

PORT DE QUÉBEC - BEAUPORT 2020
RÉPONSES AUX QUESTIONS D'ORDRE HYDRO-SÉDIMENTAIRES
ÉVALUATION D'IMPACT ENVIRONNEMENTAL

RAPPORT TECHNIQUE

R.0059

Préparé pour:

Administration portuaire de Québec
Québec

Préparé par:

Lasalle | NHC & Consultants Ropars, Inc.
Québec

1^{er} mars 2016

Préparé par:

<Original signé par>

<Original signé par>

Marc Villeneuve, ing., M. ing. OIQ 46139
Président Lasalle | nhc

Yann Ropars, ing., M. Sc. OIQ 34863
Consultants CRI

<Original signé par>

Nicolas Gallant, ing. Jr., M. ing. OIQ 5047189
Ingénieur junior Lasalle | nhc

CLAUSE DE LIMITATION DE RESPONSABILITÉ.

Ce document a été préparé par Lasalle|NHC et Consultants Ropars Inc de façon conforme aux bonnes pratiques d'ingénierie et est destiné à l'usage exclusif 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 que **l'Administration portuaire de Québec.**

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
1.1 Mise en contexte	1
1.2 Méthodologie de la présente étude.....	1
2. ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES	2
2.1 Informations historiques	2
2.2 Modélisations de Lasalle NHC – Patrons de vitesses.....	3
2.3 Modélisations de Lasalle NHC – Vitesses maximales	10
2.4 Influence de la construction des nouveaux quais sur la circulation des courants dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles.....	11
3. COURANTS ET SÉDIMENTS – BAIE DE BEAUPORT.....	12
3.1 Modélisation des vitesses.....	12
3.2 Résultats des modélisations	12
3.3 Interprétation des résultats.....	18
3.3.1 Généralités	18
3.3.2 Bras nord, bras sud et centre du chenal.....	18
3.3.3 Secteur nord-ouest de la baie de Beauport	18
3.3.4 Estuaire de la rivière Saint-Charles.....	18
3.3.5 Rive nord du fleuve entre les quais 22 et 53	18
3.4 Influence sur le déplacement des sédiments	19
4. ÉROSION DE LA PLAGE ACTUELLE	20
4.1 Problématique	20
4.2 Évolution de la topographie de la plage	21
4.3 Modélisation des courants littoraux de tempête.....	22
4.4 Évolution prévisible de la plage actuelle des battures de Beauport	23
5. ÉMISSAIRE D'EAUX USÉES DE LA VILLE DE QUÉBEC.....	25
5.1 Situation actuelle.....	25
5.2 Projet de déplacement de l'émissaire	25
5.3 Localisation des prises d'eau de Lévis et Québec.....	26
5.4 Modélisation de la dispersion - Méthodologie.....	27
5.5 Modélisation de la dispersion – Situation actuelle	28
5.6 Modélisation de la dispersion – Situation future	30
6. CONCLUSIONS	33
6.1 Estuaire de la rivière Saint-Charles.....	33
6.2 Courants dans la baie de Beauport et le fleuve.....	33
6.3 Érosion de la plage actuelle.....	33
6.4 Émissaire d'eaux usées de la Ville de Québec.....	33

ANNEXE A – Érosion de la plage actuelle des battures de Beauport

ANNEXE B – Liste des références

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1 : Circulation des courants de marée dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, une heure avant la marée haute, Roche-1983.....	2
Figure 2.2: Circulation des courants de marée dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, une heure après la marée haute, Roche-1983.....	3
Figure 2.3 : Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (marée montante – 05h40).....	5
Figure 2.4: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (fin de marée montante – 06h30).....	6
Figure 2.5: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (juste après la marée haute – 07h30).....	7
Figure 2.6: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (marée descendante – 08h50).....	8
Figure 2.7: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (marée descendante – 09h40).....	9
Figure 2.8: Différences maximales de vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles sur un cycle complet de marée de vive-eau - Conditions futures versus conditions actuelles	10
Figure 3.1: Vitesse maximale au flot (marée de vive-eau)	13
Figure 3.2: Différence de la vitesse maximale au flot (marée de vive-eau)	14
Figure 3.3: Vitesse maximale au jusant (marée de vive-eau)	15
Figure 3.4: Différence de la vitesse maximale au jusant (marée de vive-eau)	16
Figure 3.5: Différence des vitesses maximales obtenues pendant un cycle complet de vive-eau.....	17
Figure 4.1: Vue aérienne du secteur de Beauport en 2005 (Photo APQ)	20
Figure 4.2: Vue aérienne des installations récréotouristiques de la baie de Beauport en 2005.....	21
Figure 4.3: Transport solide – Vague de tempête de l'est-nord-est.....	23
Figure 5.1: Mouvements du sable sur la plage actuelle	25
Figure 5.2: Localisation de l'émissaire dans le projet de construction des nouveaux quais.....	26
Figure 5.3: Localisation des prises d'eau de Lévis et Québec.....	27
Figure 5.4: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions actuelles - Marée de morte-eau	28
Figure 5.5: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions actuelles - Marée de vive-eau.....	29
Figure 5.6: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions projetées – Marée de morte-eau	30
Figure 5.7: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions projetées – Marée de vive-eau	31

Figure A1 : Secteur de Beauport en 1960	A-1
Figure A2: Secteur de Beauport en 1970	A-2
Figure A3: Secteur de Beauport le 19 octobre 1979.....	A-3
Figure A4: Secteur de Beauport en septembre 1987	A-4
Figure A6: Image satellite de la plage des battures de Beauport	A-7
Figure A7: Limite sud de la zone 1 – Érosion / plaquage de galets (juillet 2003)	A-8
Figure A8:Traces d'un talus d'érosion de niveaux d'eau hauts exceptionnels (juillet 2003)	A-8
Figure A9: Alternance de plaques de sables, graviers et galets dans la zone 2 (juillet 2003)	A-9
Figure A10: Zones avec sable et gravier du côté nord de la plage (juillet 2003)	A-9
Figure A11: Épi stabilisant partiellement l'extrémité nord de la plage des battures (juillet 2003).....	A-10
Figure A12: Zone sableuse-silteuse au nord de l'épi (début du « rentrant sud-ouest ») (juillet 2003)..	A-10
Figure A13: Photo aérienne de 2005 montrant le déplacement des sédiments de la plage vers le rentrant sud-ouest (flèche).	A-11
Figure A14: Différence de topographie de la plage entre 2009 et 2013	A-12
Figure A15: Courants générés par les vagues de tempête d'est sur la plage actuelle	A-14
FigureA16: Courants générés par les vagues de tempête d'est-nord-est sur la plage actuelle	A-15

1. INTRODUCTION

1.1 Mise en contexte

L'Administration portuaire de Québec (APQ) poursuit actuellement son étude du projet d'extension du secteur Beauport, avec la mise en place de deux nouveaux quais (54 et 55). Quatre questions touchant les volets hydro-sédimentaires du projet ont été posées lors de l'étude d'impact environnemental.

Les questions sont :

- Décrire les courants en fonction des marées et inclure la description de la gyre de la **rivière Saint-Charles** (en situation actuelle et en phase post-construction) dans le but de voir l'importance de la gyre sur le poisson;
- Décrire les modifications de la zone de sédimentation, le patron et la vitesse des courants dans le fleuve et le **chenal de l'île d'Orléans**, ainsi que la façon dont les sédiments vont se déplacer après la construction des quais projetés;
- Démontrer le problème d'**érosion de la plage actuelle** afin d'expliquer l'intérêt de la modification de la géométrie de celle-ci;
- Évaluer l'impact potentiel de **contamination des prises d'eau potable** de la ville de Lévis et de la Ville de Québec en relation avec la présence des quais projetés et par le fait que la sortie d'urgence de l'effluent de l'usine de traitement Est des eaux usées de la ville de Québec sera déplacée en façade du nouveau quai.

L'APQ a demandé à Lasalle|NHC et Consultants Ropars Inc. d'apporter des réponses à ces questions.

1.2 Méthodologie de la présente étude

La méthodologie retenue pour répondre aux questions dans des délais relativement courts a été, autant que possible, de récupérer des informations provenant des études antérieures (dont diverses modélisations). Il s'ensuit que certains résultats ne correspondent pas toujours exactement au projet actuellement évalué (variantes). Les commentaires font état de cette contrainte lorsque les différences en lien avec la méthodologie peuvent avoir influencé les résultats présentés. Les modélisations ont cependant été reprises lorsque les résultats antérieurs montraient des divergences suspectes.

2. ESTUAIRE DE LA RIVIÈRE SAINT-CHARLES

2.1 Informations historiques

Des relevés de courants de marée de type « traceurs » avaient été faits dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles dans le cadre du rapport Roche-1983¹. Ces relevés indiquaient la présence d'une trajectoire de type circulaire (dans le sens horaire) des courants de marée dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles (figures 2.1 et 2.2).

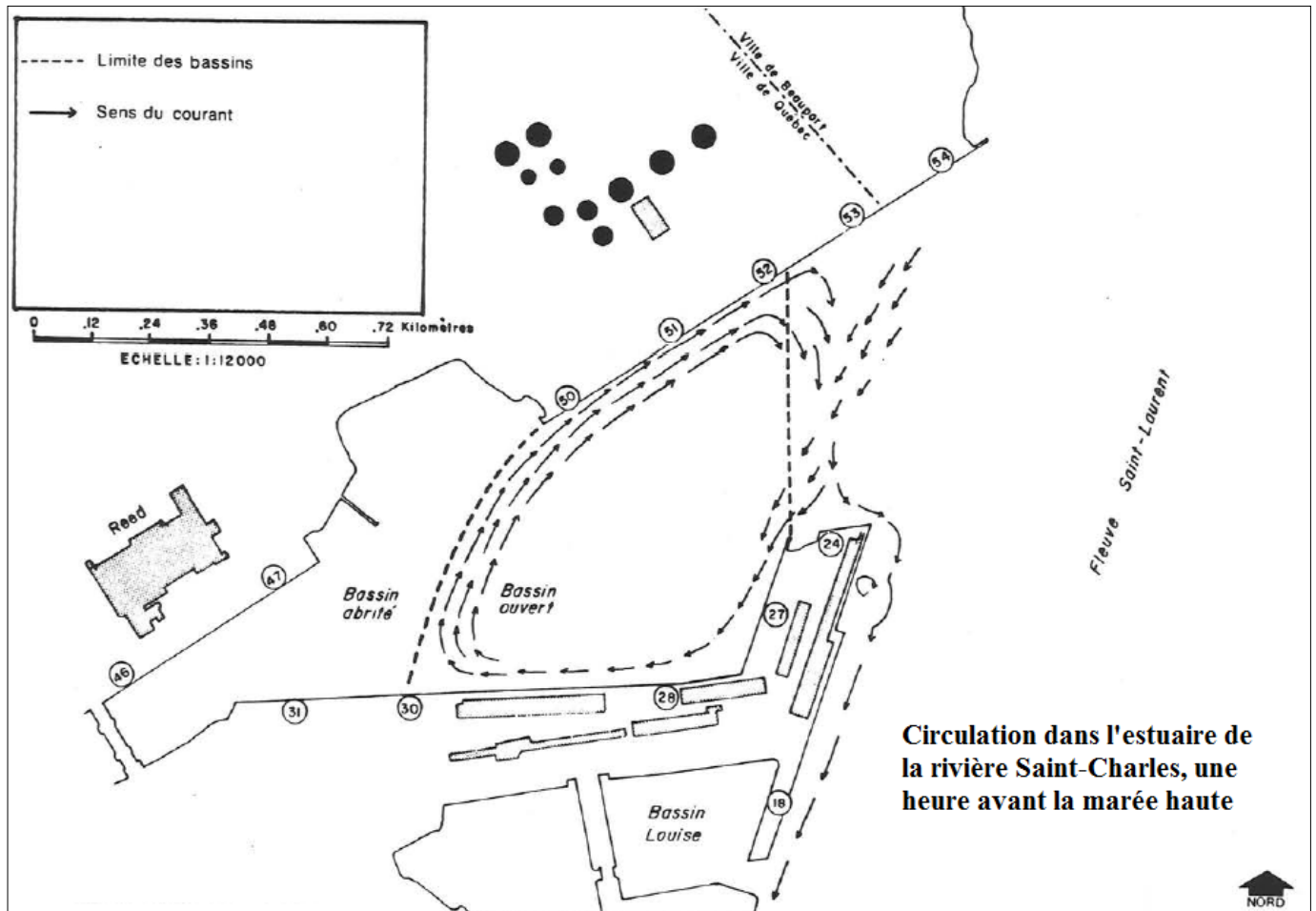


Figure 2.1 : Circulation des courants de marée dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, une heure avant la marée haute, Roche-1983

¹ Roche, « Dragage dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles – Étude d'impact sur l'environnement », Rapport réalisé pour la Papeterie REED Ltée. Dossier 2928, Mai 1983

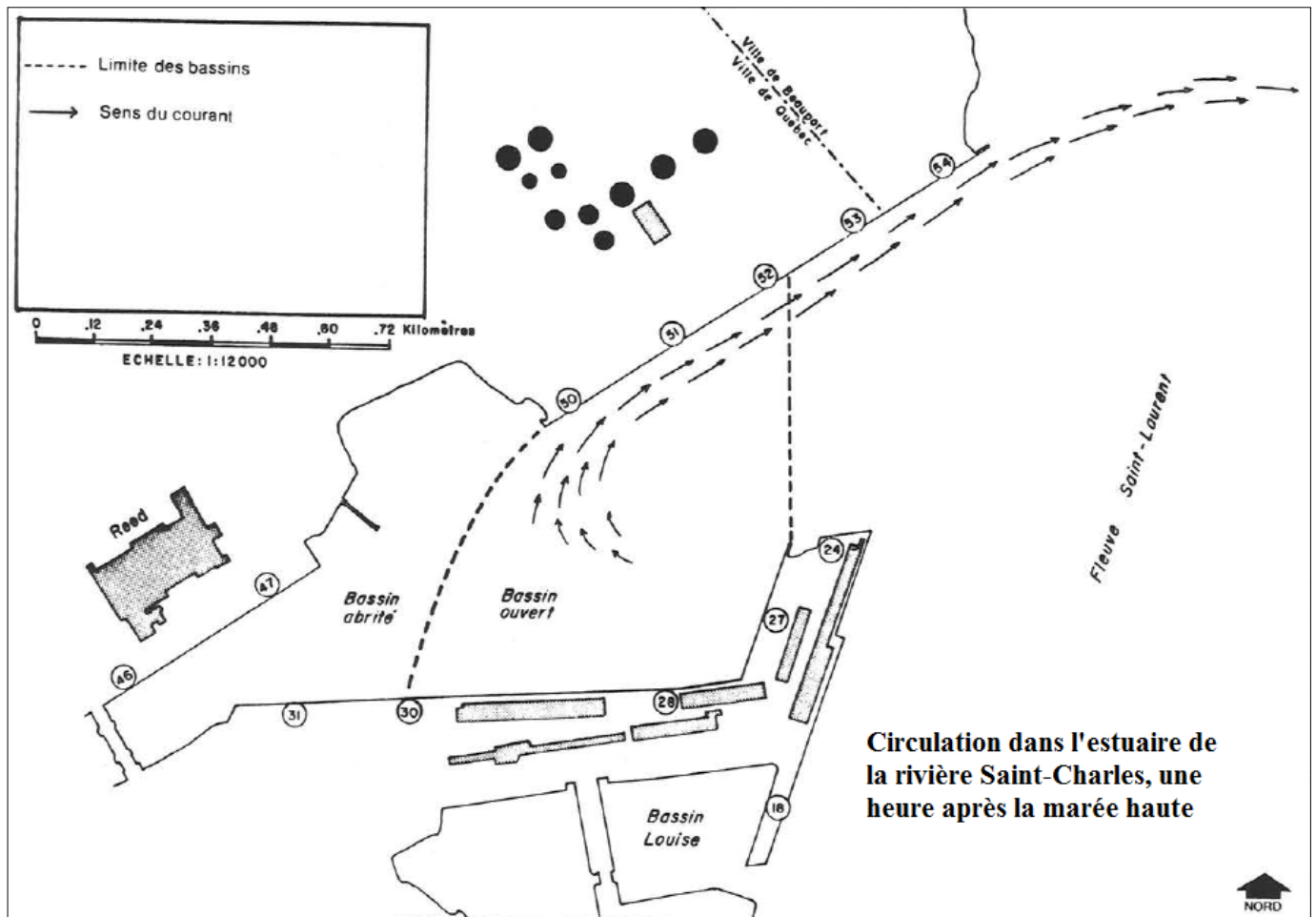


Figure 2.2: Circulation des courants de marée dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, une heure après la marée haute, Roche-1983

2.2 Modélisations de Lasalle | NHC – Patrons de vitesses

Dans le cadre du présent mandat, la modélisation des courants de marée a été refaite par Lasalle | NHC en marée de vive-eau pour les conditions actuelles et les conditions futures, suite à la construction des 610 m de nouveaux quais (configuration du secteur Beauport du rapport Lasalle|NHC 2016²). Un vidéo des conditions d'écoulement comparées dans la zone du bassin de la rivière Saint-Charles est disponible (montage d'images aux 10 minutes).

