersion des effluents dans le courant principal du fleuve et conduisent ainsi à une diminution tangible des concentrations maximales obtenues dans le secteur Beauport, et ce notamment le long de la future plage.

Le déplacement de l'émissaire et l'extension portuaire ne provoquent aucune augmentation des concentrations maximales d'effluent aux prises d'eau potable situées plus en amont. On observe au contraire une très légère diminution des concentrations maximales par rapport à celles observées en conditions actuelles.

N'hésitez pas à nous contacter pour toute question ou demande d'information supplémentaire

Cordialement,

Lasalle | NHC



Guillaume Lamothe, ing., M.Sc.A.
Ingénieur de projets
No. OIQ 5020370



Marc Villeneuve, ing., M.Ing.
Président
No. OIQ 46139

