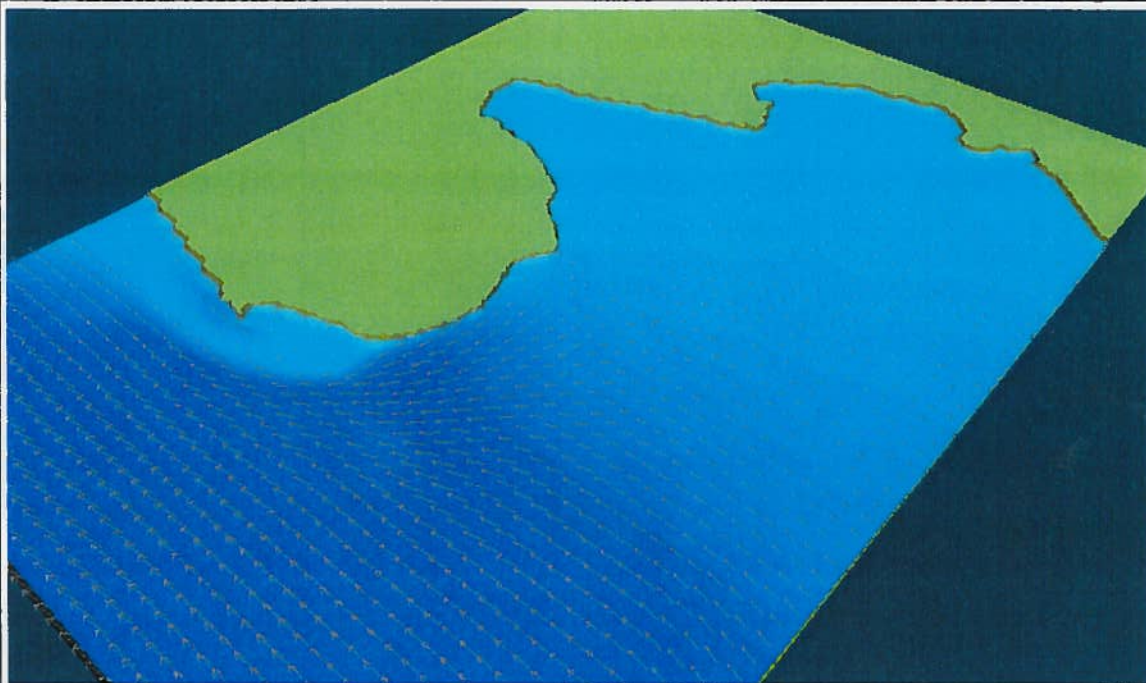


Administration portuaire de Québec



PORT DE QUÉBEC

Canada



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



Le Groupe-Conseil LaSalle

Rapport no 1605
28 avril 2006



Le Groupe-Conseil LaSalle Inc.

9620, rue Saint-Patrick, LaSalle(Québec) Canada H8R 1R8

Téléphone : (514) 366-2970 / Télécopieur : (514) 366-2971

Site internet : www.gcl.qc.ca

Courrier électronique : gcl@gcl.qc.ca

Rapport présenté à

Administration portuaire de Québec (APQ)

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

28 avril 2006

Préparé par :

Marc Villeneuve, ing.

Nizzar Hossaini, ing. jun.

gg
12
2006

3861

391-101

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	iii
LISTE DES PHOTOGRAPHIES	iii
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE	3
2.1 Modélisation hydrodynamique.....	3
2.1.1 Limites de la zone modélisé	3
2.1.2 Bathymétrie.....	4
2.1.3 Scénarios modélisés	5
2.1.4 Conditions aux limites	5
2.1.5 Paramètres de calcul	6
2.2 Modélisation des vagues et du transport sédimentaire.....	6
2.3 Validation des modèles	7
3.0 DESCRIPTION DU SITE ET DES AMÉNAGEMENTS PROJETÉS	8
3.1 Conditions actuelles	8
3.2 Extension du secteur portuaire de Beauport – Présentation des variantes.....	11
3.2.1 Variante de base (variante 1).....	11
3.2.2 Optimisation de la forme de l'extension portuaire.....	12
3.2.3 Optimisation de l'angle de la nouvelle ligne de quai	13
4.0 COURANTS DE MARÉE	14
4.1 Conditions actuelles	14
4.1.1 Ensemble de la zone modélisée	14
4.1.2 Secteur de Beauport	15
4.2 Conditions futures dans le secteur de Beauport.....	16
4.2.1 Flot.....	16
4.2.2 Jusant.....	17
4.2.3 Vitesses maximales	17
4.3 Conditions d'accostage et de tenue à quai.....	19
4.4 Influence de l'orientation de la ligne des nouveaux quais	19

TABLE DES MATIÈRES (suite)

5.0	RÉGIMES DES VENTS ET DES VAGUES	22
6.0	DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE	24
6.1	Caractérisation des conditions actuelles	24
6.2	Optimisation et impacts de l'extension portuaire	26
6.2.1	Approche méthodologique	26
6.2.2	Résultats de simulation et analyse	28
6.3	Relevés ultérieurs	30
7.0	SOMMAIRE ET CONCLUSIONS	31
	RÉFÉRENCES	34
	LEXIQUE	36
	ANNEXE A : Validation de la modélisation hydrodynamique	

LISTE DES FIGURES

Figure 1 :	Bathymétrie et limites du modèle hydrodynamique
Figure 2 :	Données bathymétriques
Figure 3 :	Conditions aux limites du modèle hydrodynamique
Figure 4 :	Limites de la modélisation des vagues et du transport sédimentaire
Figures 5a à 5d :	Extension du secteur portuaire de Beauport – Variantes considérées pour la présente étude
Figure 6 :	Limite du dragage d'accès aux nouveaux quais
Figures 7a à 7j :	Cartes des courants de marée de vive-eau et de morte-eau (conditions d'aménagement actuelles)
Figures 8a à 8f :	Courants de marée de vive-eau en conditions actuelles et futures
Figures 9a à 9d :	Vitesses maximales atteintes en vive-eau dans les conditions actuelles et futures
Figure 10 :	Influence de l'orientation de la ligne des nouveaux quais
Figure 11 :	Régime des vents et des vagues applicable au site
Figure 12 :	Figures tirées de l'étude d'impact de 1983 (Groupe-Conseil Roche [7])
Figure 13 :	Pointe de Beauport – Comparaison des relevés détaillés de 1982 et 1989
Figure 14a à 14e :	Courants et transport sédimentaire induits par des vagues

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

Photo 1 : Vue d'ensemble des secteurs à l'étude	1
Photo 2 : Pointe de Beauport – Septembre 1987	8
Photo 3 : Dragage hydraulique lors de la construction du secteur portuaire de Beauport - 1969 ...	9
Photo 4 : Pointe de Beauport vue depuis l'est – Été 2005	10
Photo 5: Gros plan de la pointe et de la plage – Décembre 2005.....	10
Photo 6 : Conditions de glace dans le secteur de Beauport le 2 février 1974	20
Photo 7 : Conditions de glace dans le secteur de Beauport le 15 mars 2006	21

1.0 INTRODUCTION

Dans le cadre du legs fédéral de 2008 pour le 400^e anniversaire de la Ville de Québec, il est prévu de revitaliser certains secteurs du port de Québec, notamment aux sites de la baie de Beauport et du bassin Brown (photo 1).

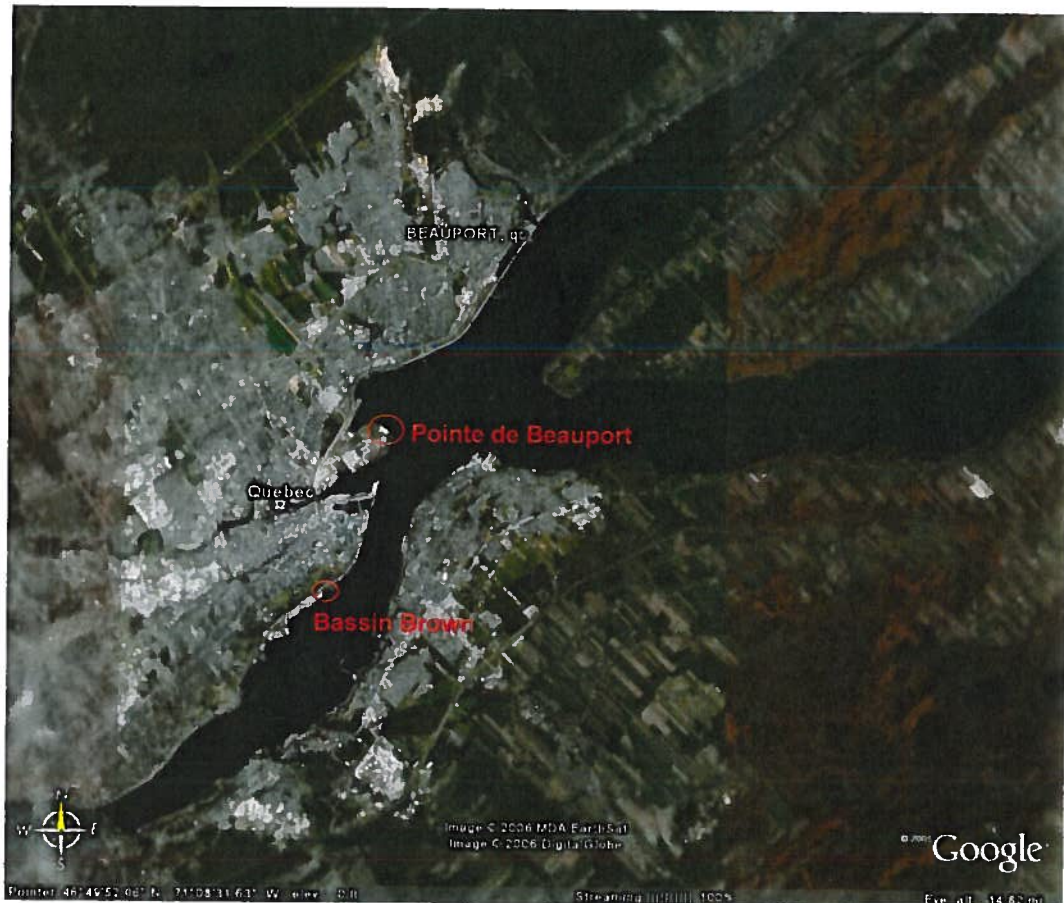


Photo 1 : Vue d'ensemble des secteurs à l'étude

Dans le secteur de Beauport, il est prévu d'aménager un parc récréo-touristique donnant accès à la plage sablonneuse longeant l'extrémité est (aval) de la pointe de Beauport. Ce projet de réaménagement intègre également une expansion du secteur portuaire de Beauport.

Dans le secteur du bassin Brown, le projet vise essentiellement à consolider le quai Léonard et à favoriser l'accès au fleuve depuis les berges du bassin.

Le Groupe-Conseil Lasalle (GCL) a été mandaté par l'Administration portuaire de Québec (APQ) dans le but de prédire les conditions hydrauliques qui prévaudront en présence des futurs aménagements, et ce non seulement pour évaluer l'impact des projets sur les conditions actuelles, mais aussi en vue d'évaluer la pérennité des aménagements riverains vis-à-vis des risques d'érosion ou d'ensablement. L'étude réalisée par le GCL, qui s'appuie sur une modélisation numérique de l'ensemble de la zone portuaire, doit également permettre d'optimiser d'un point de vue hydraulique la configuration des aménagements projetés.

Le présent rapport rend compte des résultats obtenus par le GCL pour le site de la baie de Beauport. La section 2 présente d'abord les outils de modélisation mis en œuvre. La section 3 offre une description des conditions d'aménagement actuelles et du projet d'expansion portuaire envisagé par l'APQ. Les sections 4 à 6 présentent les résultats de modélisation obtenus pour les conditions actuelles et futures, et traitent respectivement des courants de marée, du régime des vents et des vagues et de la dynamique sédimentaire. La section 7 résume les conclusions et recommandations pouvant être formulées au terme de la présente étude.

2.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE

La modélisation numérique est effectuée à l'aide des divers modules du modèle bidimensionnel MIKE 21. Ce modèle commercial conçu au Danemark par la firme DHI Water & Environment jouit d'une réputation internationale et a été utilisé avec succès dans de nombreux projets impliquant la simulation des écoulements en milieux fluviaux, estuariens ou côtiers.