² Lasalle|NHC, "Port de Québec – Extension du secteur Beauport – Nouvelles variantes d'aménagement des plages", Rapport technique No 0057 présenté à l'Administration portuaire de Québec, Février 2016

Au début de la marée montante (02h00), les courants dans le bassin de l'estuaire de la rivière Saint-Charles sont faibles à très faibles. La gyre, qui suit un sens horaire, commence à apparaître à l'entrée du bassin du côté fleuve à mi marée montante (04h20).

La gyre se propage ensuite vers l'intérieur du bassin pour se fixer en position une heure plus tard (05h20). Les courants modélisés dans la gyre en conditions futures sont légèrement plus forts que ceux modélisés en conditions actuelles (figure 2.3 – 05h40). Dans ce cas, on constate une diminution des vitesses le long du quai 52 en conditions futures.

La figure 2.4 (fin de marée montante – 06h30) illustre la légère augmentation, en conditions futures, des vitesses de courants dans la gyre et l'augmentation des vitesses de courants le long du quai 52.

La figure 2.5 (juste après la marée haute – 07h30) montre encore des vitesses de courants dans la gyre légèrement supérieures en conditions futures.

La figure 2.6 (marée descendante – 08h50) montre un phénomène qui touche l'entrée du bassin. Alors qu'en conditions actuelles, une petite gyre se développe juste à l'extérieur de l'entrée du bassin, en conditions futures, cette gyre en sens horaire prend une certaine ampleur, au point d'être en mesure de nuire aux manœuvres des navires entrant dans le bassin. Il serait recommandé d'éviter que les navires se trouvent à l'entrée du bassin à cette heure de marée. Le phénomène est transitoire et de courte durée, ce qui devrait permettre d'éviter cet épisode sans nuire sérieusement aux manœuvres des navires.

La figure 2.7 (mi marée descendante – 09h40) illustre une autre gyre qui se développe de manière transitoire dans l'entrée du bassin. Contrairement aux autres gyres, celle-ci se tourne en sens antihoraire. Dans ce cas, les vitesses en conditions actuelles et futures sont très similaires.

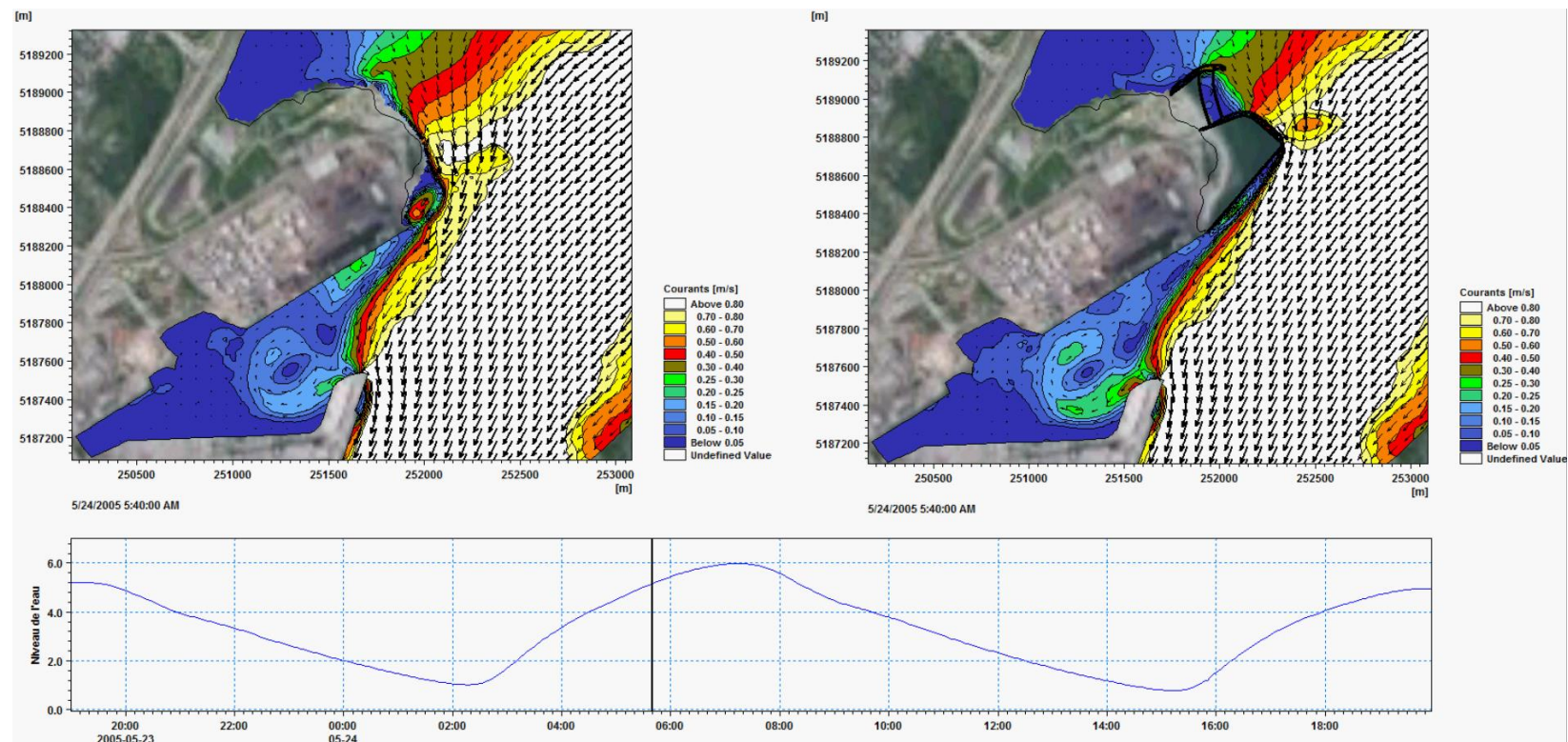


Figure 2.3 : Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (marée montante – 05h40)

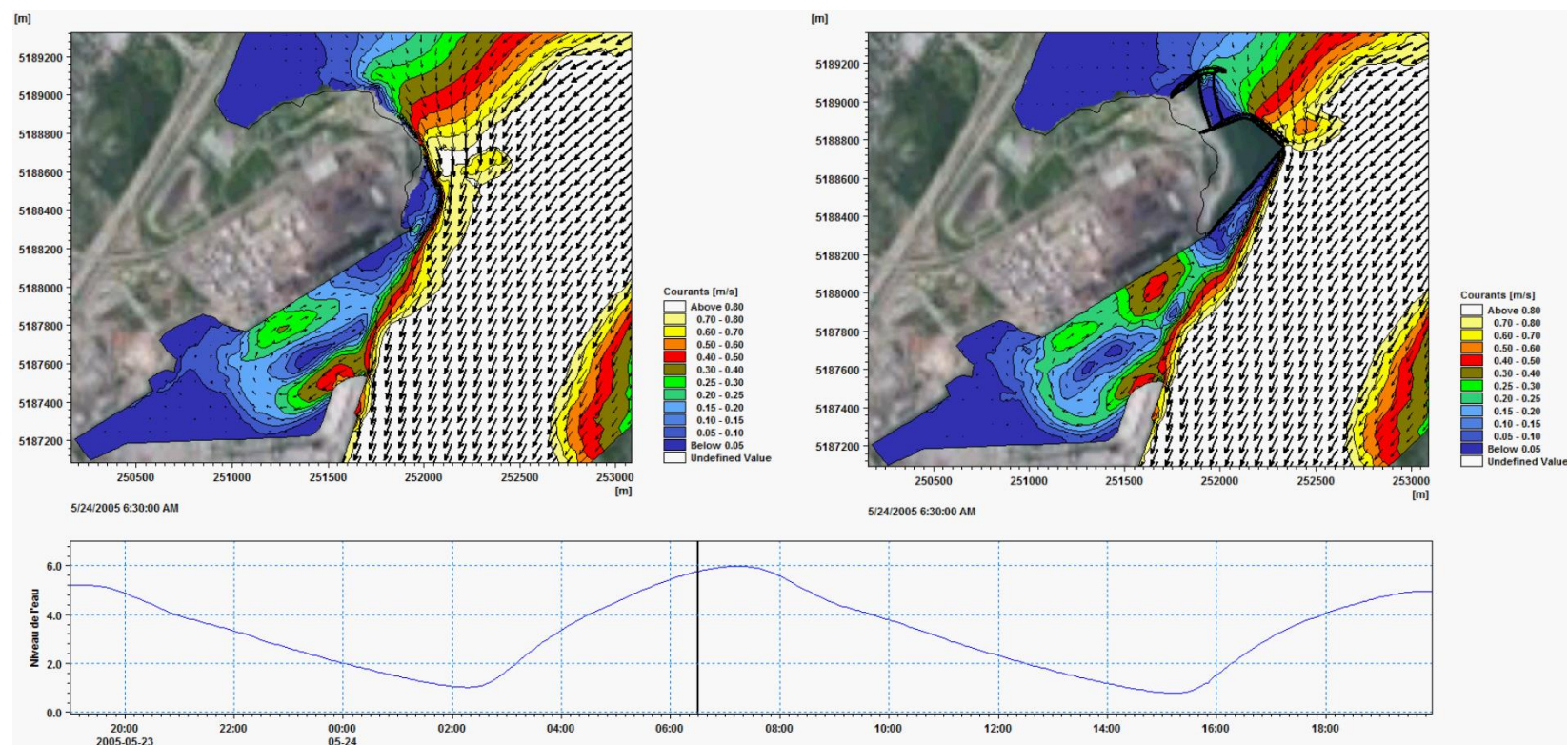


Figure 2.4: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (fin de marée montante – 06h30)

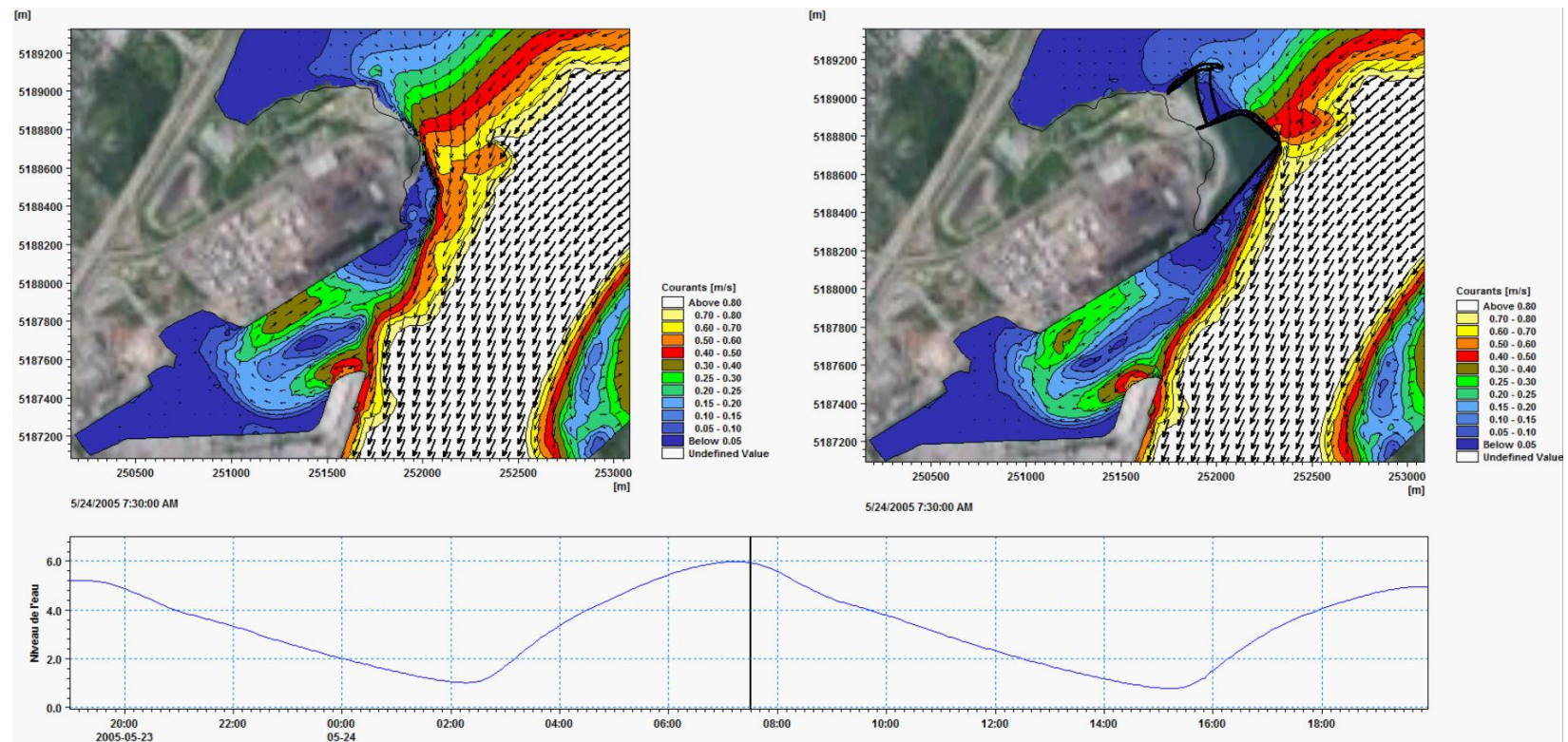


Figure 2.5: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (juste après la marée haute – 07h30)

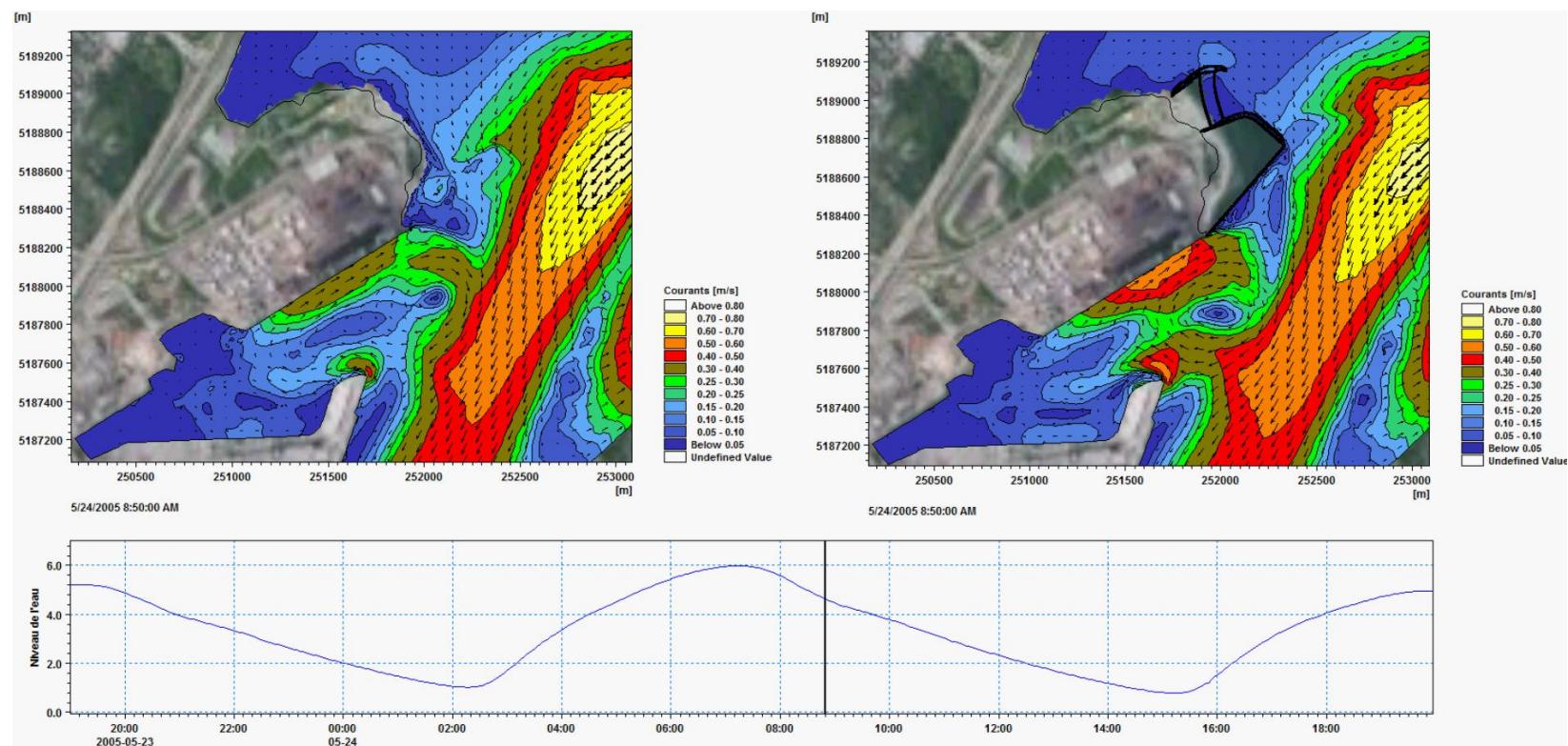


Figure 2.6: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (marée descendante – 08h50)

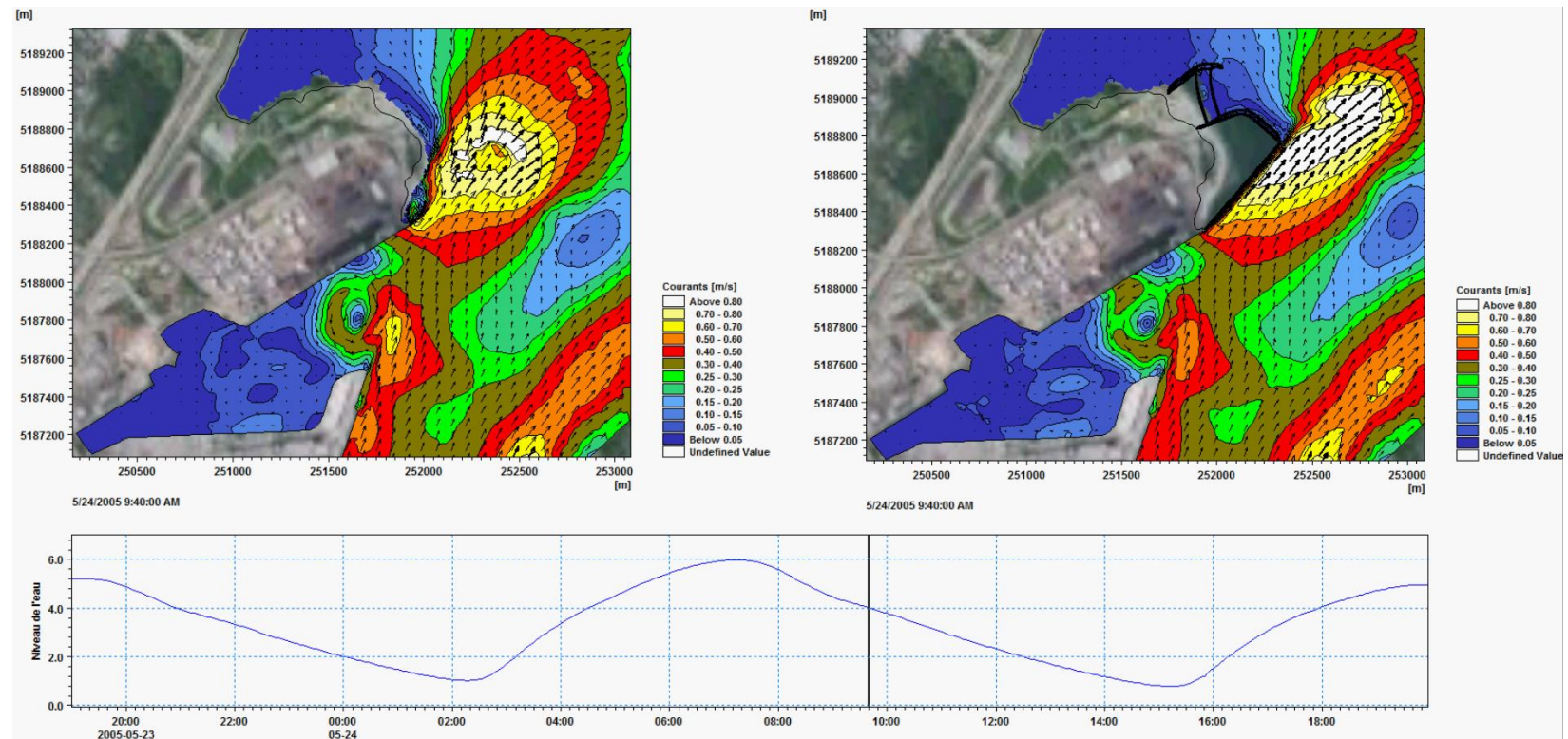


Figure 2.7: Vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles en conditions actuelles et futures (marée descendante – 09h40)

2.3 Modélisations de Lasalle | NHC – Vitesses maximales

La comparaison en conditions actuelles et futures des vitesses maximales des courants dans le bassin de l'estuaire de rivière Saint-Charles a été faite afin de déterminer l'impact du prolongement des quais. La figure 2.8 illustre l'écart des vitesses maximales (intégrées pendant un cycle complet de vive-eau) obtenu entre les conditions futures et actuelles. Dans le bassin lui-même, les différences sont en général inférieures à 10 cm/s, majoritairement en légère augmentation.

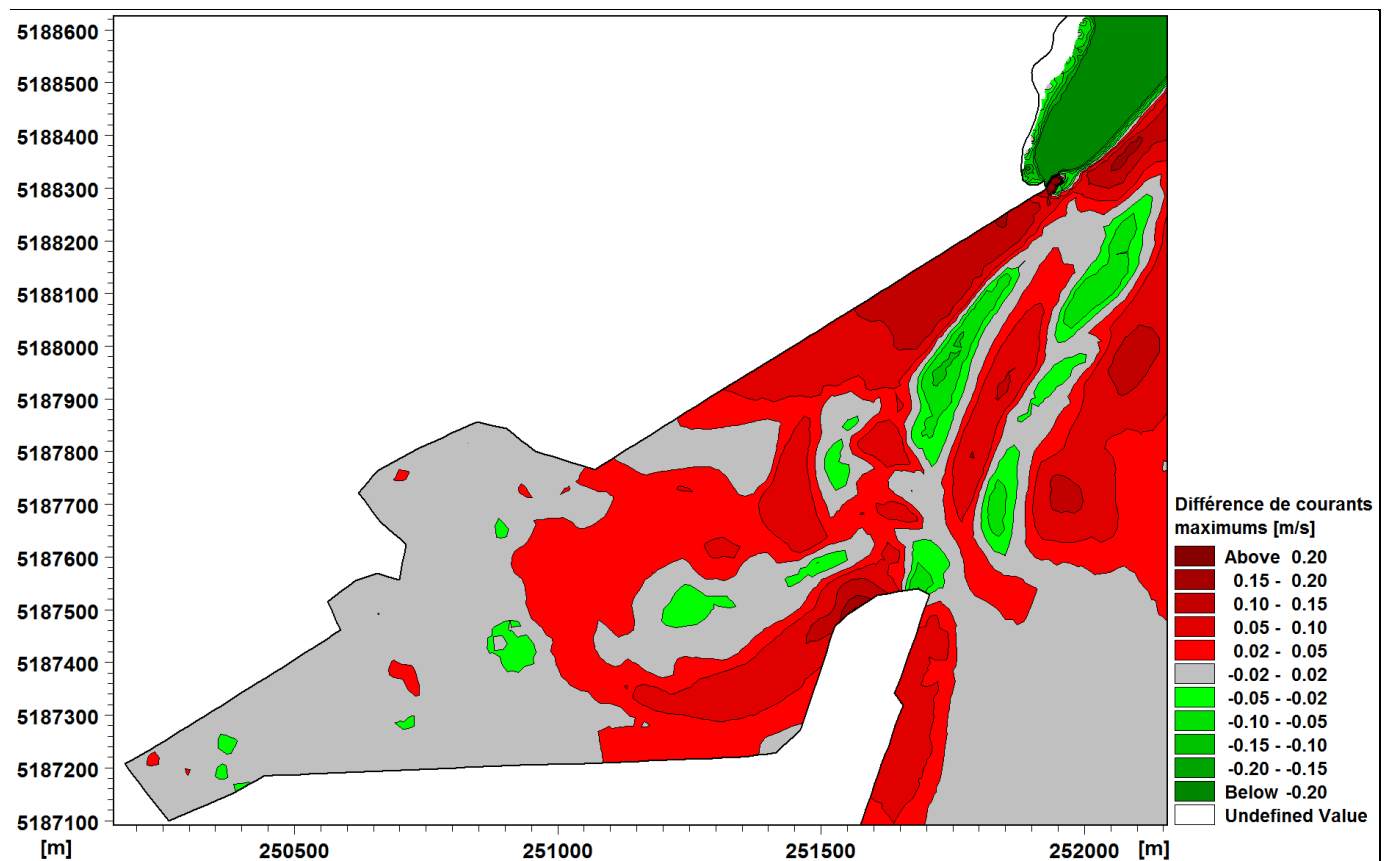


Figure 2.8: Différences maximales de vitesses modélisées dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles sur un cycle complet de marée de vive-eau - Conditions futures versus conditions actuelles

2.4 Influence de la construction des nouveaux quais sur la circulation des courants dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles

Comme la différence de vitesse perdure pendant environ trois heures pour une marée montante de vive eau, il est possible qu'il se produise un peu moins de sédimentation dans le bassin en conditions futures par rapport aux conditions actuelles. Par contre, la perturbation des sédiments par les hélices des navires et des remorqueurs pourrait faire en sorte qu'aucun impact en termes de sédiments ne soit perceptible après la construction des nouveaux quais.

En ce qui concerne le poisson, même si l'augmentation de vitesse est sensible étant donné les relativement faibles vitesses dans le bassin (maximum d'environ 30 cm/s), le bassin continue à offrir des conditions de vitesses similaires en conditions actuelles et futures, à condition de légèrement se déplacer dans le bassin. Il faudrait disposer d'une identification des aires privilégiées par le poisson pour espérer qualifier (sans parler de quantifier) l'impact de ce changement de vitesses de courant qui se produit lors de la marée montante. Les différences de vitesses sont négligeables en dehors de cette phase particulière de trois heures à marée montante, sur un cycle d'environ treize heures.

Une des préoccupations soulevées dans le rapport Roche-1983 était la stagnation des eaux dans le bassin de l'estuaire de la rivière Saint-Charles. La modélisation en présence des nouveaux quais montre que les échanges d'eau entre le fleuve et le bassin devraient être légèrement plus importants en conditions futures qu'en conditions actuelles. Le renouvellement des eaux du bassin devrait être amélioré par la présence des nouveaux quais.

3. COURANTS ET SÉDIMENTS – BAIE DE BEAUPORT

3.1 Modélisation des vitesses

Dans le cadre du présent mandat, la modélisation des courants de marée dans la baie de Beauport et les bras nord et sud de l'île d'Orléans a été refaite par Lasalle|NHC pour la configuration actuelle des quais et pour la variante finale de 2015 de l'extension portuaire incluant la nouvelle plage (rapport Lasalle|NHC 2016³).

Cet exercice a été rendu nécessaire parce que les différentes modélisations précédentes n'utilisaient pas la même grille de calcul, ce qui entraînait des différences purement numériques lors de l'interpolation requise pour générer les figures.

3.2 Résultats des modélisations

Les figures 3.1 et 3.3 illustrent les **directions et intensités** des vitesses de courant au flot et au jusant en marée de vive-eau pour les deux configurations des infrastructures portuaires de Beauport (actuelle et projetée).

Les figures 3.2 et 3.4 illustrent les **différences de vitesse maximale** de courant au flot et au jusant en marée de vive eau pour les deux configurations des infrastructures portuaires de Beauport (actuelle et projetée).

La figure 3.5 illustre les **différences des vitesses maximales** intégrées pendant le cycle complet de marée de vive-eau pour les deux configurations des infrastructures portuaires de Beauport (actuelle et projetée).

³ Lasalle|NHC, “Port de Québec – Extension du secteur Beauport – Nouvelles variantes d'aménagement des plages”, Rapport technique No 0057 présenté à l'Administration portuaire de Québec, Février 2016

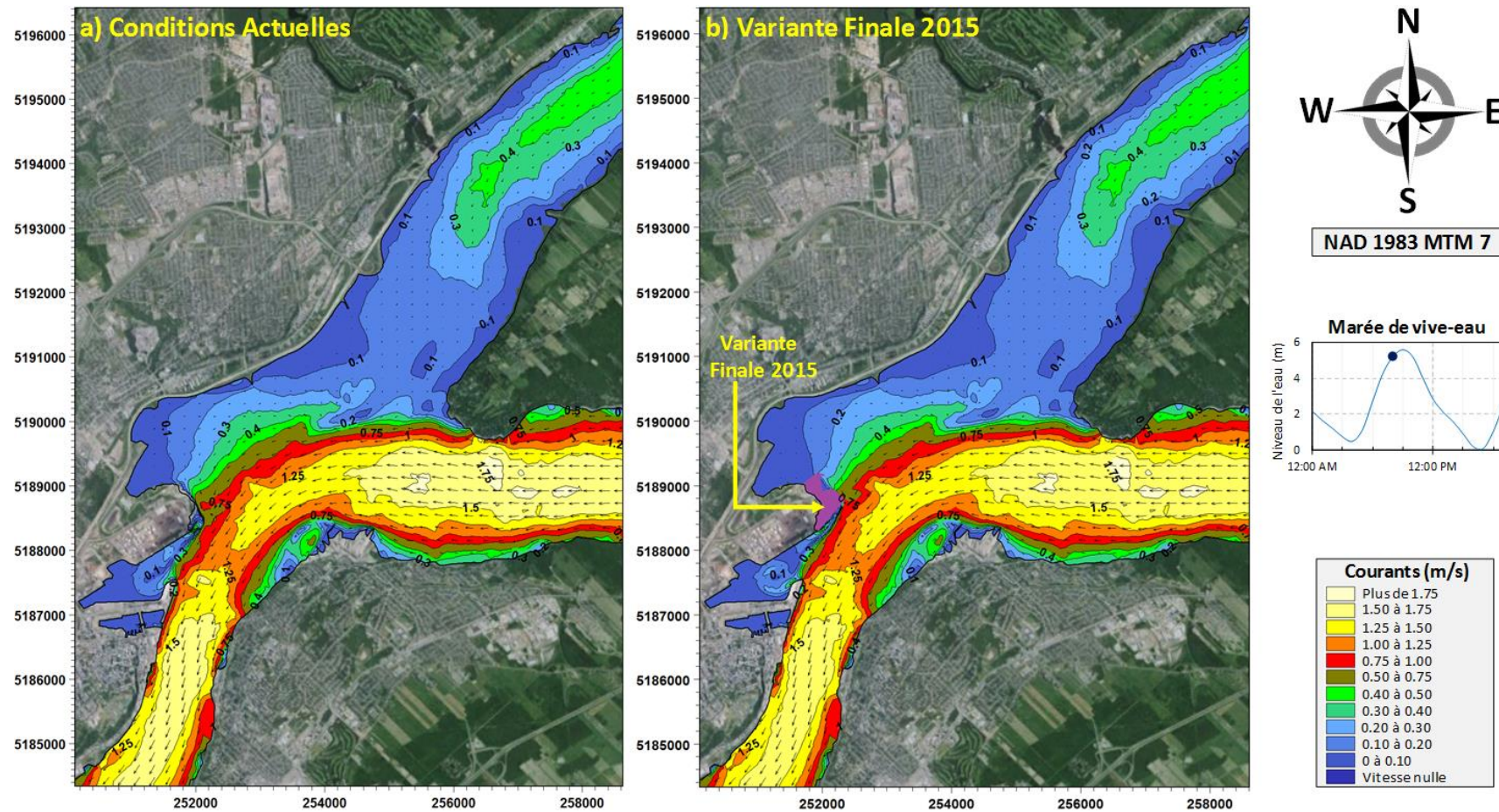


Figure 3.1: Vitesse maximale au flot (marée de vive-eau)