2.1 Modélisation hydrodynamique

La modélisation des courants repose sur le module NHD (Nested Hydrodynamics) de MIKE 21, qui permet d'imbriquer des maillages de résolution variable pour représenter la bathymétrie. Les zones d'intérêt sont modélisées à l'aide d'un maillage relativement fin alors que le maillage plus grossier adopté pour le champ éloigné permet d'optimiser les temps de calcul.

2.1.1 Limites de la zone modélisée

La figure 1 illustre l'étendue de la zone couverte par le modèle numérique hydrodynamique. La limite amont du modèle se situe légèrement à l'aval du pont de Québec et ses limites aval sont fixées de part et d'autre de l'île d'Orléans, à la hauteur de L'Ange-Gardien. Ces limites coïncident avec celles du modèle physique du port exploité par le GCL de 1972 à 1990. On peut ainsi bénéficier pour le réglage du modèle numérique des résultats de la modélisation physique, de même que des relevés in situ de 1971 qui avaient servi à l'étalonnage du modèle réduit.

La configuration adoptée permet également d'assurer une distance suffisante des limites amont et aval du modèle par rapport aux secteurs d'intérêt, de manière à éviter les imprécisions pouvant survenir à proximité de ces limites, où les conditions d'écoulement sont imposées plutôt que calculées par le modèle.

Afin d'obtenir une bathymétrie numérique suffisamment précise dans les secteurs Brown et Beauport, tout en évitant les temps de calculs excessifs pouvant résulter de l'application d'un maillage trop fin à l'ensemble de la zone modélisée, des maillages de résolution variable ont été mis à profit. Comme l'indique la figure 1, trois niveaux de maillage ont été utilisés :

- i. Maillage d'ensemble de 24 km par 14 km utilisant des cellules carrées de $\Delta x = \Delta y = 63 \text{ m}$

- ii. Maillages secondaires de $\Delta x = \Delta y = 21$ m englobant les secteurs de l'Anse au Foulon et de la pointe de Beauport
- iii. Maillages fins de $\Delta x = \Delta y = 7$ m centrés sur la bassin Brown et la plage de Beauport.

2.1.2 Bathymétrie

Trois sources de données ont été utilisées pour la construction de la bathymétrie numérique dans MIKE 21 :

- Cartes marines no 1316 et 1317 du Service hydrographique du Canada (SHC), obtenues en format numérique (Autocad)
- Minutes hydrographiques obtenues auprès du SHC pour trois relevés :
 1. no 3005094 couvrant l'ensemble du port et les battures de Beauport (10 294 points sondés en 1982)
 2. no 3005120 couvrant les abords du quai Léonard et les berges du bassin Brown (287 points sondés en 1982)
 3. no 30052991 couvrant l'intérieur du bassin Brown (532 points sondés en 2000)
- Sondage détaillé du secteur de l'Anse au Foulon (quais 101 à 108), obtenu sous format numérique lors de notre étude du quai no 103, en 1999 [1].

La figure 2 donne un aperçu de la densité des données utilisées pour la construction des bathymétries numériques. Les profondeurs ont été exprimées par rapport au zéro des cartes à Québec et positionnées dans le système de coordonnées géographiques UTM (zone 19).

Il est important de souligner qu'aux abords de la pointe de Beauport, les données bathymétriques utilisées (i.e. minutes hydrographiques de 1982) ne couvraient pratiquement pas les fonds situés au dessus du niveau marégraphique +1,5 m. La morphologie de la pointe pour les niveaux bathymétriques dépassant cette cote a donc dû être schématisée. Comme on le verra plus loin, il serait souhaitable en phase ultérieure du projet de mieux documenter la topographie/bathymétrie de la pointe.

2.1.3 Scénarios modélisés

Les simulations hydrodynamiques ont été effectuées pour deux scénarios de marée offrant des données suffisantes de niveau et/ou de débit aux limites amont et aval du modèle numérique :

- La marée de vive-eau¹ du 22 juin 1971 qui était reproduite au modèle physique du port et avait fait l'objet de relevés détaillés sur le terrain, en préparation de l'exploitation du modèle réduit. Avec un marnage de 5,2 m, cette marée n'est excédée qu'environ 5% du temps.
- Une marée de morte-eau sinusoïdale, conforme aux simulations effectuées en 1971 sur le modèle réduit d'ensemble du Saint-Laurent (Montréal – Pointe-au-Père) exploité par le Conseil national de recherches du Canada (CNRC) [2]. Ces simulations effectuées aux fins de la validation du modèle réduit du port de Québec, donnaient les niveaux de marée obtenus tout au long du Saint-Laurent pour une gamme complète de hauteurs de marée imposées à la limite aval du modèle d'ensemble (Pointe-au-Père). La marée considérée pour la présente étude avait une hauteur de 3 m à Lauzon.

2.1.4 Conditions aux limites

Sur la base des données et résultats du modèle physique, le modèle numérique a d'abord été exploité en conditions de vive-eau en imposant les conditions limites suivantes :

- débit à la limite amont;
- débit dans le bras nord de l'île d'Orléans;
- niveau d'eau dans le bras sud de l'île d'Orléans;

Dans le cas de la marée de morte-eau extraite des travaux du CNRC [2], les niveaux d'eau fournis par le modèle réduit d'ensemble du Saint-Laurent ont été imposés à la limite amont du modèle numérique (section *Pont de Québec* dans le modèle d'ensemble) ainsi qu'aux limites aval (sections *Montmorency* et *Saint-Laurent* dans le modèle d'ensemble). La figure 3 illustre graphiquement les conditions hydrodynamiques imposées aux limites du modèle numérique.

¹ Voir le lexique à la fin du texte pour la définition des principaux termes techniques utilisés dans le présent rapport

2.1.5 Paramètres de calcul

Les simulations hydrodynamiques ont été effectuées avec un pas de temps fixé à $\Delta t = 4$ s. En vive-eau, les simulations débutaient à 1 :00 le 22 juin 1971 et se terminaient 25,5 heures plus tard le 23 juin 1971 à 2 :30. Le cycle de marée enregistré en nature entre 0 :00 et 13 :00 le 22 juin 1971 était en fait imposé deux fois, le premier cycle servant essentiellement à « réchauffer » le modèle numérique. Comme pour l'étude de 1999 [1], les résultats présentés proviennent du second cycle de marée, qui s'étend alors de 13 :00 le 22 juin à 2 :30 le 23 juin 1971. Une approche similaire a été utilisée pour la simulation des conditions de morte-eau.

Pour l'ensemble des simulations, la rugosité des fonds a été fixée à $n = 0,03$ et on a conservé les mêmes paramètres de viscosité turbulente que dans l'étude de 1999, soit une valeur de $3 \text{ m}^2/\text{s}$ pour le maillage d'ensemble ($\Delta x = \Delta y = 63 \text{ m}$) et de $0,3 \text{ m}^2/\text{s}$ dans les maillages imbriqués.

2.2 Modélisation des vagues et du transport sédimentaire

Le régime des vents et des vagues applicable au site de la baie de Beauport a été établi par la professeur Yvon Ouellet, de l'Université Laval, à l'aide du modèle GENER, un logiciel conçu et développé par l'Université Laval.

La transformation des vagues du large à l'approche du littoral sous l'effet de la réfraction et du déferlement a été simulé par le GCL à l'aide du module NSW (Nearshore Spectral Waves) de MIKE 21. Les contraintes de radiation des vagues fournies par ce modèle ont ensuite permis de simuler les courants induits par les vagues le long de la pointe de Beauport.

La modélisation des transports sédimentaires associés aux courants et aux vagues a été effectuée à l'aide du module ST (Sand Transport) de MIKE 21.

La figure 4 illustre l'étendue de la zone considérée pour la modélisation de la réfraction des vagues et du transport sédimentaire.

2.3 Validation des modèles

En 1999, un modèle numérique du secteur de l'anse au Foulon avait été préparé par le GCL dans le cadre des travaux de réaménagement du quai no 103 [1]. Ce modèle avait approximativement la même limite amont que le nouveau modèle et une limite aval fixée à la hauteur du quai no 22, en amont de l'estuaire de la rivière Saint-Charles. Ce modèle utilisait des maillages imbriqués ayant la même résolution que dans la présente étude (i.e. 63, 21 et 7 m). La validation de ce modèle s'était appuyée sur les relevés de vitesses effectués en nature au large de la marina de Lévis, de même que sur les champs de vitesses détaillés mesurés au modèle réduit, dans le secteur de l'anse au Foulon.

Dans le cadre de la présente étude, on a repris les paramètres de modélisation utilisés en 1999 et les résultats ont très bien reproduits ceux obtenus avec le modèle de 1999.

L'annexe A résume les résultats des essais de validation du nouveau modèle numérique. Dans le secteur de Beauport, la validation des conditions hydrodynamiques prédites par le modèle numérique s'est principalement appuyée sur les essais réalisés en 1983 sur le modèle réduit du port de Québec, en vue d'évaluer l'impact de l'extension portuaire qui était envisagée à l'époque [3]. L'annexe A compare également les courants de vive-eau prédits par le modèle numérique avec des relevés in situ et des résultats d'essais sur modèle réduit se rapportant à la marée du 22 juin 1971 [4]. Dans tous les cas, les résultats obtenus confirment clairement la validité de la modélisation hydrodynamique.

La prédiction des vagues n'a pas fait l'objet de validation directe dans le cadre de la présente étude, mais les résultats présentés sont jugés relativement précis, et ce sur la base des travaux récents effectués par le professeur Yvon Ouellet en vue de l'implantation d'un terminal méthanier dans le Saint-Laurent.

Les résultats de modélisation comportant les risques d'imprécision les plus élevés touchent la dynamique sédimentaire, pour laquelle les données de validation sont très limitées. Comme on le verra plus loin, il serait important dans une phase ultérieure du présent projet de mieux documenter les caractéristiques et le bilan sédimentaires de la pointe de Beauport.

3.0 DESCRIPTION DU SITE ET DES AMÉNAGEMENTS PROJETÉS

3.1 Conditions actuelles

Dans les conditions d'aménagement actuelles, le secteur portuaire de Beauport, qui borde les quais 50 à 53 du port de Québec, se présente comme une péninsule orientée selon l'axe SO – NE et ayant une emprise d'environ 1,4 km par 0,9 km (photo 2).



Photo 2 : Pointe de Beauport – Septembre 1987
(source : APQ)

La forme actuelle de la pointe de Beauport résulte des derniers travaux d'expansion du port effectués en 1969-70. Selon les données disponibles, la majeure partie de la péninsule est constituée de sédiments sablonneux extraits par dragage hydraulique des fonds voisins (photo 3).



Photo 3 : Dragage hydraulique lors de la construction du secteur portuaire de Beauport - 1969
(source : APQ)

La péninsule est délimitée au sud par les caissons en béton des quais no 50 à 53 et au nord par un rentrant situé entre la limite du remblai et la rive nord du fleuve (photo 4). La limite est (aval) de la péninsule est constituée d'une plage sablonneuse, surmontée d'un talus plus abrupt correspondant à la limite atteinte par les niveaux d'eau maximums (combinaison des vagues de tempêtes et des marées de vive-eau). À proximité du quai no 53, ce talus montre des signes évidents d'érosion et des ouvrages de protection de la berge ont été mis en place. La portion centrale de la péninsule, caractérisée par la présence de végétation, montre des berges en apparence plus stables. Plus au nord, la berge décrit un léger rentrant ayant conduit avec les années à la formation d'une plage de pente relativement douce (photos 4 et 5).

Au fil des ans, les amateurs de voile, de planches à voile et, plus récemment, de « kite surfing » sont devenus des habitués de cette plage à cause de l'accès privilégié au fleuve qu'elle procure et des conditions de vent qui y prévalent.