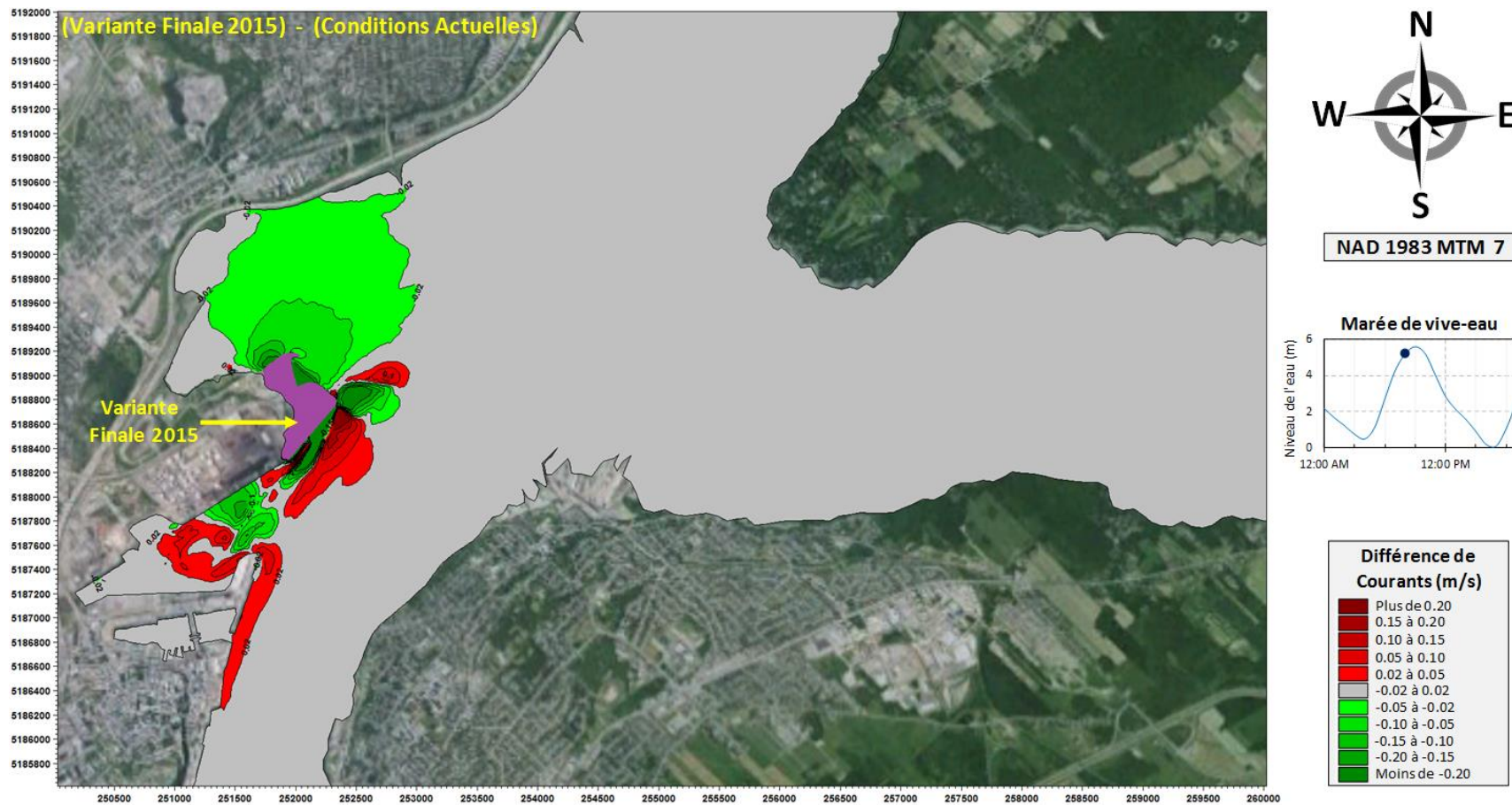


Figure 3.2: Différence de la vitesse maximale au flot (marée de vive-eau)

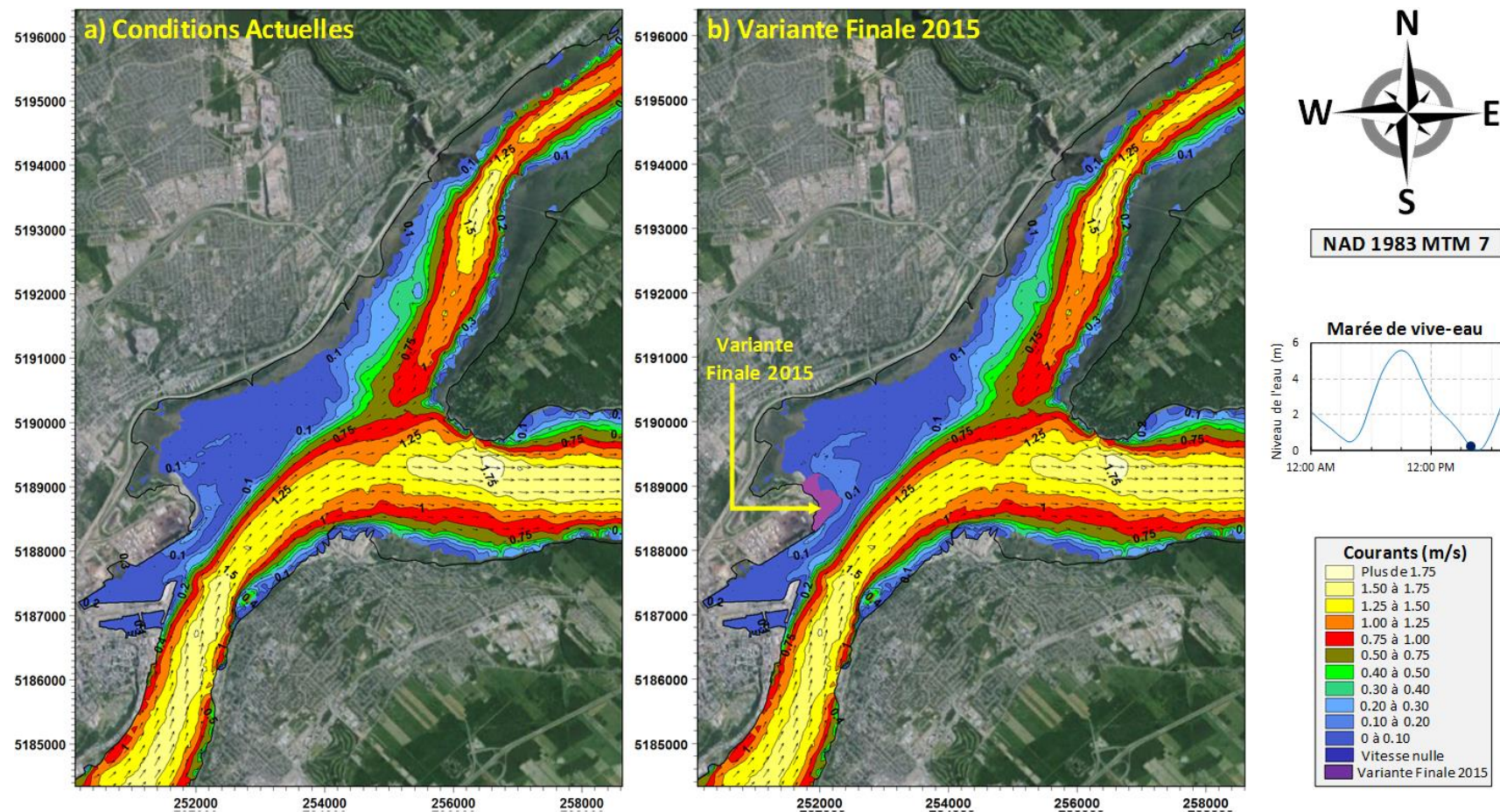


Figure 3.3: Vitesse maximale au jusan (marée de vive-eau)

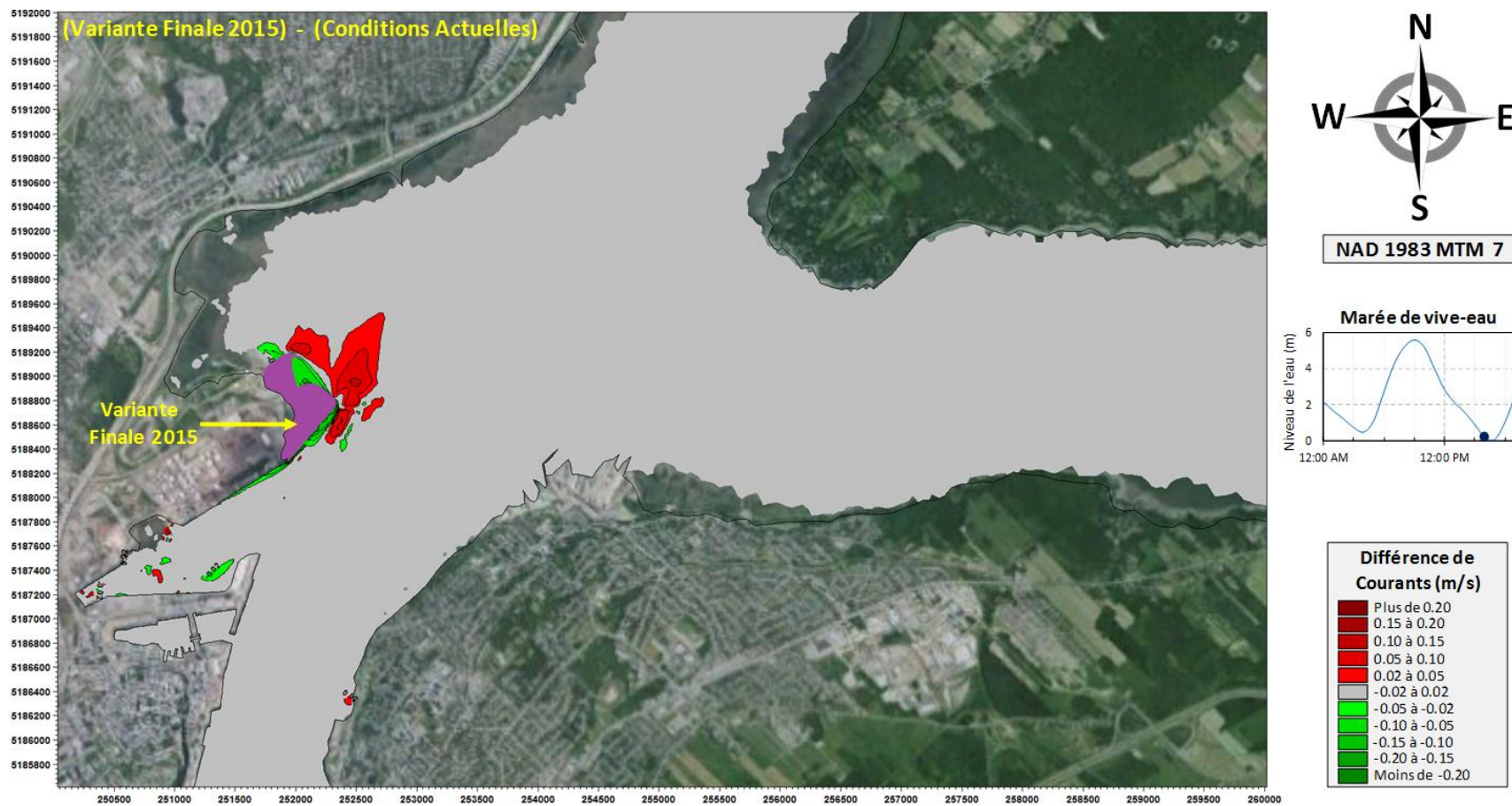


Figure 3.4: Différence de la vitesse maximale au jusant (marée de vive-eau)

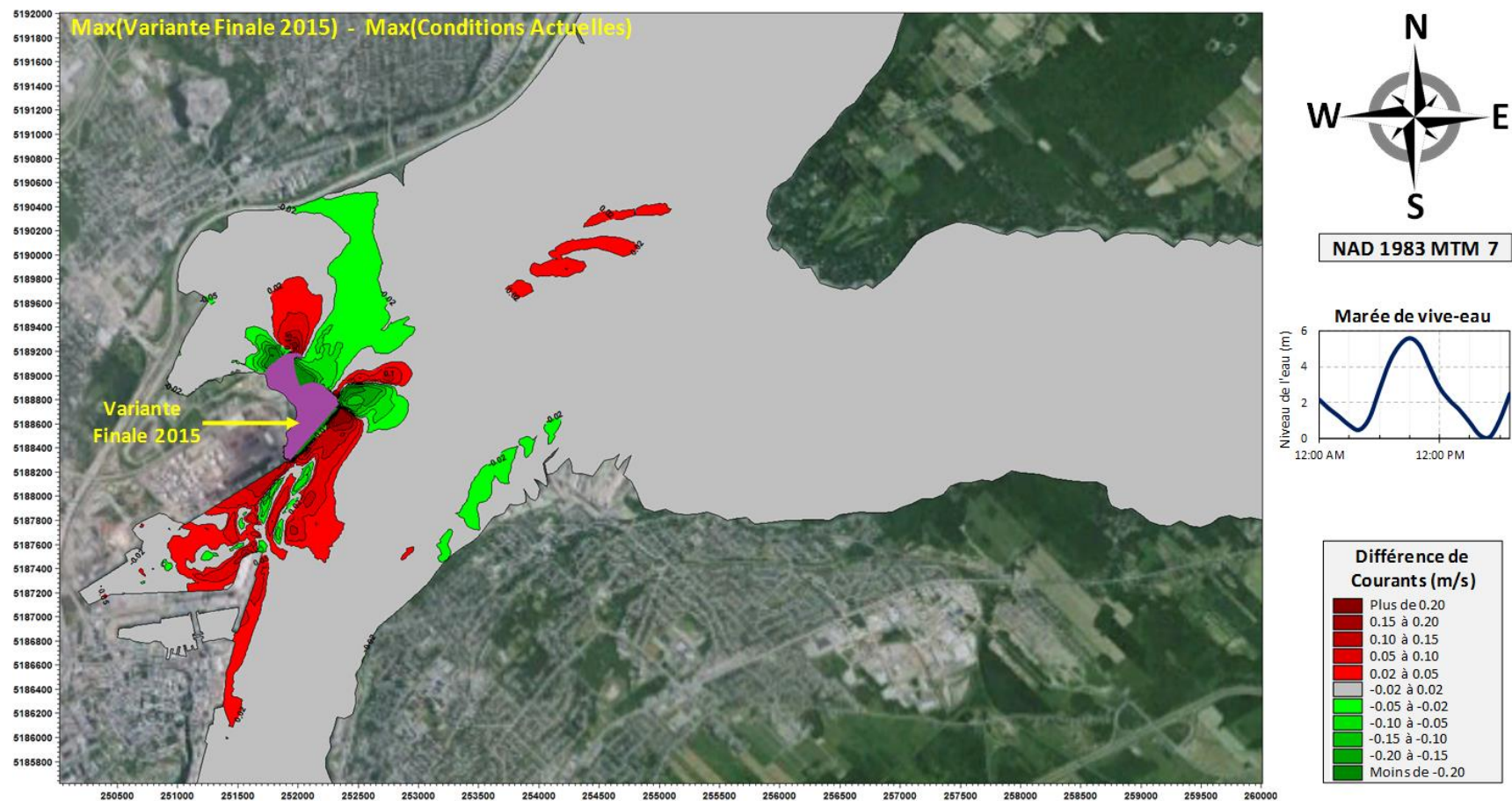


Figure 3.5: Différence des vitesses maximales obtenues pendant un cycle complet de vive-eau

3.3 Interprétation des résultats

3.3.1 Généralités

Les différences maximales de vitesse identifiées par la modélisation des deux configurations du secteur Beauport (actuelle versus projetée) lors d'une marée de vive-eau sont de l'ordre de 20 cm/s, en plus ou en moins (figures 3.2, 3.4 et 3.5). Les vitesses de courant lors d'une telle marée de vive-eau peuvent atteindre 1,75 m/s dans cette partie du fleuve (figures 3.1 et 3.3 – Bras principal du fleuve à hauteur de Sainte-Pétronille-I.O.).

Sauf aux abords immédiats des infrastructures portuaires projetées de Beauport, ces variations de vitesse se produisent de façon relativement transitoire lors du cycle de marée.

3.3.2 Bras nord, bras sud et centre du chenal

Les différences de vitesse de courant modélisées dans le centre du fleuve et dans les bras du fleuve passant au sud et au nord de l'île d'Orléans sont très minimales (moins de 2 cm/s – figures 3.2, 3.4 et 3.5)).

3.3.3 Secteur nord-ouest de la baie de Beauport

Au flot, la mise en place des nouvelles infrastructures portuaires et récréotouristiques du secteur de Beauport provoquerait une diminution générale des courants dans la partie nord-ouest de la baie de Beauport (figure 3.2). Les différences de vitesse augmentent en partant du large vers la nouvelle plage.

Au jusant, la mise en place des nouvelles infrastructures portuaires et récréotouristiques du secteur de Beauport provoquerait une augmentation très localisée des courants immédiatement à l'est des nouvelles infrastructures (figure 3.4).

3.3.4 Estuaire de la rivière Saint-Charles

Au flot, la mise en place des nouvelles infrastructures portuaires et récréotouristiques du secteur de Beauport provoquerait une diminution générale de l'ordre de 10 cm/s des vitesses de courant près de la sortie du bassin vers le fleuve et une augmentation 5 à 10 cm/s de ces vitesses au centre du bassin, entre les quais 28 et 50 (figure 3.2). Le fond du bassin (quais 30, 31, 46 et 47) n'est pas affecté par ces différences de vitesse.

Au jusant, les vitesses de courant restent pratiquement inchangées dans tout l'estuaire de la rivière Saint-Charles (figure 3.4).

Sur l'ensemble du cycle de marée, la tendance est à l'augmentation de l'ordre de 5 à 10 cm/s des vitesses de courant dans la moitié orientale du bassin (quais 24 à 28 et 50 à 53 - figure 3.5 et chapitre 2).

3.3.5 Rive nord du fleuve entre les quais 22 et 53

Les variations de vitesse de courant entre les deux configurations évaluées se produisent uniquement au flot et se traduisent par une augmentation de cette vitesse ne dépassant pas en général 10 cm/s (figures 3.2 et 3.5), alors que la gamme de vitesse à ce stade de marée et à cet endroit est de l'ordre du m/s.

3.4 Influence sur le déplacement des sédiments

Dans les parties profondes du fleuve, les augmentations ou diminutions de vitesse de courant anticipées ne devraient pas avoir une influence significative sur le comportement général des sédiments. Les différences de vitesses sont en général transitoires et marginales et elles ne remettent pas en cause la dynamique sédimentaire de ces secteurs.

Dans les parties moins profondes comme les environs de la zone récréotouristique de Beauport, la dynamique sédimentaire pourrait être influencée par la réduction de vitesse des courants au flot, à condition de ne pas être dans une zone où l'action des vagues domine en termes de dynamique sédimentaire (comme la face orientale des nouvelles infrastructures). La partie du rentrant sud-ouest située immédiatement au nord de la nouvelle plage pourrait être le site de déposition de sédiments fins, étant donné la protection contre les vagues offerte par les nouveaux aménagements.

Dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles, l'augmentation de vitesse de courant de la gyre, qui est transitoire et de relativement faible amplitude (environ 10 cm/s – voir figure 3.5 et chapitre 2), ne devrait pas influencer de façon significative la dynamique sédimentaire de cet estuaire.

4. ÉROSION DE LA PLAGE ACTUELLE

4.1 Problématique

Dans sa partie récréotouristique, la plage de Beauport (figure 4.1) est une plage artificielle créée à l'occasion de la construction des quais 50 à 53 entre 1960 et 1978. Des photos aériennes illustrent cette évolution dans la première partie de l'annexe "A" qui présente des informations détaillées des analyses réalisées sur la plage.



Figure 4.1: Vue aérienne du secteur de Beauport en 2005 (Photo APQ)

La géométrie de cette plage a progressivement été modifiée sous l'effet des vagues dominantes du secteur est dans cette partie de la baie de Beauport. Les sédiments se trouvant sur la plage (partie droite de la photo de la figure 4.1) sont progressivement transportés du sud vers le nord (de gauche à droite sur la photo), créant la flèche sablonneuse qui apparaît à l'extrémité nord de la plage (figure 4.2).

Les phénomènes observés sur place incluent l'érosion des rives (figures A7 et A8), la migration des sables vers le nord puis vers le rentrant sud-ouest (figures A9 à A12) et l'augmentation de la proportion de gravier sur la plage. L'invasion du sable dans le rentrant sud-ouest nuit aux végétaux qui s'y trouvent (figure A12).

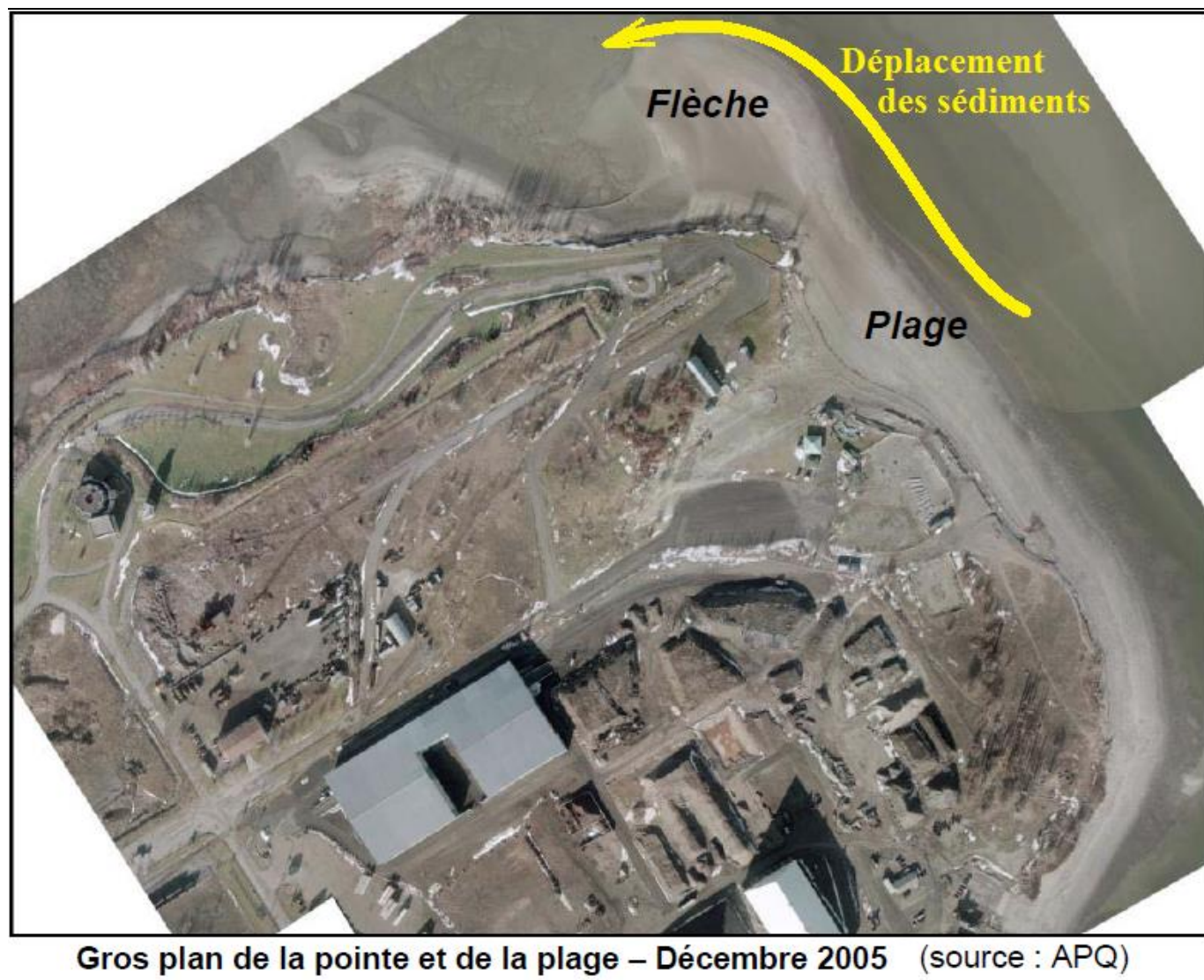


Figure 4.2: Vue aérienne des installations récréotouristiques de la baie de Beauport en 2005

4.2 Évolution de la topographie de la plage

Un calcul de la différence de topographie de la plage des battures de Beauport entre 2009 et 2013 a mis en évidence le recul de la plage (voir figure A14). Des différences d'altitude de l'ordre du mètre ont été relevées dans la partie supérieure de la plage entre ces deux relevés.

4.3 Modélisation des courants littoraux de tempête

Lasalle | NHC⁴ a réalisé des modélisations des courants littoraux lors des tempêtes d'est ou d'est-nord-est (tempêtes dominantes de ce milieu côtier).

Ces modélisations ont démontré l'intensité (0,5 m/s) des courants littoraux que produisaient les vagues de tempêtes (figures A15 et A16) et leur orientation vers le nord, pour ce qui est de la partie récréotouristique de ce secteur.

Des modélisations hydro-sédimentaires ont également été réalisées pour évaluer le potentiel de transport littoral de ces vagues de tempêtes. La figure 4.3 illustre le résultat de l'un de ces calculs de mouvements sédimentaires pour une vague de l'est-nord-est de 0,8 m de hauteur significative. Les quantités de matériaux déplacés par les vagues dépassent $2 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{m/s}$. Ces quantités deviennent significatives reportées sur l'ensemble de la saison des tempêtes. La moindre présence des glaces avec les changements climatiques en cours permettra à plus de tempêtes de mobiliser les sédiments de la plage.

⁴ Le Groupe-conseil LaSalle, "Port de Québec – Legs fédéral de 2008 – Site de la baie de Beauport (J-4512) – Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales », Rapport No 1605 présenté à l'Administration portuaire de Québec, Avril 2006

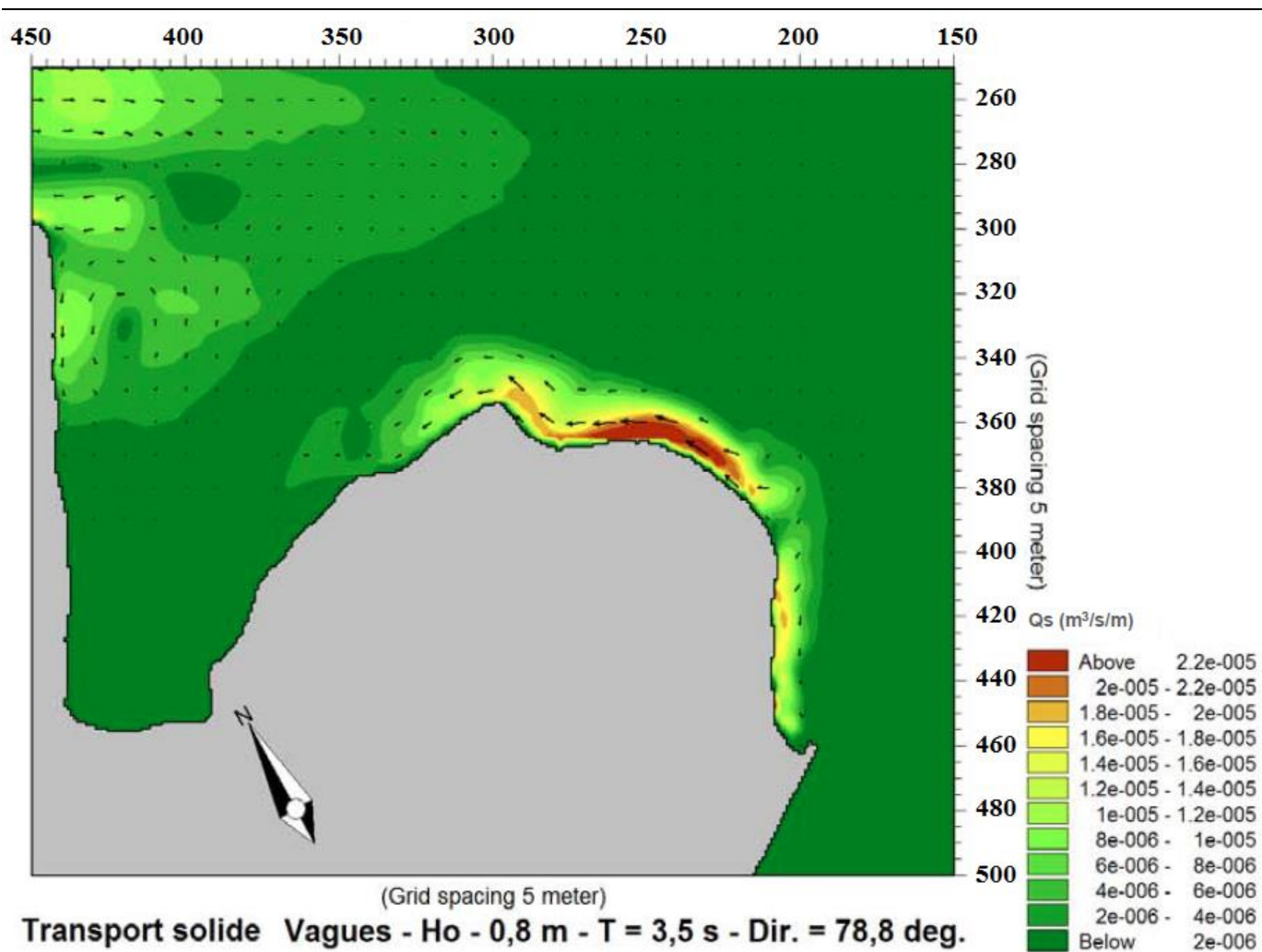


Figure 4.3: Transport solide – Vague de tempête de l'est-nord-est

4.4 Évolution prévisible de la plage actuelle des battures de Beauport

Sans intervention, les sédiments de la plage actuelle des battures de Beauport vont continuer à migrer vers le nord et le rentrant sud-ouest, sous l'influence des vagues de tempêtes qui les soulèvent dans la colonne d'eau et les déplacent (courants induits par les vagues). Les sables qui constituent la partie fine des sédiments de cette plage seront les premiers matériaux à être extraits de la zone récréotouristique par les vagues pour aller se déposer dans les zones plus calmes du rentrant sud-ouest.

Il suffit d’arpenter la zone littorale au sud de la zone touristique (figure A7) pour observer ce que va devenir la plage actuelle des battures de Beauport, soit une plage de graviers et galets qui constituent la partie grossière des sédiments avec lesquels a été créée cette plage.

5. ÉMISSAIRE D'EAUX USÉES DE LA VILLE DE QUÉBEC

5.1 Situation actuelle

Les événements de surverse du système de traitement des eaux usées de la Ville de Québec, suite à des pluies très abondantes, provoquent l'évacuation d'une partie des eaux usées vers le fleuve par l'intermédiaire d'un émissaire qui se trouve actuellement environ 100 m au nord de l'extrémité nord-est du quai 53 (figure 5.1).



Figure 5.1: Mouvements du sable sur la plage actuelle

5.2 Projet de déplacement de l'émissaire

La construction des nouveaux quais du secteur Beauport impliquerait le déplacement de cet émissaire. Le projet actuel est de déplacer cet émissaire entre les caissons 2 et 3 du nouveau quai 54 (figure 5.2).

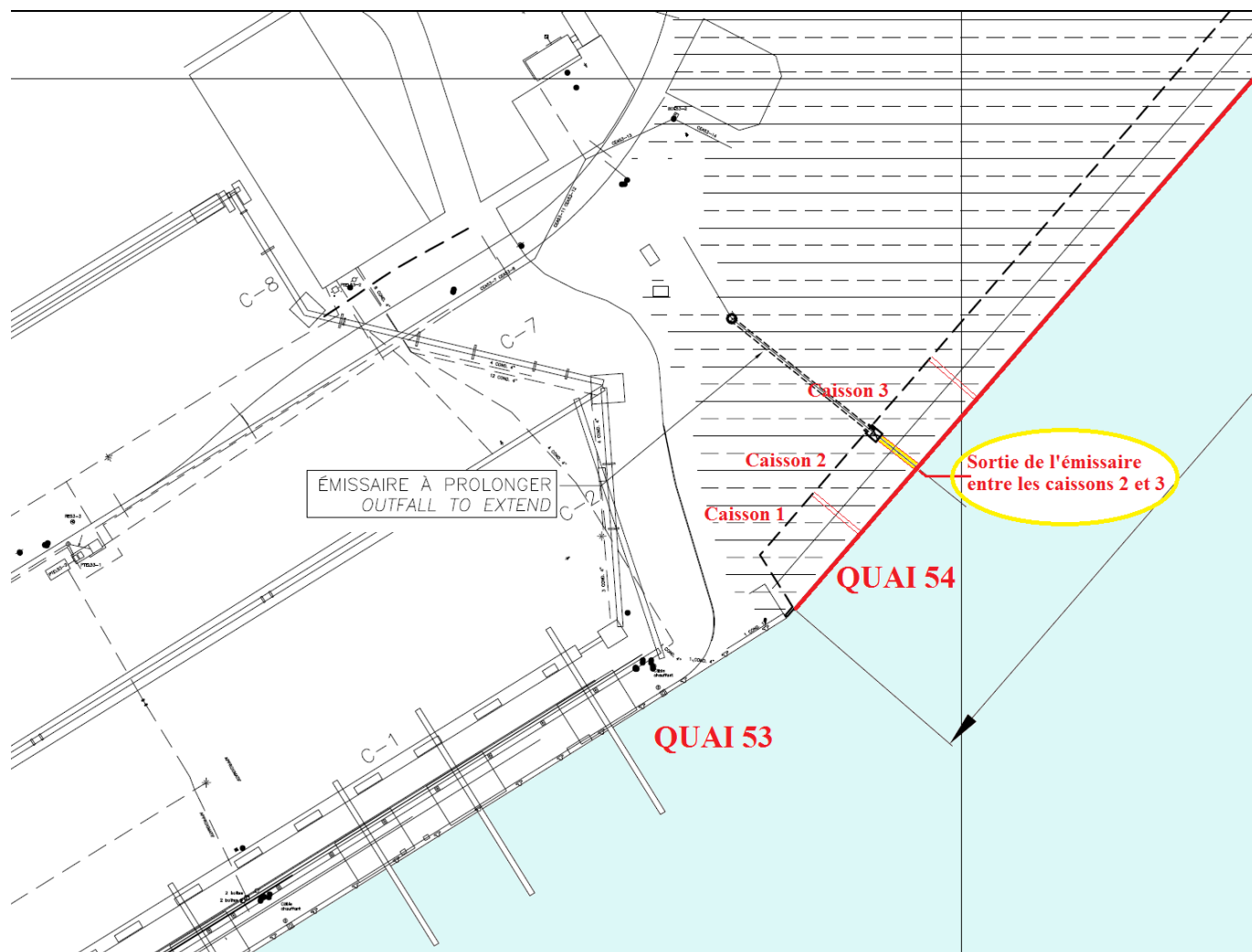


Figure 5.2: Localisation de l'émissaire dans le projet de construction des nouveaux quais

5.3 Localisation des prises d'eau de Lévis et Québec

La préoccupation concernant le déplacement de l'émissaire est l'influence que ce déplacement pourrait avoir sur les prises d'eau de Lévis et de Québec (figure 5.3). La plus proche prise d'eau (celle de Lévis) se trouve environ à trois (3) km en amont des nouveaux quais de Beauport, du côté sud du fleuve.