PORT DE QUÉBEC

Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

Rapport no 1605

28 avril 2006



Photo 4 : Pointe de Beauport vue depuis l'est – Été 2005
(source : APQ)

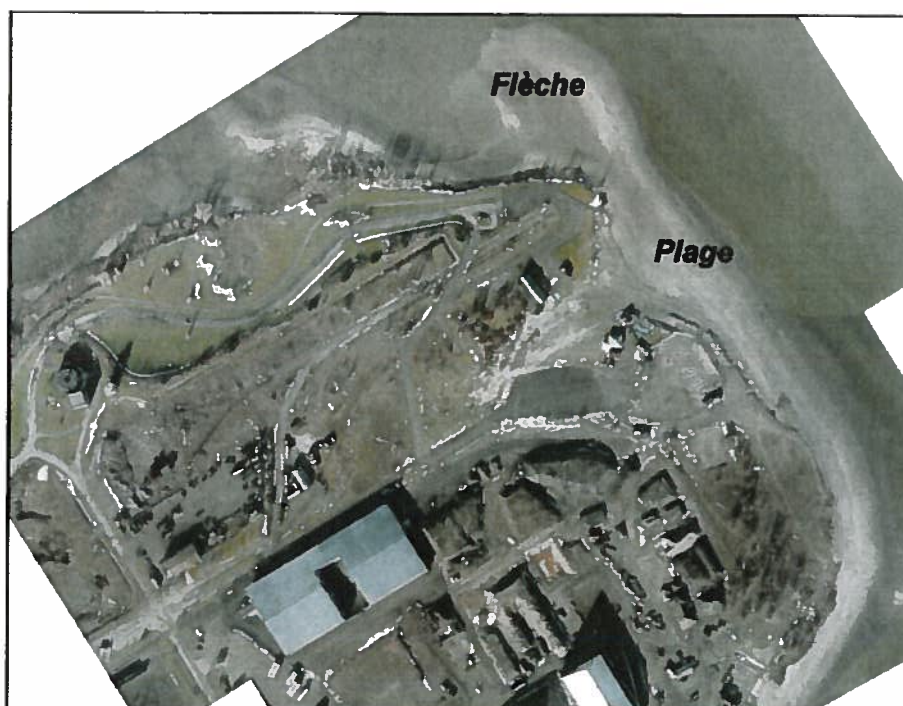


Photo 5 : Gros plan de la pointe et de la plage – Décembre 2005
(source : APQ)

3.2 Extension du secteur portuaire de Beauport – Présentation des variantes

Depuis plus de vingt ans, l'extension du secteur portuaire de Beauport représente la principale alternative d'expansion du port de Québec. Le prolongement rectiligne de la ligne des quais 50 à 53, qui serait souhaitable vis-à-vis des opérations de transbordement, peut difficilement être considéré à cause de l'interaction trop marquée qui résulterait entre les nouveaux quais et les courants maximums de flot et de jusant observés dans le chenal principal du fleuve.

Des études sur modèle réduit réalisées au GCL dans les années '80 avaient permis d'optimiser l'orientation de la nouvelle ligne de quais par rapport aux conditions d'accostage et de tenue à quai des navires, tant en conditions d'eau libre qu'en présence de glace. La dernière étude réalisée avant la démolition du modèle réduit, en 1989 [5], avait permis de tester trois orientations, soit 0 degré (prolongement rectiligne des quais existants), 9 degrés et 18 degrés.

Pour atténuer l'impact des glaces contre les nouveaux quais au jusant, la variante à 9 degrés devait être combinée à la mise en place d'un déflecteur le long des quais 26 et 25, visant à dévier les glaces à la dérive vers le large et à maintenir la nouvelle ligne de quais en retrait de la veine principale d'écoulement des glaces. L'étude avait conclu qu'un angle de 18 degrés pour la nouvelle ligne de quais, sans la mise en place du déflecteur en amont, permettait d'obtenir des conditions d'écoulement satisfaisantes tant en eau libre qu'en présence de glace. L'étude n'avait toutefois pas permis de préciser à partir de quelle ouverture intermédiaire, entre 10 et 18 degrés, des conditions adéquates pouvaient être obtenues sans l'aide du déflecteur.

3.2.1 Variante de base (variante 1)

Dans le cadre de la présente étude, le nouveau projet envisagé par l'Administration portuaire consiste en une nouvelle ligne de quai de 610 m de longueur et considère une orientation à 17 degrés par rapport à la ligne des quai actuels (figure 5a). Le secteur portuaire s'étend sur une distance de 375 m derrière les quais et la limite nord de l'extension se confond ainsi avec la limite sud de la plage existante. Aux fins de la présente étude, il a été supposé que l'extension comportait des parois verticales (palplanches ou caissons) sur toute sa périphérie.

Tel que convenu avec l'APQ, le devant des quais a été dragué au niveau -15 m. Sur la base des aménagements testés lors de l'étude de 1989 [5], un dragage d'accès de 600 m de longueur a

été considéré à l'aval de l'extension portuaire, dans le prolongement de la ligne des nouveaux quais (figure 6).

3.2.2 Optimisation de la forme de l'extension portuaire

Trois autres variantes d'aménagement de l'extension portuaire ont été proposées et étudiées par le GCL dans le cadre de la présente étude. Ces nouvelles variantes visaient essentiellement à reproduire le long de la plage des conditions hydrosédimentologiques se rapprochant le plus possible de celles prévalant dans les conditions actuelles. Cette approche suppose que la plage actuelle a atteint un état d'équilibre, que l'on vise à maintenir en présence des aménagements futurs. Les figures 5b à 5d illustrent ces trois variantes d'aménagement :

- La variante 2 (figure 5b) remplace la limite du côté est du secteur portuaire par une ligne de berge plus profilée, s'harmonisant mieux à la morphologie actuelle de la pointe de Beauport. Cette modification s'effectue toutefois au prix d'une réduction de la superficie disponible pour les activités portuaires. Sauf pour la ligne de quais et les premiers cent mètres du côté est de l'extension, on suppose que la limite est de l'extension correspond à un remblai naturel similaire à celui caractérisant la berge actuelle.
- La variante 3 (figure 5c) propose une limite rectiligne pour la limite est de l'extension, joignant la pointe des quais à la limite nord de la pointe actuelle. L'anse abritant la plage actuelle est ainsi remblayée et la ligne de rivage se déplace d'environ 90 m vers l'est au droit de la plage. Comme dans le cas de la variante 2, la variante 3 implique une réduction de la superficie disponible le long des quais pour les activités portuaires.
- La variante 4 (figure 5d), qui vise à reproduire le plus fidèlement possible en conditions futures la morphologie actuelle de la pointe de Beauport, consiste en une translation d'environ 300 m vers l'est de la ligne de rive observée dans les conditions actuelles. Cette variante, qui rappelle les schémas d'aménagement considérés lors des études sur modèle des années '80, implique évidemment une relocalisation de la plage mais permet en retour de retrouver des conditions hydrosédimentologiques reproduisant le plus fidèlement possible l'état actuel.

3.2.3 Optimisation de l'angle de la nouvelle ligne de quai

L'ensemble des simulations hydrosédimentologiques présentées dans ce rapport supposaient un angle de 17 degrés entre la nouvelle ligne de quais et celle des quais existants. Des essais de sensibilité ont toutefois été effectués afin d'établir l'influence de ce paramètre sur les conditions hydrodynamiques. (cf. section 4.4).

4.0 COURANTS DE MARÉE

4.1 Conditions actuelles

4.1.1 Ensemble de la zone modélisée

Les figures 7a à 7j illustrent les champs des courants de marée de vive-eau et de morte-eau simulés en conditions actuelles pour l'ensemble de la zone reproduite par le modèle hydrodynamique. Les figures 7a à 7e correspondent au flot et les figures 7f à 7j au jusant.

L'observation générale des champs des courants permet de dégager les points suivants :

- Les courants maximums de flot atteints en vive-eau varient de 2 à 2,2 m/s. Ces valeurs sont obtenues dans le bras sud de l'île d'Orléans et dans les resserrements de la section d'écoulement observés plus en amont entre le bassin Louise et le bassin Brown, puis au passage de la pointe à Puiseaux (en amont de l'anse au Foulon).
- Au jusant, les courants maximums demeurent dans la gamme de 2 à 2,2 m/s dans le bras sud de l'île d'Orléans mais ne dépassent pas 1,8 à 1,9 m/s au droit du bassin Louise
- Au large des battures de Beauport, soit à la confluence de la branche amont du fleuve avec les bras nord et sud de l'île d'Orléans, on observe une réduction tangible des vitesses maximales de l'écoulement, qui ne dépassent pas 1,6 – 1,7 m/s au flot et 1,4 – 1,5 m/s au jusant.
- Cette réduction des vitesses (qui est causée par l'élargissement de la section d'écoulement dans cette zone) de même que les courants maximums de flot et de jusant prédits par le modèle numérique reproduisent bien les résultats fournis par le modèle physique du port en conditions de vive-eau [4].

Les champs de vitesses des figures 7g à 7j montrent que la pointe de Beauport se situe clairement en retrait de la veine principale des courants de jusant. La morphologie générale des fonds et l'effet défecteur de la ligne des quais 18-26-25 (à l'aval du bassin Louise) tendent en effet à protéger la pointe de l'action directe des courants principaux du jusant.

Au flot, l'écoulement principal du fleuve passe plus près de la pointe de Beauport, même si les courants obtenus aux abords immédiats de cette dernière demeurent clairement inférieurs à ceux caractérisant le chenal principal.

4.1.2 Secteur de Beauport

La première carte de chacune des figures 8a à 8f présente les courants de vive-eau obtenus en conditions actuelles aux abords immédiats de la pointe de Beauport. Ces figures illustrent les champs de vitesses correspondant aux instants du cycle de marée où les maxima sont observés, soit le long de la pointe de Beauport, soit dans l'écoulement principal du fleuve au droit des battures.

On note d'abord que les courants maximums obtenus le long des quais 50 à 53 sont faibles par rapport aux ceux observés dans l'axe d'écoulement principal du fleuve. Les vitesses les plus élevées sont obtenues à l'extrémité du quai no 53, mais et ne dépassent pas 0,3 à 0,5 m/s.

Il est ensuite intéressant de comparer les courants maximums de vive-eau obtenus le long de la limite est (aval) du secteur portuaire de Beauport avec ceux caractérisant le chenal de navigation. Au flot, des courants maximums de 0,6-0,7 m/s sont prédits localement près de la portion centrale de la pointe (figure 8c), avec des courants clairement inférieurs le long des portions sud (adjacente au quai 53) et nord (plage) de la pointe. À titre indicatif, soulignons que les vitesses correspondantes obtenues au centre du fleuve sont plutôt de 1,5 à 1,7 m/s.

Au jusant, des courants non négligeables sont uniquement observés aux abords de la portion sud de la pointe, avec des vitesses maximales voisines de 0,5 m/s (figures 8d à 8f). Ces valeurs sont clairement en deçà des courants maximums de 1,4 à 1,5 m/s observés au même moment dans le chenal de navigation (figure 8f).

Tel que mentionné à la section précédente, on constate ainsi que la pointe de Beauport demeure clairement en retrait des courants de jusant et que les courants maximums de flot y sont relativement faibles.

La première carte couleur des figures 9a à 9d offre une synthèse de la vitesse maximale des courants obtenue en conditions actuelles dans le secteur de Beauport. Le diagramme intègre les valeurs maximales de la vitesse enregistrées en chaque point de la zone à l'étude pour un cycle

complet de marée de vive-eau. Dans l'ensemble de la baie de Beauport, la vitesse maximale des courants de marée est inférieure à 0,9 m/s. Cette valeur, qui coïncide pratiquement avec l'isobathe -5 m, diminue rapidement à 0,6 m/s ou moins dans la zone comprise entre la portion centrale de la pointe et la rive nord du fleuve. La portion des battures située au nord de la plage est animée par des courants de marée ne dépassant pas 0,3 m/s.

Aux abords immédiats de la pointe de Beauport, les vitesses maximales atteignent localement 0,5 à 0,7 m/s dans la portion centrale, mais des valeurs inférieures sont observées au nord et au sud, dans les tronçons de la berge situés en retrait de la portion centrale. Devant la plage, les courants de marées maximums ne dépassent pas 0,2 m/s (figure 9a).

4.2 Conditions futures dans le secteur de Beauport

Les figures 8a à 8f permettent d'apprécier l'impact exercé par l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les courants de marée. On y compare les résultats obtenus en vive-eau pour les conditions actuelles d'aménagement avec ceux correspondant aux variantes d'aménagement 1 à 4 (déjà présentées à la section 3.2.2 et aux figures 5a à 5d).