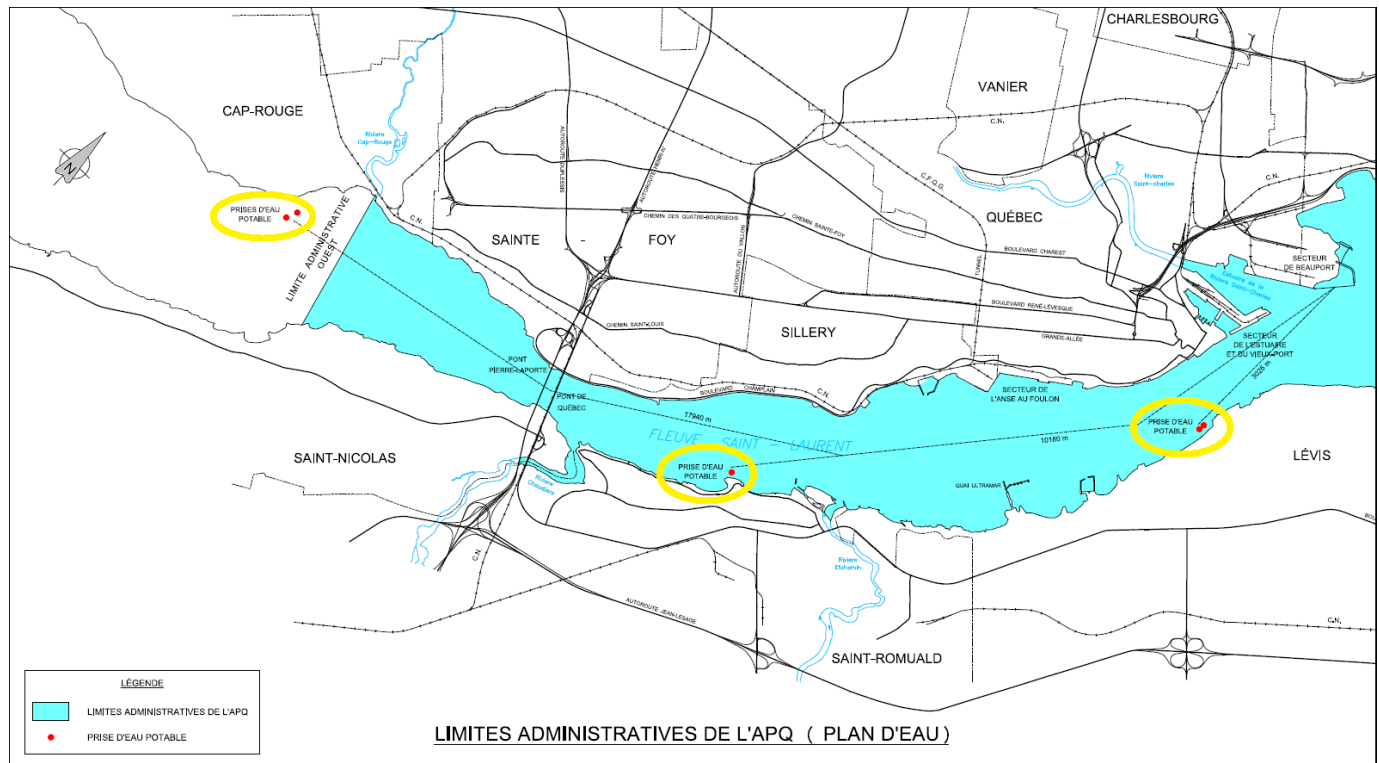


Figure 5.3: Localisation des prises d'eau de Lévis et Québec

5.4 Modélisation de la dispersion - Méthodologie

Les écoulements et la dispersion du panache d'effluents de l'émissaire ont été modélisés pour les aménagements actuels et futurs projetés (extension du secteur Beauport et déplacement de l'émissaire), pour des marées de vive-eau et de morte-eau. En faisant l'hypothèse qu'il devait s'agir des pires conditions dans lesquelles un événement de surverse pouvait se produire, l'effluent a été injecté dans l'écoulement au début de la marée montante, pendant 6 heures, avec un débit de $4 \text{ m}^3/\text{s}$ (et une vitesse de 1 m/s) :

- En vive-eau, le rejet s'effectue le 18 mai 2015 de 8 :00 à 14 :00
- En morte-eau, le rejet s'effectue le 27 mai 2015 de 3 :30 à 9 :30
- À noter que, dans les animations, toutes les heures sont en UTC.

Tant pour la vive-eau que pour la morte-eau, le début du déversement coïncide avec le début de la renverse des courants de la marée montante (afin d'obtenir les conditions les plus pessimistes pour les prises d'eau potable qui sont situées en amont). Les deux sites de prise d'eau de la rive sud contenus dans l'emprise du modèle sont indiqués par des rectangles blancs dans les animations et les figures.

5.5 Modélisation de la dispersion – Situation actuelle

Les figures 5.4 et 5.5 illustrent la concentration maximale d'effluents modélisée respectivement pour une marée de vive-eau et une marée de morte-eau en conditions actuelles.

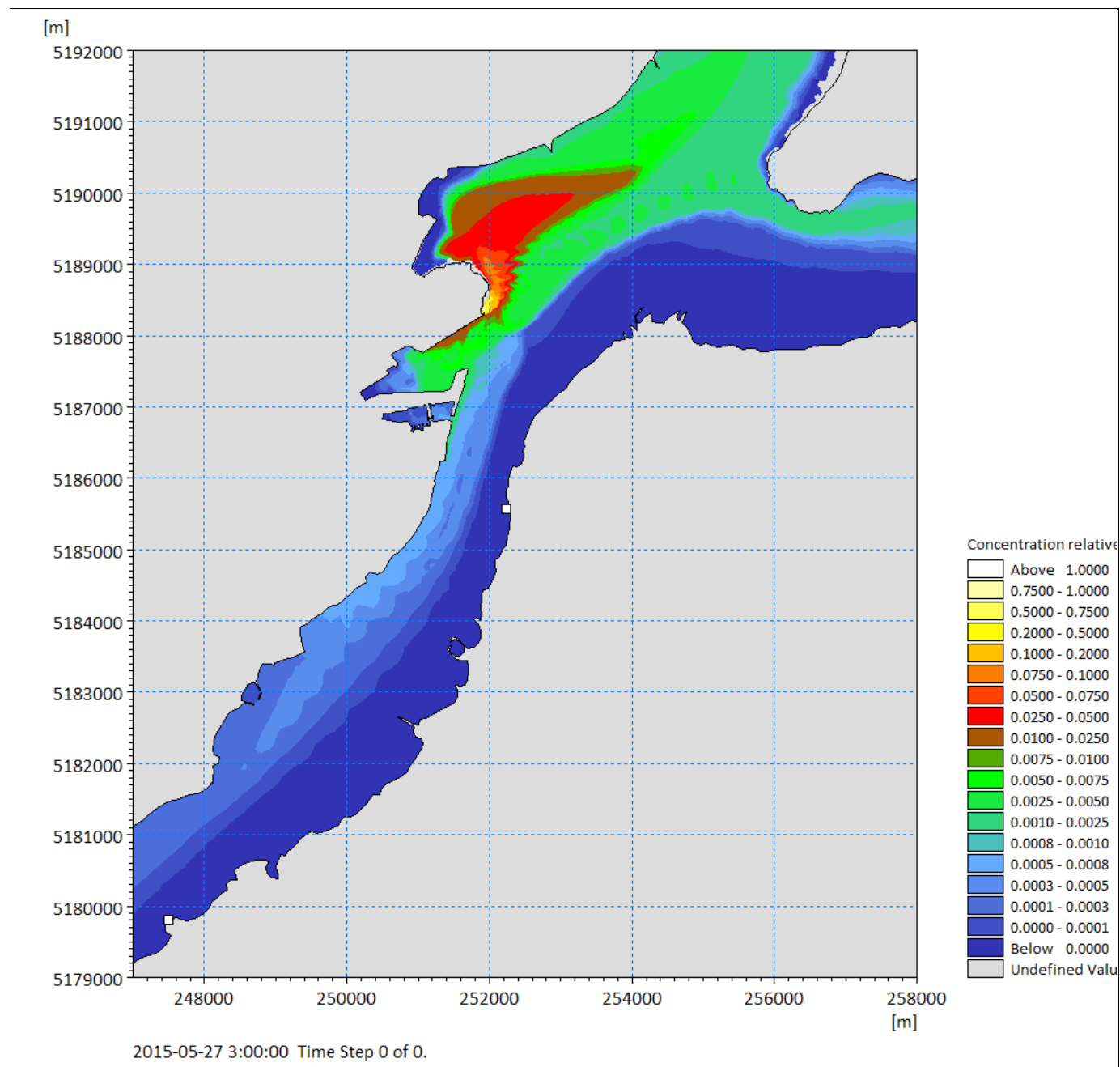


Figure 5.4: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions actuelles - Marée de morte-eau

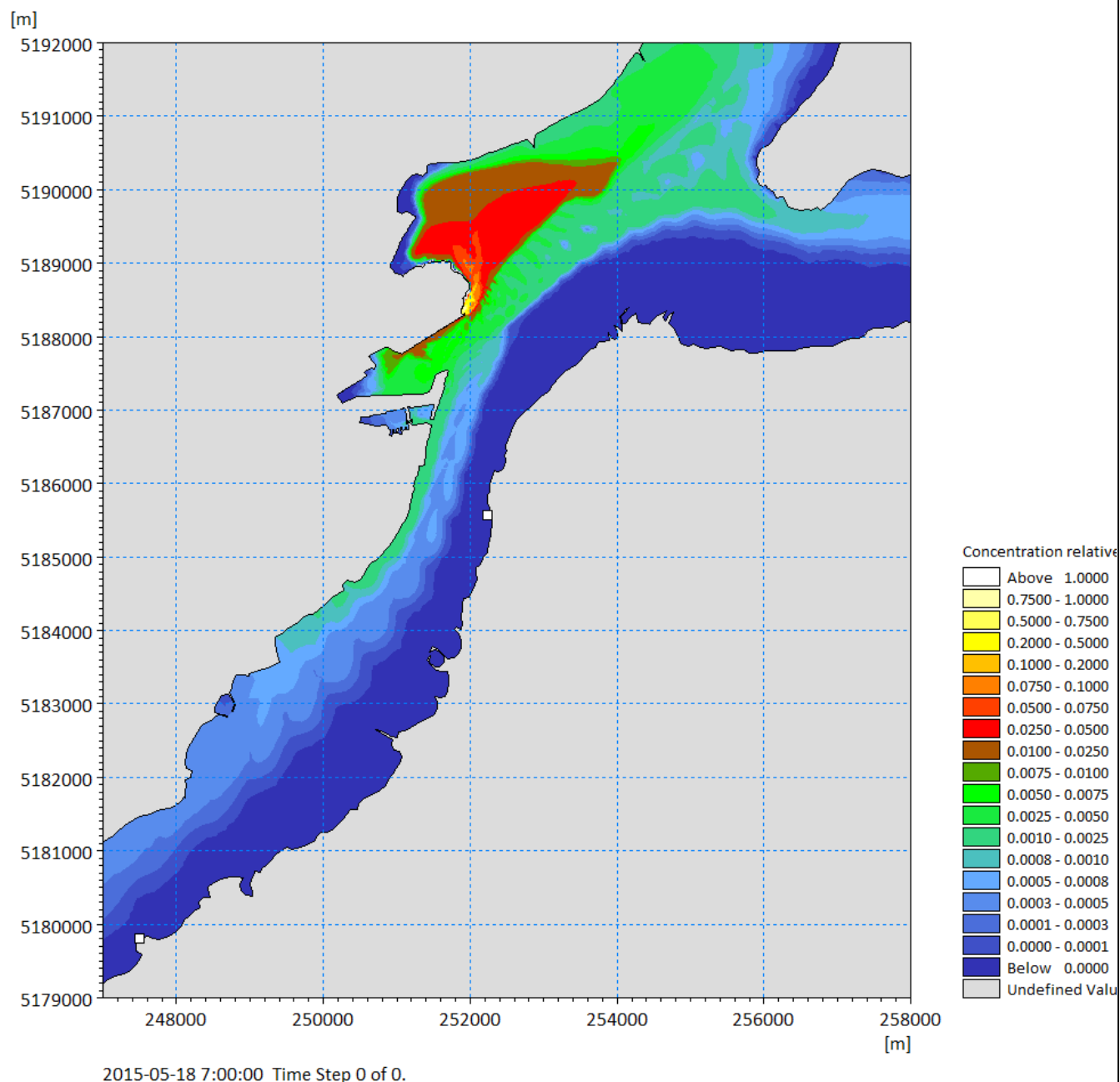


Figure 5.5: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions actuelles - Marée de vive-eau

Dans chaque cas, les maximums de concentration sont observés dans le secteur Beauport et le rentrant sud-ouest. La dispersion des effluents se fait principalement vers le chenal au nord de l'île d'Orléans et le long de la rive nord dans le port de Québec. Dans les deux cas de modélisation, les prises d'eau de Lévis sont peu affectées par les effluents (concentration inférieure à 1/1000 000).

5.6 Modélisation de la dispersion – Situation future

Les figures 5.6 et 5.7 illustrent la concentration maximale d'effluents modélisée respectivement pour une marée de vive-eau et une marée de morte-eau en conditions projetées (quais allongés de 600 m et émissaire déplacé).

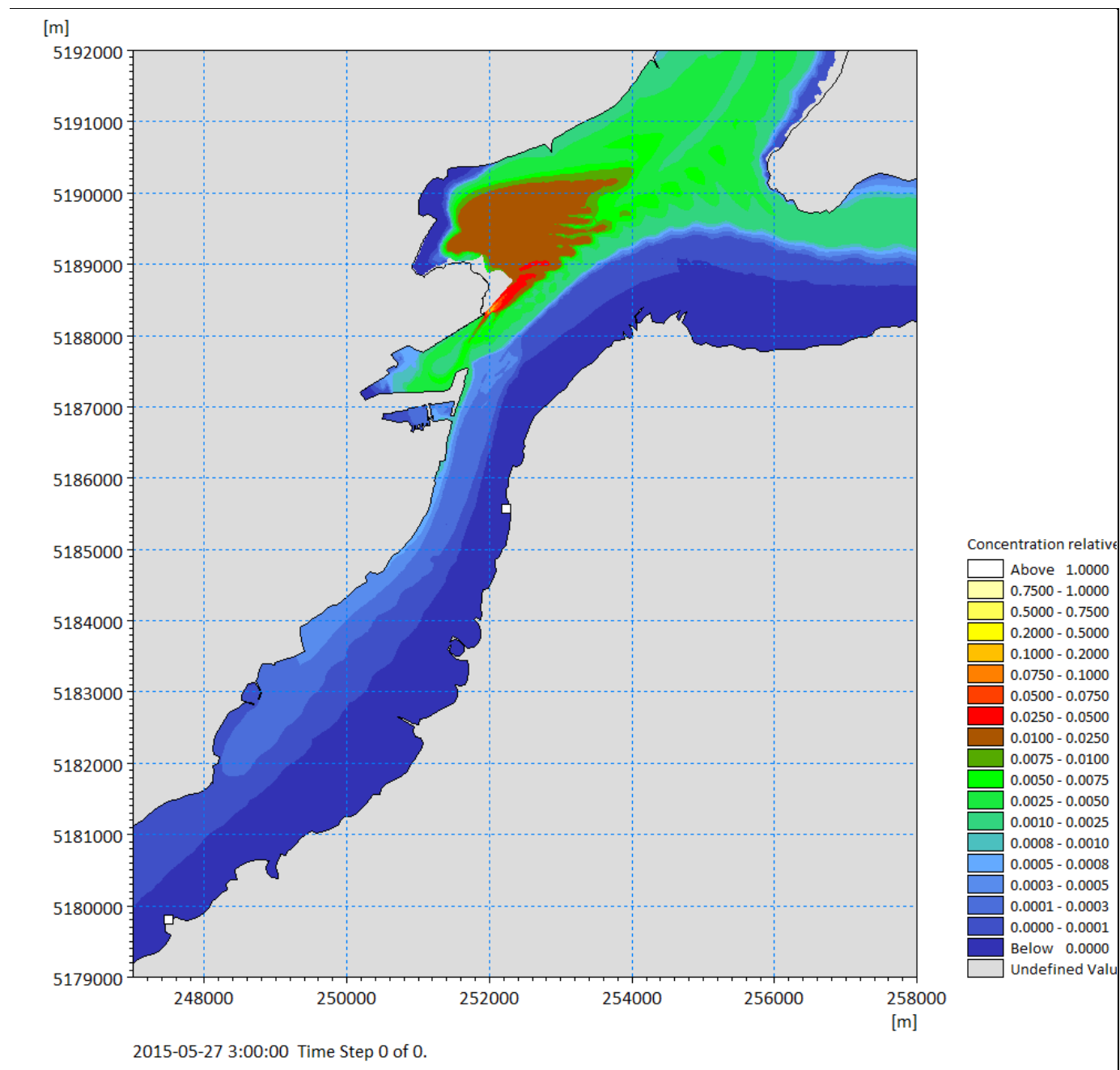


Figure 5.6: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions projetées – Marée de morte-eau

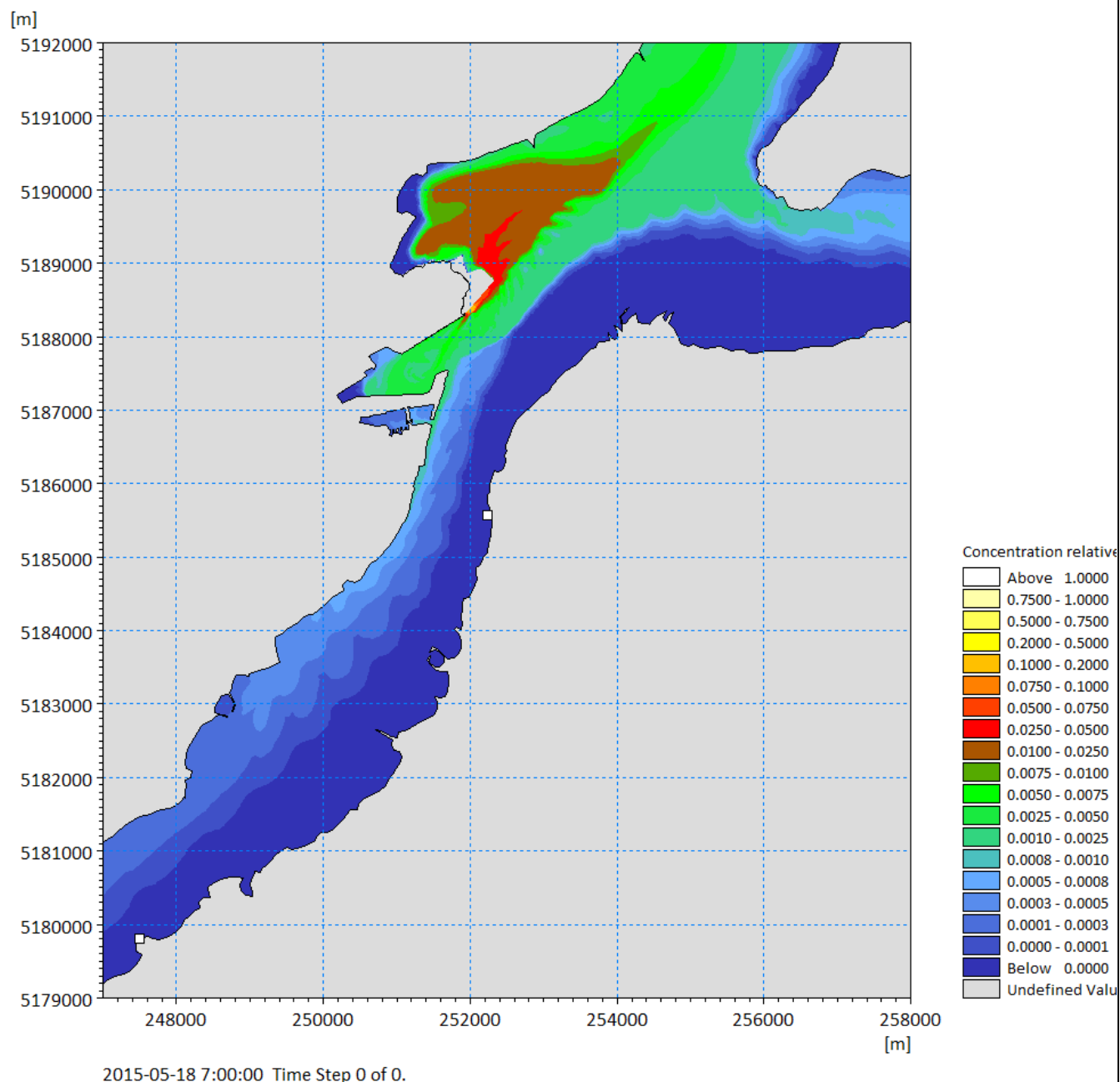


Figure 5.7: Concentration maximale d'effluents modélisée en conditions projetées – Marée de vive-eau

Dans chaque cas, les maximums de concentration sont encore observés dans le secteur Beauport et le rentrant sud-ouest. La dispersion des effluents se fait toujours principalement vers le chenal au nord de l'île d'Orléans et le long de la rive nord dans le port de Québec.

Par contre, par rapport aux conditions actuelles, la nouvelle configuration des quais provoque une dispersion plus efficace des effluents dans le courant principal du fleuve et une légère diminution des concentrations maximales près des installations de Beauport, dans le bassin de la rivière Saint-Charles et le long des quais du Port de Québec. Dès que les effluents rencontrent la veine principale des courants de marée, la dilution est très forte et le panache de polluant ne peut atteindre la rive sud. En amont des sites de rejet actuel et projeté, des concentrations non négligeables sont donc uniquement perceptibles en rive nord du fleuve.

Pour ce qui est des prises d'eau de Lévis dans la configuration projetée, la concentration maximale des effluents diminue à proximité des prises d'eau par rapport à la situation actuelle. Dans les conditions actuelles ou projetées, l'échelle des concentrations fait en sorte que les prises d'eau sont dans des zones de concentration plus faible que 0,00001 (dilution de 1/100 000). Les prises d'eau de Québec (secteur Sainte-Foy) se situent en dehors du domaine de modélisation mais, par extrapolation des figures de concentration maximale des effluents, la qualité de l'eau prélevée par ces prises d'eau ne devrait pas être affectée par les modifications envisagées dans le secteur Beauport.

6. CONCLUSIONS

6.1 Estuaire de la rivière Saint-Charles

Une série de modélisations ont été utilisées pour déterminer l'influence de la présence des nouveaux quais projetés dans le secteur de Beauport sur la circulation des eaux dans le bassin de la rivière Saint-Charles. Les modélisations ont montré qu'en conditions futures, les vitesses de courant de la gyre qui se produit pendant les trois dernières heures de la marée montante sont légèrement augmentées (environ 0,10 m/s).

Cette augmentation de vitesse pourrait éventuellement ralentir légèrement la sédimentation des matériaux fins dans l'estuaire et améliorer le renouvellement de l'eau du bassin.

Les courants de la gyre qui se développe de façon transitoire à marée descendante à l'entrée du bassin sont renforcés par la présence des nouveaux quais. Les pilotes du Port devraient être sensibilisés à ce phénomène.

6.2 Courants dans la baie de Beauport et le fleuve

Les modélisations de courants dans la baie de Beauport et le fleuve ont montré que l'influence des nouveaux quais sur les patrons de courant se limitait à la zone à proximité des nouvelles infrastructures.

Il est peu probable que la construction des nouveaux quais ait une influence sur les patrons de sédimentation, sauf dans la partie est du rentrant sud-ouest où la présence des nouveaux aménagements récréotouristiques favorisera la sédimentation fine.

6.3 Érosion de la plage actuelle

La plage actuelle est une plage artificielle créée lors de la construction des quais 50 à 53 dans les années 1960 et 1970. La partie récréotouristique de la plage se fait éroder par les vagues du secteur Est. Cette érosion a été mise en évidence par l'étude des relevés topographiques de 2009 et 2013 et par différentes modélisations hydro-sédimentologiques.

Sans intervention, cette plage va se dégrader, le sable va migrer vers le rentrant sud-ouest, laissant sur place les graviers et galets.

6.4 Émissaire d'eaux usées de la Ville de Québec

Une modélisation de la dispersion des effluents en provenance de l'émissaire de surverse de la Ville de Québec a été faite pour comparer les conditions de dispersion de ces effluents en conditions actuelles et projetées, pour des marées de morte-eau et de vive-eau. La configuration projetée des quais du secteur Beauport et du nouvel émissaire provoque, par rapport aux conditions actuelles, une dispersion plus efficace des effluents provenant de l'émissaire. La position projetée de l'émissaire et la présence des nouveaux quais favorisent la dispersion des effluents dans le courant principal du fleuve et la diminution des concentrations maximales d'effluents près du secteur Beauport, dans le bassin de la rivière Saint-Charles et le long des quais du Port de Québec.

Les prises d'eau de Lévis demeurent dans une zone où, que ce soit en conditions actuelles ou futures, la concentration des effluents reste inférieure à 1/100 000. Aucun changement significatif des concentrations d'effluents de l'émissaire n'est attendu au droit des prises d'eau de Québec (Sainte-Foy).

ANNEXE « A »

Érosion de la plage actuelle des battures de Beauport

Historique de la plage des battures de Beauport

La plage des battures de Beauport est une plage artificielle créée à l'occasion de la construction des quais 50 à 53. Une série de photos aériennes illustrent l'évolution de cette plage de 1960 à aujourd'hui.

La figure A1 illustre le début des travaux de construction du quai 50 en 1960.



Figure A1 : Secteur de Beauport en 1960

La figure A2 illustre la construction des quais 50 à 53. Les travaux de dragage semblent être en cours à l'occasion de cette photo (panache de sédiments). Il reste une grande partie des travaux de dragage à compléter d'après cette photo en 1970 et une photo aérienne de 1978 montre que les travaux de dragage sont terminés.



Figure A2: Secteur de Beauport en 1970

La figure A3 illustre la configuration de la plage en 1979. On constate déjà sur cette photo la présence d'une langue de sable se dirigeant vers le rentrant sud-ouest à partir de la pointe orientale de la plage.



Figure A3: Secteur de Beauport le 19 octobre 1979

La figure A4 illustre la configuration de la plage en 1987. On constate sur cette photo que la forme curviligne de la plage a pratiquement disparu pour laisser place à une configuration plus rectiligne. On constate également la présence encore plus prononcée d'une langue de sable se dirigeant vers le rentrant sud-ouest à partir de la pointe orientale de la plage.



Figure A4: Secteur de Beauport en septembre 1987

La figure A5 présente la configuration de la plage en mai 2013. Ce qui est le plus évident sur cette photo est la progression vers le nord-ouest de l'extrémité de la langue de sable.

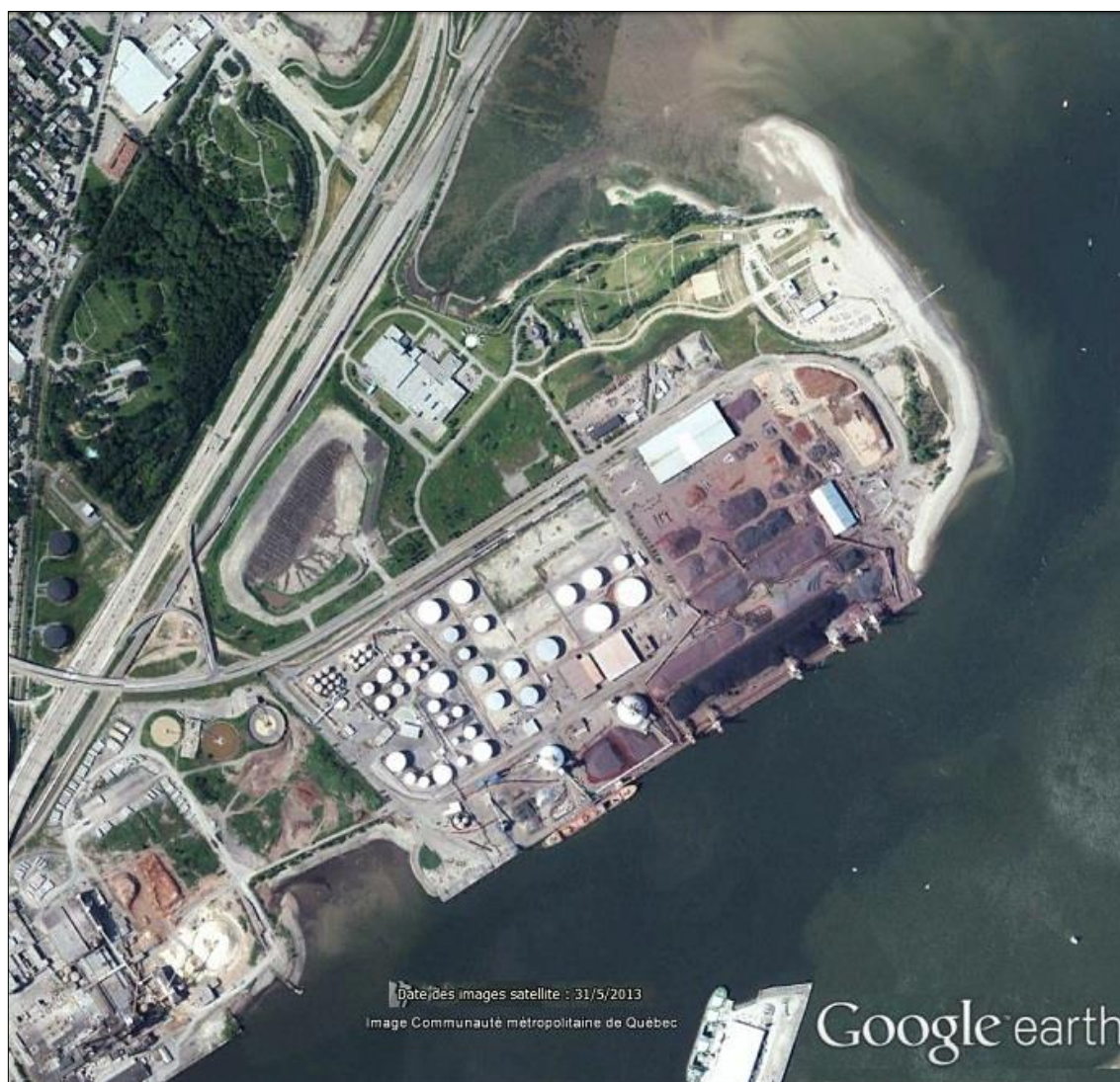


Figure A5: Secteur de Beauport le 31 mai 2013

Analyse de la dynamique sédimentaire actuelle de la plage des battures de Beauport

Une visite effectuée en juillet 2003 sur la plage des battures de Beauport a été l'occasion de prendre une série de photos de la plage à marée basse⁵. Il y a beaucoup d'indices d'un déplacement continu des sédiments de cette plage du sud vers le nord devant les installations nautiques de la baie de Beauport. L'image suivante tirée de Google Earth permet d'indiquer le début de la zone en érosion ou limite d'inversion du transport littoral (limite sud de la zone 1 de l'image) de même que les différentes zones d'intérêt.

⁵ CIMA+, « Port de Québec – Nouvelles infrastructures portuaires – Étude de préféabilité – Beauport 2007, J-4161 – Annexe G », Rapport No Q07459A présenté à l'Administration portuaire de Québec, Septembre 2007



Figure A5: Image satellite de la plage des battures de Beauport

Zone 1 : cette zone est illustrée par les photos A7 et A8 où on voit bien l'érosion en haut de plage et le plaquage de matériaux grossiers laissés en place par l'érosion sélective du sable (et des autres particules fines) qui se produit sur la plage.



Figure A6: Limite sud de la zone 1 – Érosion / plaquage de galets (juillet 2003)

La photo A8 est une illustration du talus d'érosion en haut de plage. Ce talus d'érosion est le résultat d'attaque des vagues lors des épisodes de très hauts niveaux d'eau.



Figure A7: Traces d'un talus d'érosion de niveaux d'eau hauts exceptionnels (juillet 2003)

Zone 2 : cette zone intermédiaire est illustrée par la photo A9 où on voit apparaître l'alternance de plaques de gravier et de plaques de sable.



Figure A8: Alternance de plaques de sables, graviers et galets dans la zone 2 (juillet 2003)

Zone 3 : cette deuxième zone intermédiaire est illustrée par la photo A10 où on voit également l'alternance de plaques de gravier et de plaques de sable. On note cependant une diminution de la grosseur des matériaux de la photo G2 vers la photo A10.



Figure A9: Zones avec sable et gravier du côté nord de la plage (juillet 2003)

Épi : la partie nord de la plage des battures est limitée par un épi naturel qui semble s'appuyer sur un substrat très grossier (ancienne digue / chemin de construction de 1967) – figure A11.



Figure A10: Épi stabilisant partiellement l'extrémité nord de la plage des battures (juillet 2003)

Zone 4 : au nord de cet épi, on ne retrouve que du sable qui "envahit" des zones silteuses/argileuses. Le gravier et les cailloux restent sur la « plage ». La végétation qui n'est pas très présente du côté sud de l'épi montre une vitalité plus grande du côté nord - voir figure A12.



Figure A11: Zone sableuse-silteuse au nord de l'épi (début du « rentrant sud-ouest ») (juillet 2003)



Figure A12: Photo aérienne de 2005 montrant le déplacement des sédiments de la plage vers le rentrant sud-ouest (flèche).