4.2.1 Flot

Les résultats obtenus au flot pour les variantes d'aménagement 1 à 3 (figures 8a à 8c) indiquent une mise en vitesse de l'écoulement à l'extrémité des nouveaux quais, qui est alors contournée par les courants issus de la batture. Les courants maximums de vive-eau à cet endroit atteignent ainsi 0,9 à 1,0 m/s. Il est à noter qu'une certaine mise en vitesse est également observée en conditions actuelles le long de la portion centrale de la pointe (figure 8c), mais qu'elle est moins prononcée qu'en conditions futures. Mentionnons aussi que la géométrie plus arrondie de la variante 4 conduit à l'extrémité des quais à une mise en vitesse moins marquée que pour les variantes 1 à 3.

Afin d'éviter les impacts de glace à la dérive pouvant résulter de cette concentration des courants en bout de quai, il pourrait s'avérer souhaitable de prévoir la mise en place d'un court épi déflecteur en enrochements à l'extrémité de ces quais (comme c'était le cas pour les variantes étudiées lors de l'étude sur modèle réduit de 1989 [5]).

Au début du flot, la figure 8a indique que les courants aux abords des nouveaux quais sont généralement parallèles à ces derniers. On note toutefois pour les variantes 1 à 3 un léger décollement induit par la mise en vitesse observée précédemment à l'extrémité des nouveaux quais. Avec l'augmentation des courants de flot, la taille de ce décollement augmente et on observe à la figure 8c que les abords des nouveaux quais correspondent alors à un courant de retour où les vitesses maximales demeurent inférieures à 0,5 m/s. Comme l'indique la figure 8c ce décollement est moins prononcé pour la variante 4 que pour les variantes 1 à 3.

4.2.2 Jusant

Pour les variantes 1 à 3, les figures 8d et 8e indiquent des courants de jusant pratiquement identiques. Les vitesses maximales le long des futurs quais sont atteintes au tout début du jusant et varient de 0,5 à 0,9 m/s, cette dernière valeur étant observée près de l'extrémité des nouveaux quais.

L'empiètement plus considérable sur la batture associé à la variante 4 suffit à modifier sensiblement le patron général des courants sur la batture au début du jusant, lors de la renverse des courants. Comme l'indique la figure 8d, il en résulte alors le long des nouveaux quais de la variante 4 des courants maximums un peu moins élevés que pour les variantes 1 à 3 (0,7-0,8 m/s contre 0,8-0,9 m/s).

Plus tard dans le cycle de marée, la figure 8f montre pour les quatre variantes considérées que les quais demeurent clairement en retrait des courants maximums de jusant obtenus dans le chenal de navigation.

Il est à noter que ces résultats sont très similaires à ceux obtenus sur modèle réduit lors de l'étude de 1989 [5].

4.2.3 Vitesses maximales

Pour chacune des quatre variantes d'extension du secteur portuaire, les figures 9a à 9d illustrent pour un cycle complet de marée de vive-eau la valeur maximale des courants obtenue dans l'ensemble du secteur de la pointe de Beauport.

Pour les variantes 1 à 3, les vitesses maximales obtenues sur les battures, à l'est de l'extension portuaire, sont considérablement réduites par rapport à celles qui sont observées dans les conditions actuelles. Aux abords de la portion centrale du secteur portuaire, les courants maximums ne dépassent pas 0,2 à 0,3 m/s en conditions futures, alors que des valeurs de 0,5 à 0,7 m/s sont observées en conditions actuelles.

Les variantes 1 et 2 indiquent des vitesses très faibles le long de la plage, avec des maxima de l'ordre de 0,1 m/s pour l'ensemble du cycle de vive-eau. Il faut toutefois souligner que les vitesses obtenues dans les conditions actuelles sont également faibles, ne dépassant pas 0,2 m/s.

Les modifications de l'emprise du secteur portuaire proposées par les variantes 2 et 3, qui sont avant tout justifiées par des questions de dynamique sédimentaire liées aux vagues (cf. section 6), ne permettent aucunement d'augmenter les vitesses maximales des courants de marée en bordure de l'extension projetée. La variante 2, qui préconise un raccordement plus profilé de l'extrémité des nouveaux quais à la plage existante, conduit en fait à un agrandissement de la zone de basse vitesse bordant l'extension (figure 9b). La variante 3, qui déplace la plage vers l'est, permet d'atténuer cet effet, mais les vitesses le long de l'extension demeurent encore réduites par rapport à celles observées en conditions actuelles (figure 9c).

Des courants de marée maximums similaires à ceux caractérisant la pointe actuelle sont toutefois obtenus le long de la rive de la variante 4, où des courants de 0,5 à 0,7 m/s sont observés le long de la portion centrale de la nouvelle pointe (figure 9d). Tel que prévu initialement, la variante 4 offre ainsi le long du secteur portuaire des conditions hydrodynamiques relativement proches de celles observées dans les conditions actuelles.

Comme on le verra plus loin, les courants de marée ne représentent probablement pas un facteur déterminant dans la dynamique sédimentaire de la pointe et de la plage, qui dépend avant tout de l'agitation et des courants induits par les vagues. Toutefois, la formation en conditions futures d'une zone de courants de marée où les vitesses maximales sont sensiblement réduites par rapport à celles des conditions actuelles peut tout de même contribuer à augmenter les risques d'ensablement de la plage. Sur la base des courants de marée, la variante 4 offre donc des conditions plus sécuritaires que les variantes 1 à 3. Il faut cependant nuancer en répétant que la plage actuelle n'est soumise qu'à de faibles courants de marée, avec des vitesses maximales de 0,2 m/s ou moins.

4.3 Conditions d'accostage et de tenue à quai

Les variantes 1 à 4 apparaissent très similaires quant aux conditions d'écoulement pouvant influencer les conditions d'accostage et de tenue à quai des navires. Par rapport aux variantes 1 à 3, la variante 4 offre au flot des courants maximums un peu plus uniformes, la zone de décollement induite par la mise en vitesse à l'extrémité des nouveaux quais étant moins prononcée qu'avec les variantes 1 à 3. Comme l'indique la figure 8b, ce décollement conduit pour les variantes 1 à 3 à la formation d'un courant de retour le long des nouveaux quais (i.e. courant le long du quai orienté vers l'aval alors que les courants plus au large se dirigent vers l'amont). Toutefois, l'intensité de ce courant de retour demeure faible et il est difficile de départager les variantes d'après ce seul critère.

Au jusant, les courants maximums le long des quais de la variante 4 semblent plus uniformes qu'en présence des variantes 1 à 3, où une certaine concentration des vitesses est obtenue près de l'extrémité des quais (figure 8d). Encore une fois, l'écart obtenu entre les variantes est faible mais semble avantager la variante 4. Lorsque les courants de jusant sont maximums au centre du fleuve (figure 8f), les nouveaux quais demeurent clairement en retrait de l'écoulement principal, et ce pour les quatre variantes considérées.

4.4 Influence de l'orientation de la ligne des nouveaux quais

Lors de l'étude sur modèle réduit de 1989 [5], l'optimisation de l'orientation de la nouvelle ligne de quais par rapport aux quais existants avait reposé en large partie sur les observations des risques d'impact des glaces à la dérive contre les nouveaux quais. La modélisation numérique ne permet malheureusement pas de reprendre une telle analyse.

Au delà de la valeur précise de l'angle des nouveaux quais, on doit toutefois souligner que les risques d'impacts directs des glaces contre les quais peuvent être considérablement atténués par la configuration du couvert de glace obtenu dans le secteur des battures. La photo 6, prise en février 1974, indique que le train de glace à la dérive est limité au chenal d'écoulement principal du fleuve et que les abords du secteur portuaire de Beauport se situent dans une zone de glace plus statique empêchant les interactions directes entre les plaques à la dérive et les quais.



Photo 6 : Conditions de glace dans le secteur de Beauport le 2 février 1974

Des recherches de photos aériennes en conditions hivernales, effectuées auprès de la Garde côtière canadienne et du Service canadien des glaces, n'ont pas permis d'obtenir d'autres données photos concernant le régime des glaces du secteur à l'étude, mise à part la photo 7. Cette photo prise en mars 2006 correspond à des conditions de fin d'hiver, avec une faible concentration de glace à la dérive, et n'est donc pas représentative du régime des glaces de plein hiver. La photo permet toutefois de supposer qu'une interaction plus directe entre les glaces à la dérive et les nouveaux quais pourrait se produire en début et en fin d'hiver, lorsque la zone des nouveaux quais se situe dans le chenal des glaces à la dérive plutôt que dans l'emprise du couvert statique issu des battures.



Photo 7 : Conditions de glace dans le secteur de Beauport le 15 mars 2006

En vue d'établir l'influence de l'orientation de la nouvelle ligne de quais sur les conditions d'écoulement en eau libre, des simulations ont été reprises en conditions de vive-eau, en présence de la variante 1, mais en réduisant l'angle des nouveaux quais de 17 à 12 degrés par rapport aux quais existants. Le principal impact de ce changement a été ressenti au flot avec une augmentation considérable de l'emprise et de l'intensité du courant de retour formé devant les nouveaux quais (figure 10).

Sur la base de ces résultats, et de ceux obtenus lors de l'étude sur modèle réduit de 1989 [5], il est recommandé à ce stade du projet de ne pas orienter les quais à moins de 17 degrés par rapport aux quais existants. Un examen plus approfondi de la question pourra toutefois être entrepris lorsque les caractéristiques précises de l'extension portuaire seront mieux définies.

5.0 RÉGIMES DES VENTS ET DES VAGUES

La morphologie de la pointe de Beauport, la présence de sédiments sableux et la formation au fil des ans d'une flèche à l'extrémité nord-ouest de la pointe révèlent une dynamique sédimentaire d'avantage dictée par les vagues que par les courants de marée. Les conditions de vent qui ont fait la réputation du site auprès des véliplanchistes représentent également un indice révélateur de l'importance des vagues dans la dynamique sédimentaire.

Afin de mieux connaître le régime des vagues applicable au site, une analyse des données de vents des diverses stations météo de la région a été effectuée dans le cadre du présent mandat par le professeur Yvon Ouellet, de l'Université Laval. Les vents de trois stations d'Environnement Canada ont d'abord été utilisés :

- Lauzon, sur la rive opposée du fleuve (station no 702MKNL);
- Saint-François, à la pointe aval de l'île d'Orléans (no 70132G9);
- Aéroport de Québec - Jean Lesage (no 7016294).

Les résultats de l'analyse des vents ont ensuite servi d'intrant à la modélisation des vagues générées par le vent, effectuée à l'aide du logiciel GENER de l'Université Laval.

La station de Beauport (no 7010565), qui est située directement sur le site à l'étude, n'a pas été utilisée dans la prédiction des vagues car ses fichiers de données n'ont pu être obtenus à temps dans un format compatible avec le logiciel GENER (qui utilise les fichiers standard d'Environnement Canada). Le professeur Ouellet a toutefois réalisé dans le cadre du présent mandat une comparaison détaillée du régime des vents des stations de Lauzon et de Beauport, en utilisant les fichiers (format Excel) fournis par l'APQ pour cette dernière station. Les résultats de cette analyse [6] montrent une grande similarité entre les stations de Lauzon et de Beauport, et ce tant du point de vue de la direction que de la vitesse des vents dominants.

La figure 11 permet de comparer le régime des vents établi aux stations de Québec, Saint-François et Lauzon, pour les mois correspondants aux conditions d'eau libre (1^{er} avril au 1^{er} décembre de chaque année).

Les données de ces trois stations montrent deux secteurs de vents dominants : le premier centré sur l'OSO et le second centré sur l'ENE, mais variant selon les stations entre le NE et l'E.

Contrairement aux vents du OSO, les vents issus du secteur général ENE génère des vagues ayant une incidence directe sur la pointe de Beauport et sont donc primordiaux dans l'analyse de la dynamique sédimentaire.

Il importe également de noter que les stations de Saint-François et Lauzon montrent des vitesses maximales plus fortes par vents de l'ENE que par vents de l'OSO. Cette distinction, qui n'apparaît pas à l'aéroport de Québec, peut être liée en partie à l'emplacement des stations Saint-François et Lauzon, qui sont directement exposées au fleuve par vents issus de l'ENE. .