Différence de topographie de la plage actuelle entre 2009 et 2013

LaSalle|NHC a réalisé en 2014 une comparaison de la topographie de la plage relevée en 2009 puis en 2013⁶. La figure A14 illustre cette différence. On remarque sur cette figure que toute la zone de la plage est en rouge (érosion) et que la flèche sablonneuse au nord de la plage est en vert (sédimentation).

⁶ Lasalle|NHC, « Port de Québec – Extension du secteur Beauport – Mise au point de la variante finale des plages – Modélisation numérique des conditions hydrosédimentologiques », Rapport 1873 présenté à l’administration portuaire de Québec, Décembre 2014 **Version finale**

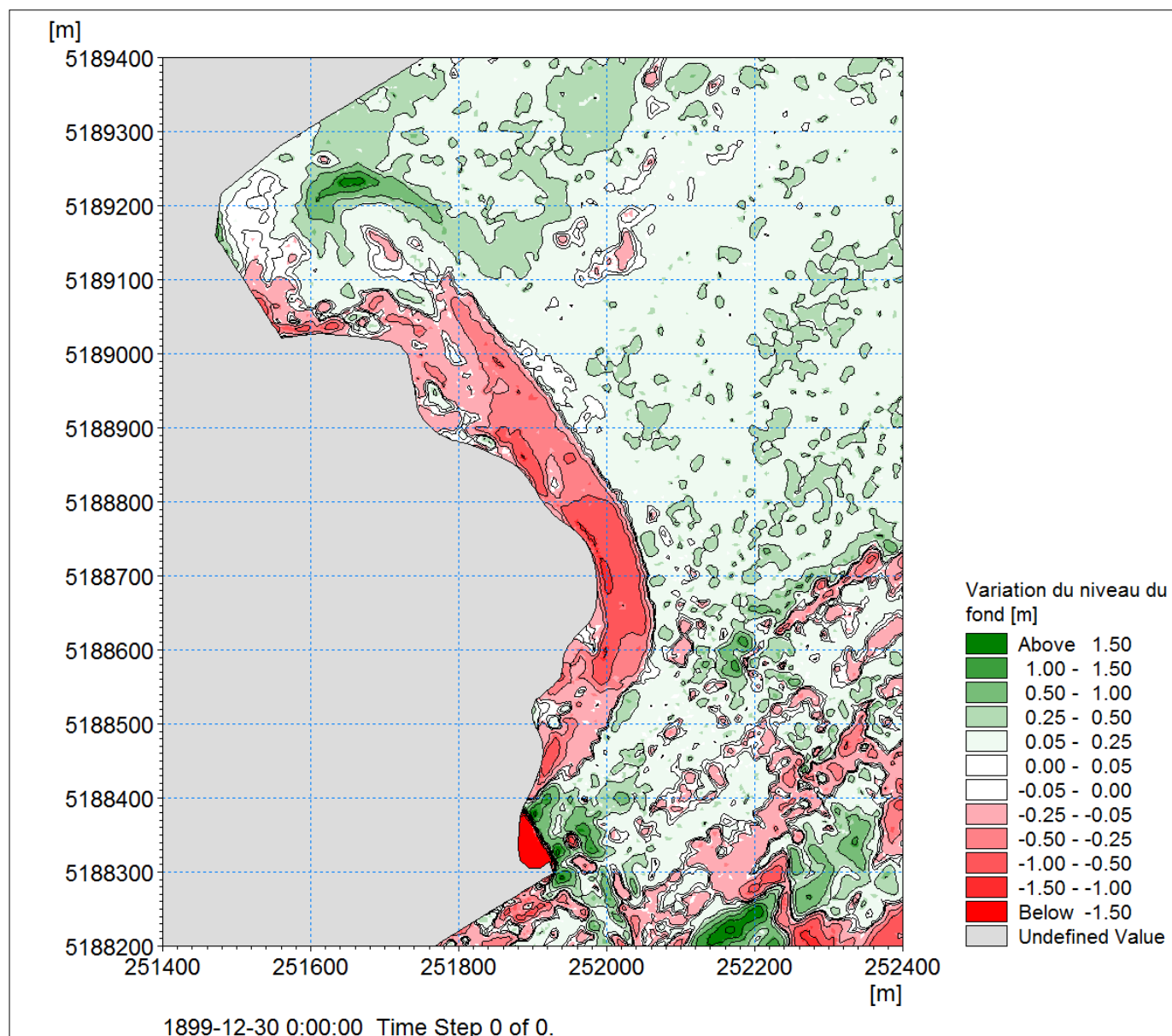


Figure A13: Différence de topographie de la plage entre 2009 et 2013

Résultats de la modélisation des vagues sur la plage actuelle (GCL 2007)

LaSalle|NHC a réalisé en 2007 une modélisation des vagues dans la baie de Beauport de façon à évaluer la dynamique sédimentaire de la plage des battures de Beauport⁷.

Cette modélisation a été précédée par l'analyse des vagues frappant la plage actuelle de façon à déterminer les caractéristiques des vagues les plus significatives en termes de transport littoral. Quatre (4) cas de vagues ont ainsi été définis et les deux cas de vagues les plus importants pour la dynamique sédimentaire de la plage ont été testés sur le modèle MIKE 21 de LaSalle|NHC. Les cas simulés sont :

- Direction ENE : Hs = 0,76 m et Tp = 3,9 s
- Direction Est : Hs = 0,71 m et Tp = 3,9 m

Les courants littoraux calculés par le modèle MIKE 21 et illustrés sur les figures A15 (Est) et A16 (Est-Nord-Est) donnent une idée du potentiel de transport des sédiments lors de tempêtes d'est et d'est-nord-est. On constate sur les figures A15 et A16 la présence du point d'inflexion de la figure A6 (partie sud de la zone 1) où les courants littoraux s'inversent. On y constate aussi les très forts courants littoraux qui se développent sur la plage des battures, au droit de l'épi de la figure A6 et même à l'ouest de l'épi. Comme les vagues d'ouest sont de très faible amplitude, même si elles sont plus fréquentes que les vagues d'est, elles ne réussissent pas à équilibrer l'intense transport des sables vers le nord-ouest que provoquent les vagues des tempêtes du secteur Est sur la plage. Les seuls sédiments susceptibles de demeurer sur la plage actuelle des battures de Beauport sont les graviers grossiers et les cailloux qu'on retrouve au sud de la plage (zone 1 - figure A7).

Il est intéressant de noter que les courants générés par les vagues sont presque aussi intenses du côté ouest de l'épi de la figure A6, dans le rentrant sud-ouest. Cette intrusion de sable rend très difficile la croissance des végétaux dans cette partie du rentrant sud-ouest, le sable y étant trop mobile.

⁷ Le Groupe-Conseil LaSalle, « Port de Québec – Nouvelles infrastructures portuaires Beauport 2007 (J-4161) – Modélisation numérique des conditions hydrauliques », Rapport No 1657 présenté à l'Administration portuaire de Québec, Avril 2007 **Version finale**

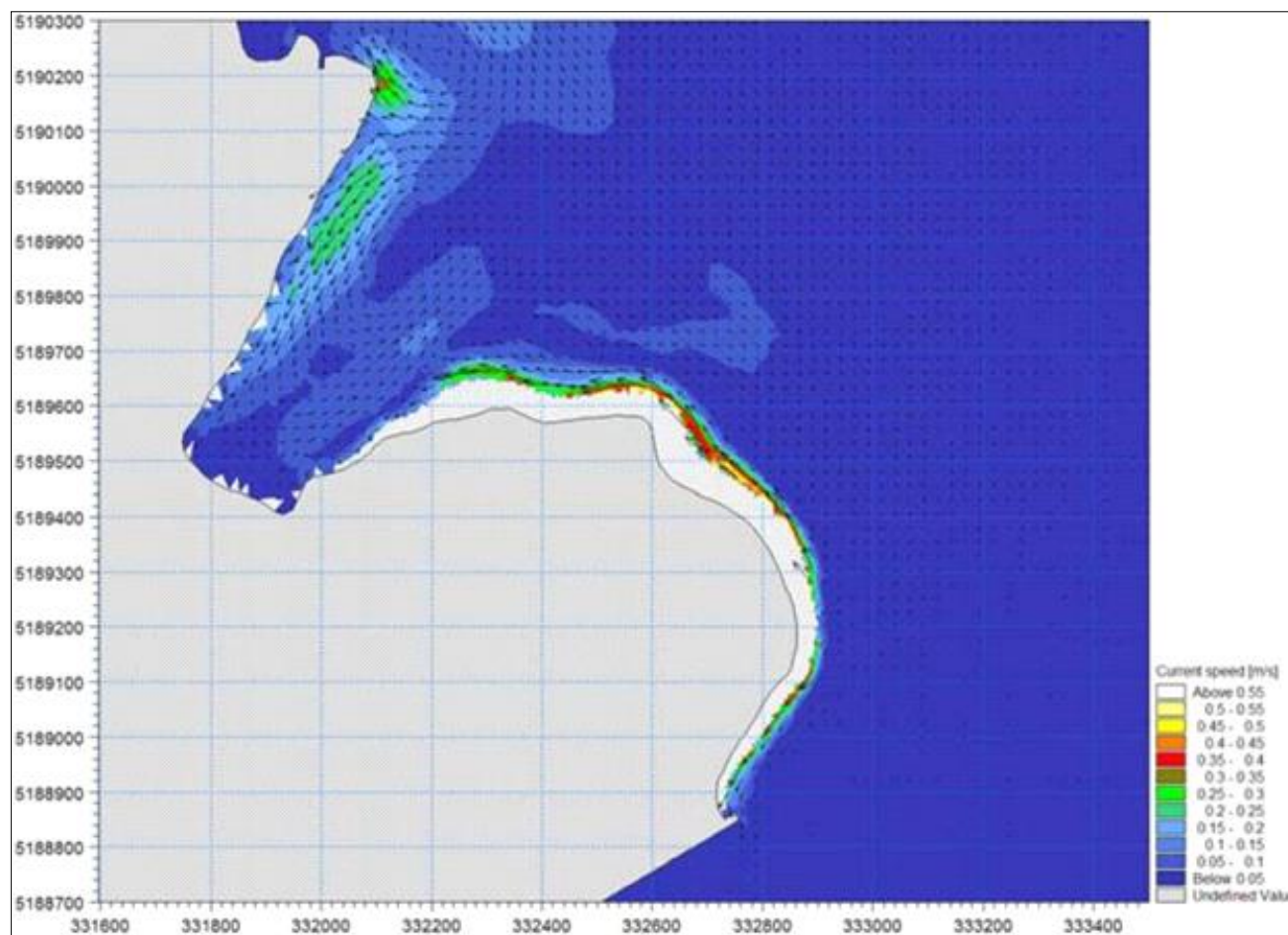
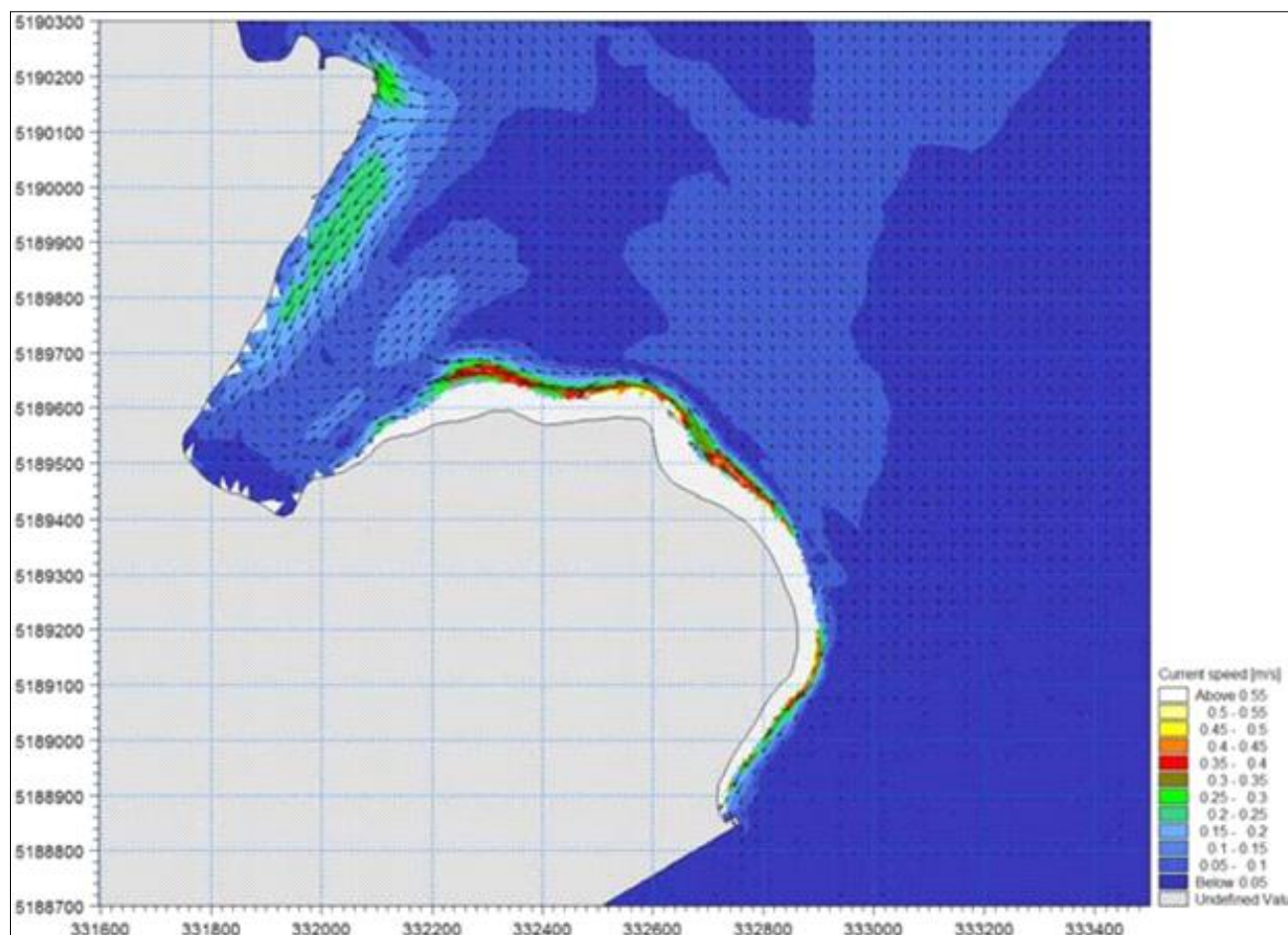


Figure A14: Courants générés par les vagues de tempête d'est sur la plage actuelle



FigureA15: Courants générés par les vagues de tempête d’est-nord-est sur la plage actuelle

Nécessité d'intervention

Les informations présentées ci-dessus démontrent l'érosion subie par la partie récréotouristique de la plage des battures de Beauport. Il est difficile de faire l'hypothèse d'une relative stabilité à long terme de cette partie de la plage. La tendance au déplacement des sédiments du sud vers le nord par les vagues est une tendance lourde, simplement entravée par la présence d'un plaquage de matériaux relativement grossiers (graviers et galets) dans la partie sud de la plage (figure A13). Inexorablement, le sable migre vers les secteurs nord-ouest et, à moyen terme, la plage des battures de Beauport ne devrait plus être qu'une plage de galets de plus en plus grossiers avec le temps. L'épi situé du côté nord de la plage est beaucoup trop petit pour retenir le sable qui le contourne pour se diriger vers les zones plus calmes du rentrant sud-ouest.

La migration continue des sables nuit à la végétation de la partie sud-est du rentrant sud-ouest qui a du mal à se fixer dans ce milieu trop mobile.

ANNEXE « B »

LISTE DES RÉFÉRENCES

Roche, « Dragage dans l'estuaire de la rivière Saint-Charles – Étude d'impact sur l'environnement », Rapport réalisé pour la Papeterie REED Ltée. Dossier 2928, Mai 1983

Le Groupe-conseil LaSalle, “Port de Québec – Legs fédéral de 2008 – Site de la baie de Beauport (J-4512) – Impacts de l’extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales », Rapport No 1605 présenté à l’Administration portuaire de Québec, Avril 2006

Le Groupe-Conseil LaSalle, « Port de Québec – Nouvelles infrastructures portuaires Beauport 2007 (J-4161) – Modélisation numérique des conditions hydrauliques », Rapport No 1657 présenté à l’Administration portuaire de Québec, Avril 2007 **Version finale**

CIMA+, « Port de Québec – Nouvelles infrastructures portuaires – Étude de préfaisabilité – Beauport 2007, J-4161 – Annexe G », Rapport No Q07459A présenté à l’Administration portuaire de Québec, Septembre 2007

Lasalle|NHC, « Port de Québec – Extension du secteur Beauport – Mise au point de la variante finale des plages – Modélisation numérique des conditions hydrosédimentologiques », Rapport 1873 présenté à l’administration portuaire de Québec, Décembre 2014 **Version finale**

Lasalle|NHC, “Port de Québec – Extension du secteur Beauport – Nouvelles variantes d’aménagement des plages”, Rapport technique No 0057 présenté à l’Administration portuaire de Québec, Février 2016