La figure 11 fournit également la rose des vagues calculée pour la pointe de Beauport d'après les données de vents de la station de Lauzon. Les vagues les plus fréquentes sont issues des secteurs ENE et EST et leur hauteur significative maximale atteint 1,5 m. Une hauteur de 0,8 m n'est atteinte ou dépassée pour ces directions que moins de 1% du temps.

6.0 DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE

6.1 Caractérisation des conditions actuelles

En vue d'évaluer l'impact des nouveaux aménagements sur les conditions hydro-sédimentologiques locales, une compréhension préalable de la dynamique sédimentaire du secteur est requise.

L'étude d'impact effectuée en 1983 par Roche [7] pour le projet d'extension du port de Québec sur les battures de Beauport demeure l'une des principales sources de données concernant la dynamique sédimentaire de la pointe et de la baie de Beauport. Les études antérieures effectuées par Sérodes pour l'ensemble des battures de l'estuaire moyen du Saint-Laurent [8,9] fournissent également des informations intéressantes quant à la sédimentologie du secteur. Le rapport plus récent préparé par la firme Argus en 2001 [10] est également utile à cet égard.

Sur la base de ces travaux, il apparaît d'abord que la sédimentologie de la baie de Beauport concerne avant tout les matériaux non cohésifs de nature sableuse ou silteuse. En effet, le niveau d'agitation induit par les vagues et les courants de marée est suffisant pour empêcher un envasement soutenu de la batture. Les relevés de terrain effectués par Roche [7] ont montré de la sédimentation fine en cours d'été, mais l'accroissement des vagues associé aux vents d'automne du secteur ENE et la disparition de la végétation dans les estrans supérieurs tendent à éroder les sédiments déposés pendant l'été.

Selon Roche [7], les seules portions de la batture où les matériaux fins (cohésifs) prédominent sont le rentrant sud-ouest (situé entre le secteur portuaire actuel et la limite naturelle de la batture) et le rentrant nord-ouest, situé légèrement en amont de l'embouchure de la rivière Beauport. Ailleurs, dans la baie de Beauport, la géomorphologie indique des fonds sablonneux (figure 12).

Les caractéristiques granulométriques des fonds relevées par Roche [7] et Sérodes [11], et illustrées à la figure 12, confirment aussi cette prédominance des matériaux sablonneux. Par contre, il importe de souligner que les relevés récents effectués dans le cadre du présent projet d'extension par la firme Mission HGE [12] montraient plutôt des matériaux argilo-silteux le long de la pointe de Beauport. En effet, les trois sondages réalisés le long de la pointe indiquent un d_{50} de

0,002 à 0,007 mm. Il est difficile d'expliquer ces résultats, sauf en supposant que les échantillons prélevés correspondaient aux sédiments fins déposés en cours d'été sur la batture.

Une fois établie la prédominance des fonds sablonneux dans l'étude de la dynamique de la pointe et de la plage, il importe d'établir les grandes lignes du bilan sédimentaire. On doit alors se questionner sur la provenance des matériaux alimentant la progression de la flèche sablonneuse et, par le fait même, sur la stabilité générale de la plage et de la pointe.

L'analyse des photos aériennes fournies par l'APQ tend à indiquer que la zone à l'étude est proche de l'état d'équilibre, aucun changement notable n'étant observé à long terme dans la morphologie de la plage et des talus, outre la formation plus évidente ces dernières années de la flèche sablonneuse à l'extrémité nord de la pointe. Selon les informations fournies par l'APQ, les portions de la pointe ayant nécessité des travaux de protection sont concentrées aux abords du quai no 53 et les autres secteurs de la pointe ne semblent pas avoir requis de tels travaux depuis sa mise en place en 1970.

La comparaison de relevés bathymétriques réalisés sur la batture en 1982 (Service hydrographique du Canada) puis en 1989 (plan des Entreprises Normand Juneau fourni par l'APQ) ne montre pas une tendance claire à l'érosion ou à la sédimentation. Comme l'indique la figure 13, les points communs aux deux relevés le long de la limite est du secteur portuaire de Beauport semblent toutefois indiquer un certain rehaussement des fonds (i.e. ensablement) entre 1982 et 1989.

Par contre, le rapport d'Argus [10], fait état d'une érosion et d'un recul importants du talus surplombant la plage. Selon Argus, cette érosion serait apparue évidente à partir de 1996 ou 1997 (d'après certains utilisateurs du site) et aurait conduit à un recul maximal de 3 m sur deux ans entre la plage et l'usine d'épuration. Selon Argus, la formation de la flèche sablonneuse découle directement de cette érosion.

Il est évident que les tempêtes les plus sévères peuvent occasionnellement conduire à une érosion et à un certain recul du talus situé en tête de plage. Toutefois, l'extension portuaire étant en place depuis trente-cinq ans, il est difficile d'admettre que le bilan sédimentaire de la pointe soit clairement déficitaire, d'autant plus qu'aucune mesure de protection ne semble avoir été requise durant toutes ces années, mise à part la zone bordant le quai no 53.

Il est donc probable que la flèche soit effectivement alimentée par l'érosion de la berge située plus au sud, mais il semble aussi raisonnable de supposer qu'un apport sédimentaire externe, lié aux crues du Saint-Laurent, contribue également au bilan sédimentaire de la pointe de Beauport.

Une réponse complète à cette question ne peut être fournie dans le cadre du présent mandat, à cause du manque de données relatives à la granulométrie, au bilan sédimentaire et à la morphologie de la pointe. Il devient ainsi difficile d'établir à long terme si le site actuel demeurera stable ou si des travaux de protection seront requis pour éviter un recul excessif de la ligne des hautes-eaux.

Il semble toutefois clair que la dynamique sédimentaire du secteur à l'étude est avant tout dictée par le transport de matériaux non cohésifs. Les forces motrices conduisant au transport des sédiments sont liées à l'agitation provoquée par les vagues, qui soulève les sédiments et les met en suspension dans la colonne d'eau, et aux courants résiduels induits par ces vagues, qui transportent les sédiments en suspension le long du littoral. Il faut aussi mentionner que les faibles courants résiduels créés par le débit fluvial du Saint-Laurent peuvent également contribuer à la dynamique sédimentaire du secteur.

Le cycle sédimentaire de la pointe doit donc être considéré sur des bases saisonnières ou annuelles, jalonnées par les tempêtes automnales du secteur ENE et par la crue printanière du Saint-Laurent et de ses affluents. Comme on l'a mentionné précédemment, les courants induits par la marée n'apparaissent pas dans ce contexte comme un facteur primordial dans la dynamique sédimentaire de la pointe.

6.2 Optimisation et impacts de l'extension portuaire

6.2.1 Approche méthodologique

L'analyse des variantes d'aménagement du nouveau secteur portuaire a été réalisée en cherchant à maintenir aux abords de la plage des conditions hydrosédimentologiques similaires à celles qui prévalent des conditions actuelles. Du point de vue des courants de marée, les résultats de la section 4.2 ont déjà indiqué que les variantes d'aménagement 1 à 3 conduisaient à un ralentissement tangible des courants maximums obtenus le long de la limite est de l'extension portuaire mais que la variante 4 permettait de retrouver des conditions plus proches de celles observées le long de la pointe actuelle.

La présente section poursuit la comparaison des variantes en l'étendant aux conditions de vague et de transport sédimentaire associés à chacune des configurations d'aménagement de la pointe. Les incertitudes qui persistent quant à la dynamique sédimentaire du secteur, de même que la complexité des phénomènes en jeu (interactions entre les vagues, les niveaux de marée, les courants de marée et les courants induits par les vagues...), nécessitent une certaine schématisation des scénarios de simulation. Pour chacune des variantes d'aménagement de la pointe, la démarche suivante est appliquée :

- À cause de l'influence prédominante des vagues dans la dynamique sédimentaire de la pointe, on néglige l'influence des courants de marée (qui sont de toute façon faibles le long de la majeure partie de la pointe).
- On suppose une vague incidente provenant de l'azimut 78,8 degrés (i.e. direction médiane entre l'ENE et l'E) avec une hauteur significative de 0,8 m et une période de 3,5 secondes. Les résultats de la section 5 (figure 11) indiquent que ces conditions de vagues sont sévères, ne survenant qu'un peu moins de 1% du temps lors d'épisodes de vents de l'ENE et de l'E.
- La réfraction et le déferlement des vagues à l'approche du littoral sont modélisés à l'aide de MIKE 21 NSW, dans les limites indiquées à la figure 4, pour un niveau d'eau fixé à +3,5 m. Cette valeur est voisine du niveau marégraphique moyen et permet de bien illustrer le transport sédimentaire le long de la pointe représentée au modèle numérique.
- Les contraintes de radiation des vagues prédites par MIKE 21 NSW sont ensuite utilisées dans le modèle hydrodynamique pour simuler les courants littoraux induits par les vagues.
- Les caractéristiques des vagues (hauteur, direction, période) calculées à l'aide de MIKE 21 NSW et les courants littoraux induits par ces vagues sont finalement combinés dans le module sédimentaire de MIKE 21 (Sand Transport) pour prédire l'ordre de grandeur du transport sédimentaire le long de la plage. Le calcul repose sur la méthode de Bijker, applicable au transport des sables sous l'effet combiné des vagues et des courants. On suppose un d_{50} de 0,2 mm (sable fin) pour l'ensemble des fonds de la zone à l'étude.

Il est à souligner que la complexité du problème et, surtout, le manque de données concernant les caractéristiques sédimentologiques et morphologiques de la pointe, ne permettent pas d'obtenir dans le cadre du présent mandat une évaluation quantitative du transport solide et de l'évolution à long terme de la pointe. On cherche plutôt à établir pour chacune des variantes d'aménagement un portrait relatif du transport solide induit par les vagues permettant une comparaison avec les conditions actuelles.

6.2.2 Résultats de simulation et analyse

Les figures 14a à 14e présentent pour les conditions actuelles et les variantes 1 à 4 de l'extension portuaire, les résultats des simulations hydrosédimentologiques décrites précédemment. Chaque figure comporte trois cartes :

- a) La hauteur et la direction des vagues
- b) Les courants induits par ces vagues
- c) Le transport sédimentaire résultant de l'action combinée des vagues et des courants

Dans les conditions actuelles, la figure 14a indique que les vagues de tempêtes issues de l'ENE induisent un courant littoral important le long de la portion centrale de la pointe et de la plage. Le transport sédimentaire résultant est maximal sur la portion centrale de la pointe et diminue sensiblement le long de la plage, à cause des hauteurs de vagues légèrement réduites observées dans ce secteur.

Ces résultats permettent de bien comprendre le processus de formation de la flèche sablonneuse. Si le bilan sédimentaire de la pointe est uniquement lié à des échanges locaux, ces résultats tendraient également à confirmer les observations contenues dans le rapport d'Argus [10] selon lesquelles la formation de la flèche résulte uniquement de l'érosion de la pointe au gré des tempêtes du secteur ENE. Comme on l'a mentionné précédemment, il est toutefois possible que le cycle sédimentaire annuel du fleuve transporte de nouveaux apports sableux vers la zone à l'étude.

Dans le cas des variantes d'aménagement 1 et 2, qui visent à maintenir la plage à son emplacement actuel, les résultats des figures 14b et 14c montrent une réduction de l'agitation et des courants induits par les vagues le long de la plage. L'écart par rapport aux conditions

actuelles est particulièrement marqué en présence de la variante 1. Déjà à l'abri des courants de marée, la plage se trouve aussi fortement protégée de l'action des vagues. Ces conditions pourraient certes sembler intéressantes vis-à-vis des risques d'érosion mais elles posent en retour un risque marqué d'ensablement et d'avancée de la plage actuelle. L'absence d'agitation indiquée par les résultats de la figure 14b pourrait même poser un risque d'envasement de la plage actuelle, similaire à celui qui s'est produit au fil des ans dans le rentrant sud-ouest. Il est à noter que la mise en place d'un talus naturel (enrochements ou remblai) à la limite est de l'extension proposée par la variante 1 ne modifierait pas les conditions obtenues à l'emplacement de la plage.

La variante 2 (figure 14c) permet de réduire l'enclavement de la plage actuelle mais la comparaison avec les conditions actuelles ne permet pas d'exclure les probabilités de sédimentation et d'avancée subséquente de la ligne de rive actuelle vers l'est.

La variante 3 déplace initialement la plage actuelle en reliant directement l'extrémité des nouveaux quais à la limite nord de la batture. Comme l'indique la figure 14d, l'agitation due aux vagues et le transport littoral le long de la nouvelle péninsule sont encore passablement réduits par rapport aux conditions actuelles mais semblent plus uniformes que dans le cas des variantes 1 et 2. La variante 3 semble à cet égard plus prometteuse que les variantes 1 et 2. Il faut toutefois noter que l'orientation passablement oblique de la nouvelle plage par rapport aux vents et aux vagues des secteurs NE à EST pourrait favoriser un déplacement de cette dernière vers l'ouest, dans l'axe de la flèche sablonneuse observée en conditions actuelles. En phase ultérieure du projet, lorsque des données plus précises seront disponibles, des ajustements pourraient toutefois être apportés à la variante 3 de manière à favoriser la pérennité de la nouvelle plage.

Dans la mesure où l'on admet que la pointe de Beauport est effectivement à l'équilibre, il apparaît logique de chercher à reproduire le long de la rive de la future extension portuaire des conditions hydrosédimentologiques le plus près possible de celles observées en présence de l'aménagement actuel. La variante 4 a été développée dans cet optique. Comme l'indique la figure 14e, les résultats de simulation obtenus le long de la nouvelle extension se rapprochent passablement de ceux obtenus pour les conditions actuelles (figure 14a). Les courants et le transport littoraux les plus importants sont observés le long de la portion centrale de la pointe et diminuent sensiblement devant l'anse abritant la plage. Sur la base de ces résultats, la variante 4 semble donc prometteuse d'un point de vue hydrosédimentologique.

Pour raffiner l'analyse des variantes d'aménagement et privilégier clairement un schéma d'aménagement plutôt qu'un autre, il sera toutefois primordial en phase ultérieure du projet de mieux documenter la sédimentologie actuelle de la pointe de Beauport et de la plage. La section suivante résume les types de relevés qui seraient alors requis.

6.3 Relevés ultérieurs

Une analyse plus poussée de la stabilité et de la pérennité de la plage en présence de l'extension portuaire pourra difficilement être réalisée sans une meilleure connaissance des paramètres sédimentologiques caractérisant la pointe de Beauport dans les conditions actuelles.

Les travaux requis pour documenter ces paramètres consisteraient essentiellement en des relevés sur le terrain touchant :

- i. La topographie/bathymétrie détaillée de la pointe actuelle et son évolution annuelle durant l'ensemble de la période d'eau libre (du départ des glaces à la fin de l'automne).
- ii. La granulométrie détaillée des sédiments de surface, documentée en début et en fin d'été puis à la fin de l'automne.
- iii. Le transport solide par charriage et en suspension, mesuré le long de la pointe lors de la crue printanière et de tempêtes automnales.

Ces relevés impliquent une campagne de mesures relativement importante, dont l'envergure est toutefois limitée par l'absence de relevés relatifs aux vagues ou aux courants.

Les relevés de topographie/bathymétrie devraient être effectués le long d'au moins une quinzaine de sections-en-travers couvrant l'ensemble de la pointe entre les niveaux +8 m et -1 m. Des échantillons de fond pourraient être prélevés le long de chacune de ces sections.

Le transport solide pourra être évalué à l'aide de trappes à sédiments.

7.0 SOMMAIRE ET CONCLUSIONS

L'Administration portuaire de Québec (APQ) a confié au Groupe-Conseil LaSalle un mandat visant à établir l'impact de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales, notamment au droit de la plage actuellement utilisée par les plaisanciers.

Quatre variantes d'aménagement ont été considérées :

- Un premier schéma (variante 1) proposé par l'APQ et impliquant une extension de 610 m par 375 m avec une ligne de quais orientée à 17 degrés par rapport aux quais actuels (figure 5a).
- Une seconde variante (variante 2) proposant un raccordement mieux profilé entre l'extension portuaire et la plage actuelle (figure 5b).
- Une variante déplaçant légèrement la plage vers l'est, et reliant directement l'extrémité des nouveaux quais avec la limite nord de la pointe de Beauport (variante 3, figure 5c).
- Une quatrième variante cherchant à reproduire en conditions futures un littoral ayant une morphologie similaire à celle de la pointe actuelle (variante 4, figure 5d).

Ces variantes ont été comparées à l'aménagement actuel sur la base des courants de marée, des vagues et du transport sédimentaire. Les résultats obtenus peuvent se résumer comme suit :

- Les vitesses maximales des courants de marée le long de la limite est du nouveau secteur portuaire, qui sont déjà faibles en conditions actuelles, seront diminuées d'avantage dans les conditions futures en présence des variantes 1 à 3. La variante 4 permet toutefois de reproduire la long de la future extension des courants de marée s'approchant de ceux obtenus dans les conditions actuelles.
- La dynamique sédimentaire de la zone à l'étude étant essentiellement liée au transport des sédiments non cohésifs par les vagues issues des secteurs NE à E, il importe de bien connaître l'impact des futurs aménagements sur les conditions de vagues et de courants littoraux prévalant actuellement aux abords de la plage.

- Dans l'hypothèse où la pointe et la plage actuelles sont à l'équilibre, on devra chercher à assurer le long de la plage un niveau d'agitation similaire à celui qui caractérise actuellement la plage, de manière à éviter l'ensablement et l'avancée de la plage en conditions futures.
- Si au contraire, les conditions actuelles sont effectivement instables, les aménagements futurs pourraient servir à contrôler l'érosion de la plage.
- Indépendamment de la stabilité de la plage actuelle, l'enclavement de la plage qui résulterait de la variante d'aménagement no 1 doit être évité à cause des risques marqués d'ensablement et d'avancée de la plage.
- La variante 2 permet de maintenir un certain niveau d'agitation devant la plage actuelle. Cette variante, qui situe la plage dans un écoulement moins dynamique qu'en conditions actuelles, pourrait uniquement s'avérer intéressante si la pointe actuelle est effectivement en érosion. En première analyse, cette variante ne peut toutefois pas être retenue à cause des risques de sédimentation liés à la réduction de l'agitation par les vagues le long de la nouvelle extension portuaire. Une réponse plus précise à cette question peut uniquement être obtenue par une analyse plus poussée du bilan sédimentaire et de la stabilité de la pointe en conditions actuelles.
- Le déplacement de la plage proposée par la variante 3 réduit les risques de sédimentation mais l'orientation de la nouvelle berge par rapport aux vents dominants pourrait conduire à un transit sableux important vers l'intérieur de la batture. En phase ultérieure du projet, des ajustements à la configuration de la variante 3 pourraient toutefois permettre d'améliorer les conditions hydrosédimentologiques au droit de la plage.

Sur la base de ces résultats, il apparaît difficile en première analyse de garantir la pérennité et la stabilité de la plage lorsque cette dernière demeure trop en retrait de la nouvelle extrémité des quais.

La variante 4 propose à cet égard une hypothèse plus sécuritaire, qui consiste à conserver en conditions futures une ligne de rive reproduisant les caractéristiques morphologiques de la pointe actuelle. Les résultats de simulation obtenus pour cette variante confirment effectivement des conditions hydrosédimentologiques proches de celles qui prévalent le long de la pointe actuelle.

Pour raffiner l'analyse des variantes et mieux définir le choix d'un aménagement préférentiel, il est recommandé en phase ultérieure du projet de procéder à des relevés permettant de documenter et de caractériser la sédimentologie actuelle de la pointe de Beauport et de la plage.

Les simulations hydrodynamiques ont également indiqué un très léger avantage de la variante 4 par rapport aux variantes 1 à 3 pour ce qui touche les conditions d'écoulement le long des nouveaux quais. Il est finalement recommandé à ce stade du projet de ne pas réduire à moins de 17 degrés l'orientation de la nouvelle ligne de quais par rapport aux quais existants. Des essais de sensibilité plus poussés touchant l'angle de la ligne de quais pourront être effectués lorsque la variante d'aménagement retenue sera mieux définie.

RÉFÉRENCES

- [1] Villeneuve, M. (1999), *Port de Québec, Influence de la reconstruction du quai no 103 sur les conditions d'écoulement dans le secteur de l'anse au Foulon – Modélisation numérique*, Rapport Groupe-Conseil Lasalle no 1380, avril 1999, préparé pour Roche pour le compte de la Société du Port de Québec.
- [2] Ploeg, J., Pratte, B.D. (1971), *St. Lawrence River Tidal Model Study – Quebec Harbour Study – Results of Hydraulic Model Tests*, Rapport no LTR-HY-22 du Conseil national de recherches du Canada, Division de génie mécanique, novembre 1971.
- [3] *Battures de Beauport - Extension du Port de Québec - Étude sur modèle des conditions d'écoulement sur la batture*, Rapport Groupe-Conseil Lasalle no LHL-878, juin 1983, préparé pour Développement des voies navigables, Ottawa, et Port de Québec, Québec.
- [4] Hausser R., Galiana G., *Quebec Harbour Tidal Scale Model - Verification and Base Test Report*, Rapport Groupe-Conseil LaSalle no LHL-568, Octobre 1972.
- [5] Villeneuve, M., Boivin, R., Boulanger, F., *Port de Québec - Secteur de Beauport - Étude sur modèle réduit de nouvelles variantes d'aménagement*, Rapport Groupe-Conseil Lasalle no LHL-1049, Août 1989.
- [6] Ouellet, Y., *Extension du port de Québec – Étude comparative des vents mesurés simultanément à Lauzon et à Beauport entre janvier et décembre de 2000 à 2003*, Rapport GCN-2006-02 du département de génie civil de l'Université Laval, préparé pour le Groupe-Conseil LaSalle, pour le compte de l'Administration portuaire de Québec, Mars 2006.
- [7] *Étude des répercussions environnementales de l'extension du port de Québec - Aspects biophysiques - Énoncé des incidences environnementales*, Rapport no 2694 du Groupe-Conseil Roche ltée, Octobre 1983
- [8] Sérodes, J. B., 1980. *Étude de la sédimentation intertidale de l'estuaire moyen du Saint-Laurent*. Environnement Canada, Direction générale des eaux intérieures, Région du Québec, Direction de la planification et Gestion, 28 p
- [9] Sérodes, J. B., Dubé M. et Déschênes J., 1983. *Étude de la dynamique sédimentaire et du pouvoir de transformation des zones intertidales de l'estuaire moyen du Saint-Laurent. Cas des estrans de Kamouraska*. Direction générale des eaux intérieures. Région du Québec. Environnement Canada.

RÉFÉRENCES (suite)

- [10] *Plan global de renaturalisation et de mise en valeur de la Baie de Beauport*, Rapport préparé par Argus pour le Comité Zip de Québec et Chaudières-Appalaches, no 21199-000, février 2001
- [11] Sérodes J. B., 1978. *Qualité des sédiments de fond du fleuve Saint-Laurent entre Cornwall et Montmagny*. Rapport technique no. 15. Comité d'étude sur le fleuve Saint-Laurent. Direction générale des eaux intérieures, 467 p
- [12] Gilbert, R., Gauvin N., Lambert S., *Administration portuaire de Québec – Legs fédéral 400^e de Québec - Caractérisation environnementale des sédiments, La Baie de Beauport J-4512*, Rapport produit par Mission HGE pour l'Administration portuaire de Québec, 13 janvier 2006

LEXIQUE

Marées

Flot : Champ des courants associé à la marée montante.

Jusant : Champ des courants associé à la marée descendante.

Marée de vive-eau : Marée de forte amplitude obtenue environ tous les quinze jours, lorsque la terre, la lune et le soleil sont alignés.

Marée de morte-eau : Marée de faible amplitude obtenue environ tous les quinze jours, lorsque la terre, la lune et le soleil forment un angle droit.

Vagues

Réfraction : Transformation des vagues à l'approche du littoral sous l'effet de la diminution de la profondeur et de la morphologie des fonds marins.

Contrainte de radiation : Principal mécanisme expliquant le transport sédimentaire le long des côtes, les contraintes de radiation correspondent à des flux de quantité de mouvement générés par des vagues approchant le littoral de manière oblique.

Modélisation numérique

Pas de temps : Intervalle de temps utilisé par les modèles numériques pour la résolution des équations régissant la mécanique des fluides.

Rugosité des fonds : Importance des aspérités ou irrégularités des fonds marins, qui contribue à dissiper l'énergie de l'écoulement ou des vagues.

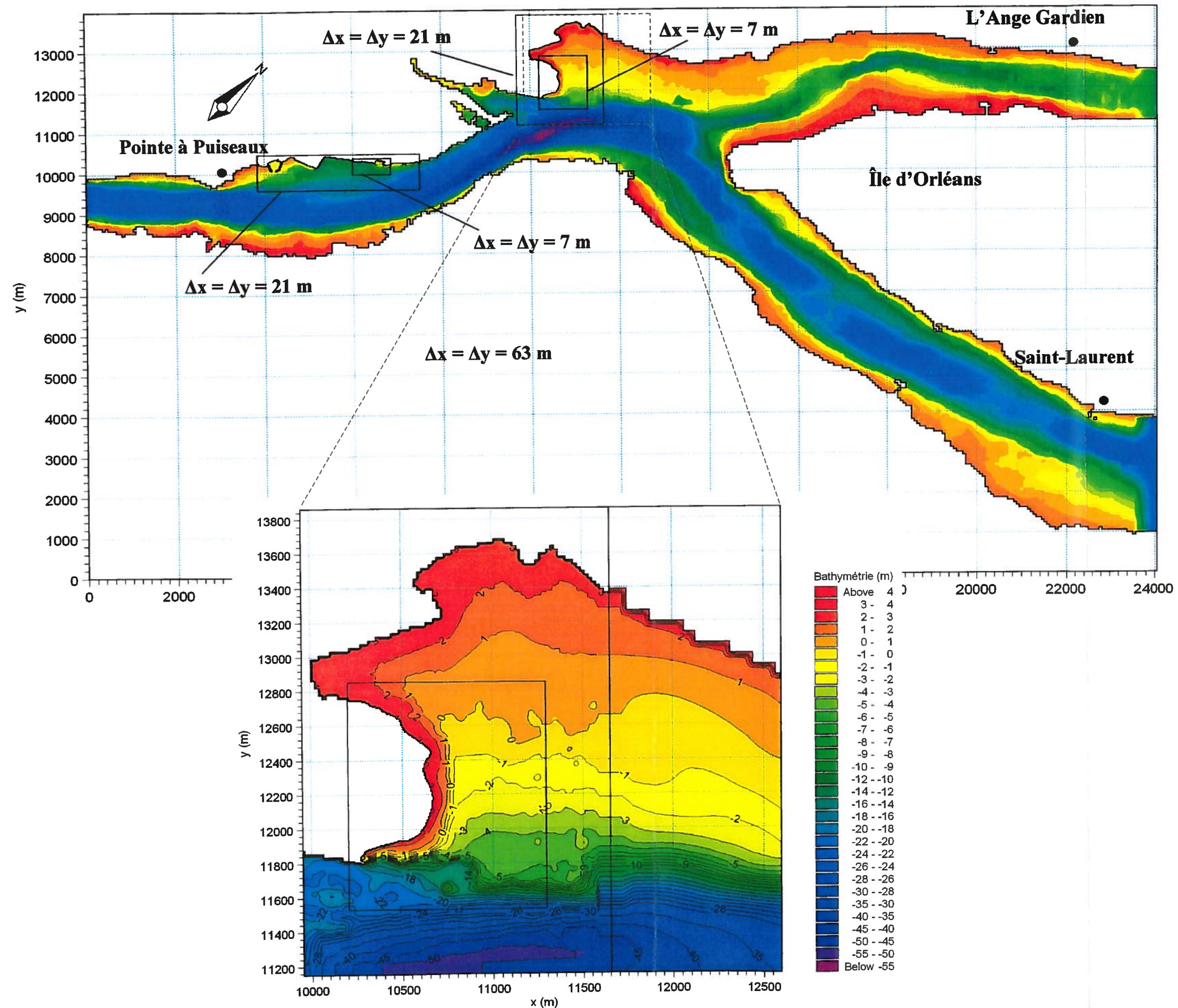
Viscosité turbulente : Paramètre utilisé dans la formulation des modèles numériques bidimensionnels et qui agit sur l'importance des décollements et courants de retour simulés par le modèle.

Hydrodynamique

Décollement : Portion d'un écoulement demeurant en retrait de la veine principale d'écoulement. Les décollements sont habituellement générés par l'interaction entre l'écoulement et un corps solide.

Courant de retour : Courant décrivant une trajectoire circulaire, souvent généré dans les zones de décollement.

FIGURES



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Bathymétrie et limites du modèle hydrodynamique

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

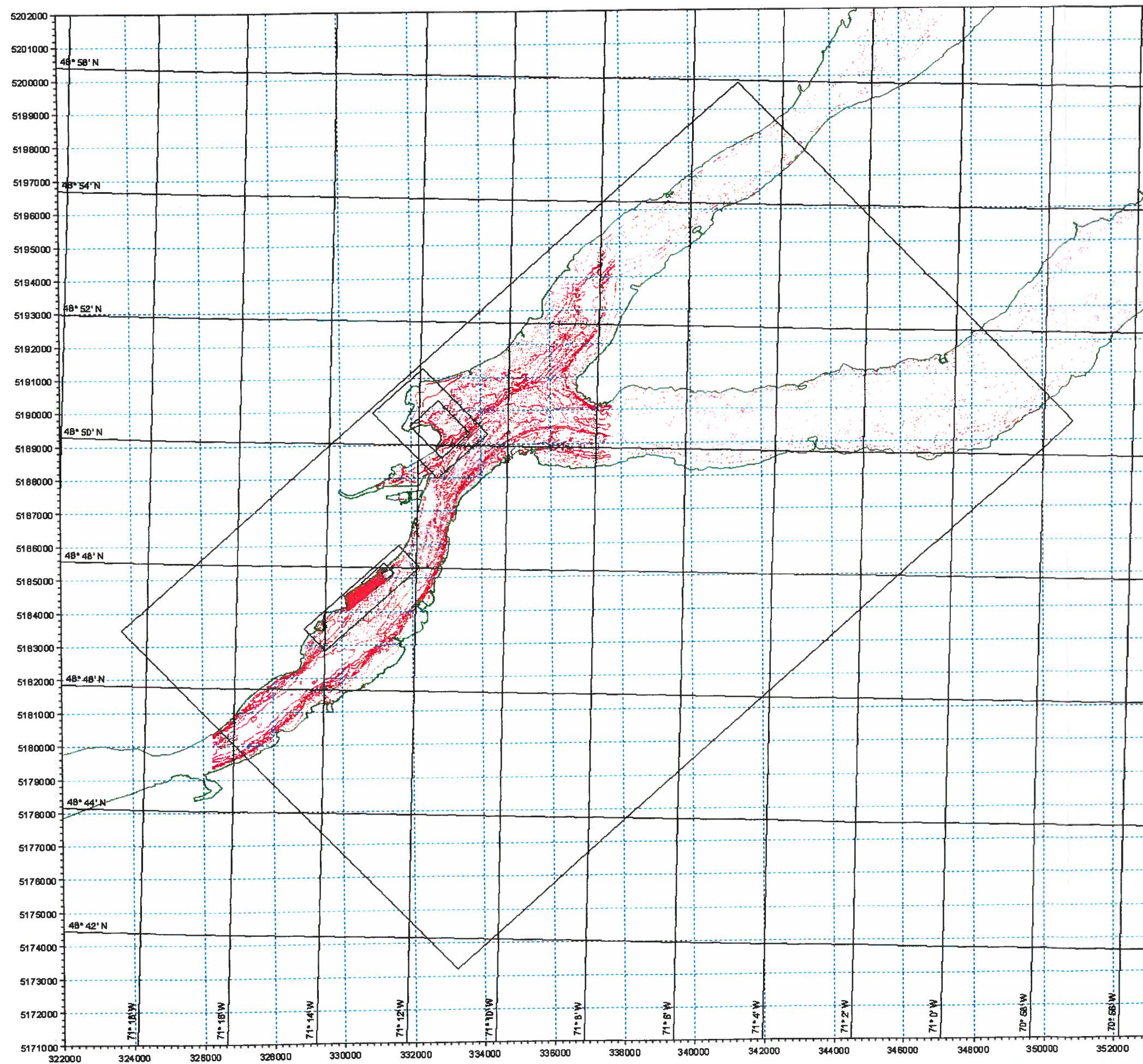
391-101

DATE :

Avril 2006

FIGURE :

1



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE
DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET : **PORT DE QUÉBEC**
Impacts de l'extension du secteur
portuaire de Beauport sur les conditions
hydrosédimentologiques locales

TITRE : **Données bathymétriques**

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

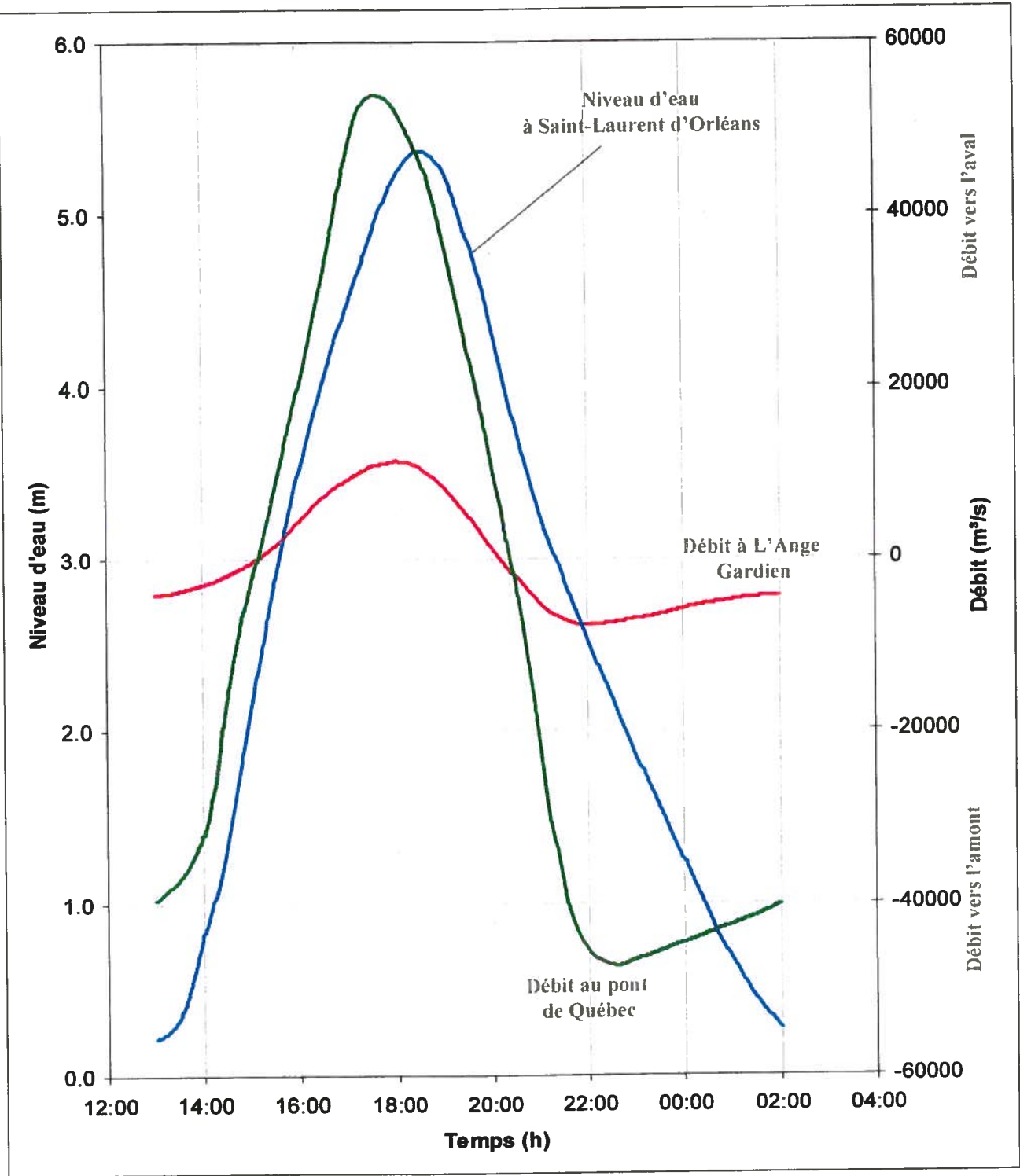
REF. CLIENT :
J-4512

REF. LASALLE :
391-101

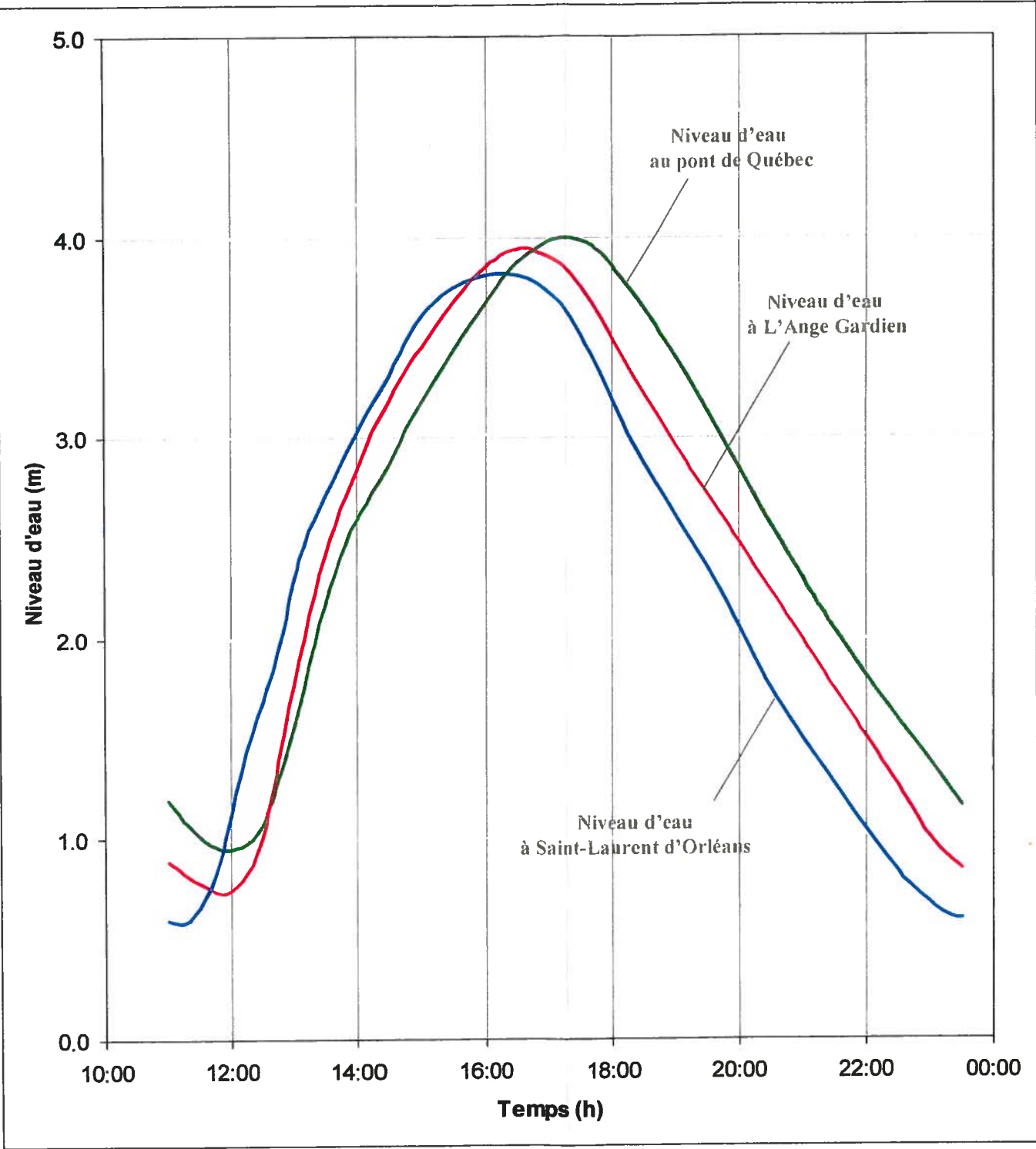
DATE :
Avril 2006

FIGURE :
2

Marée de Vive-eau (22 juin 1971)



Marée de Morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Conditions aux limites du modèle hydrodynamique

DATE :

Avril 2006

DESSINÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

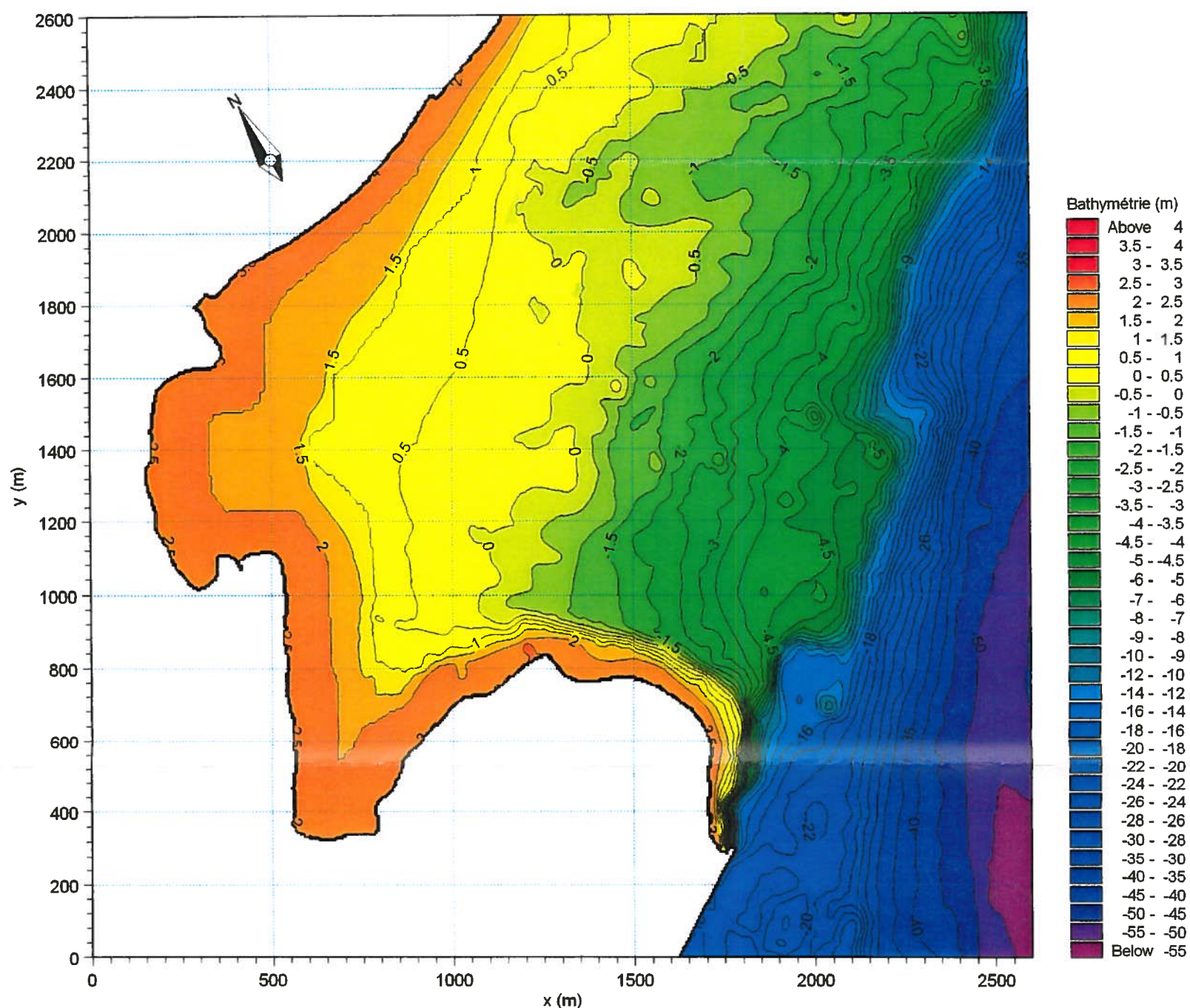
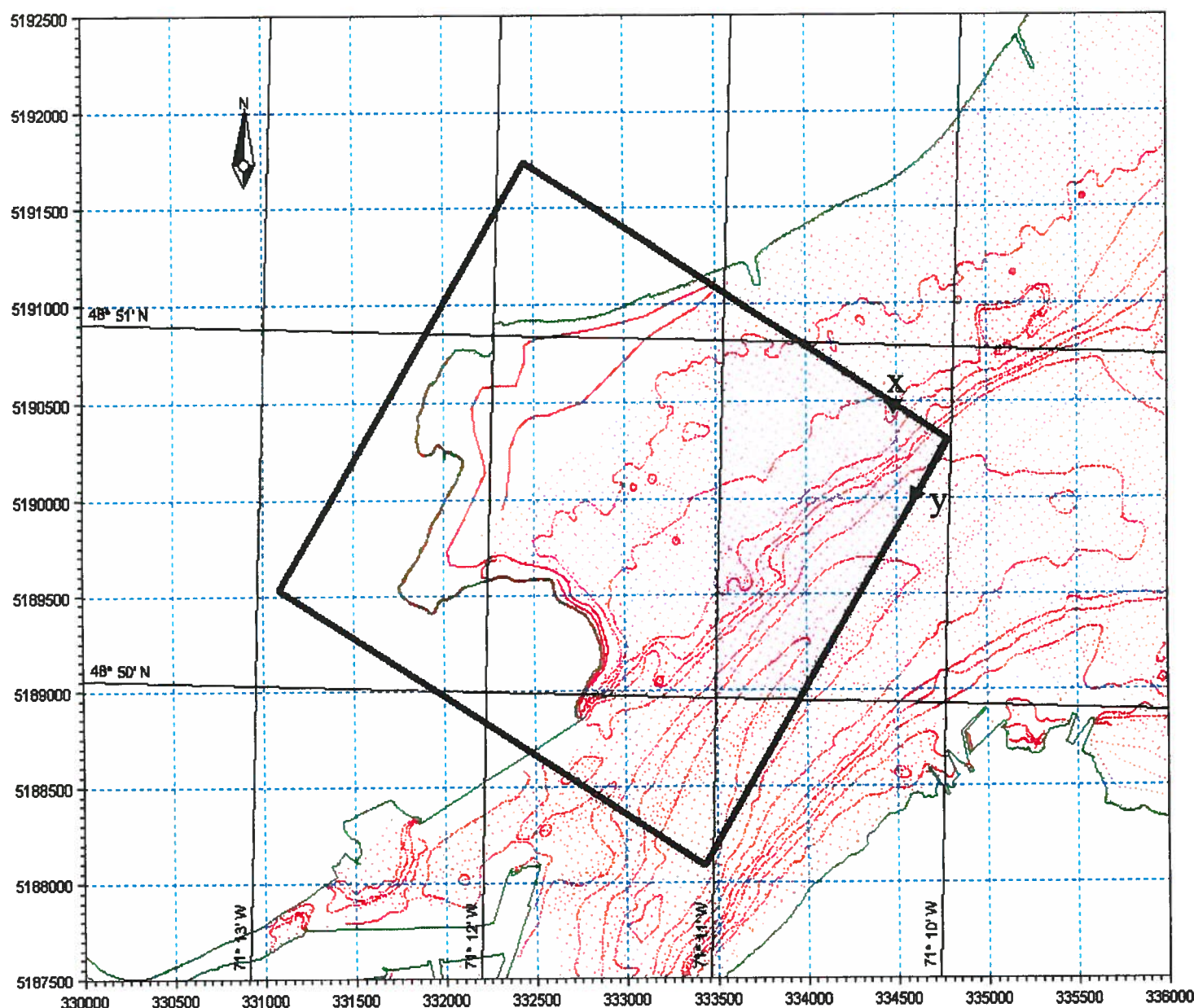
J-4512

REF. LASALLE :

391-101

FIGURE :

3



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**

TITRE :

Zone considérée pour la modélisation des vagues et du transport sédimentaire



PORT DE QUÉBEC

Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

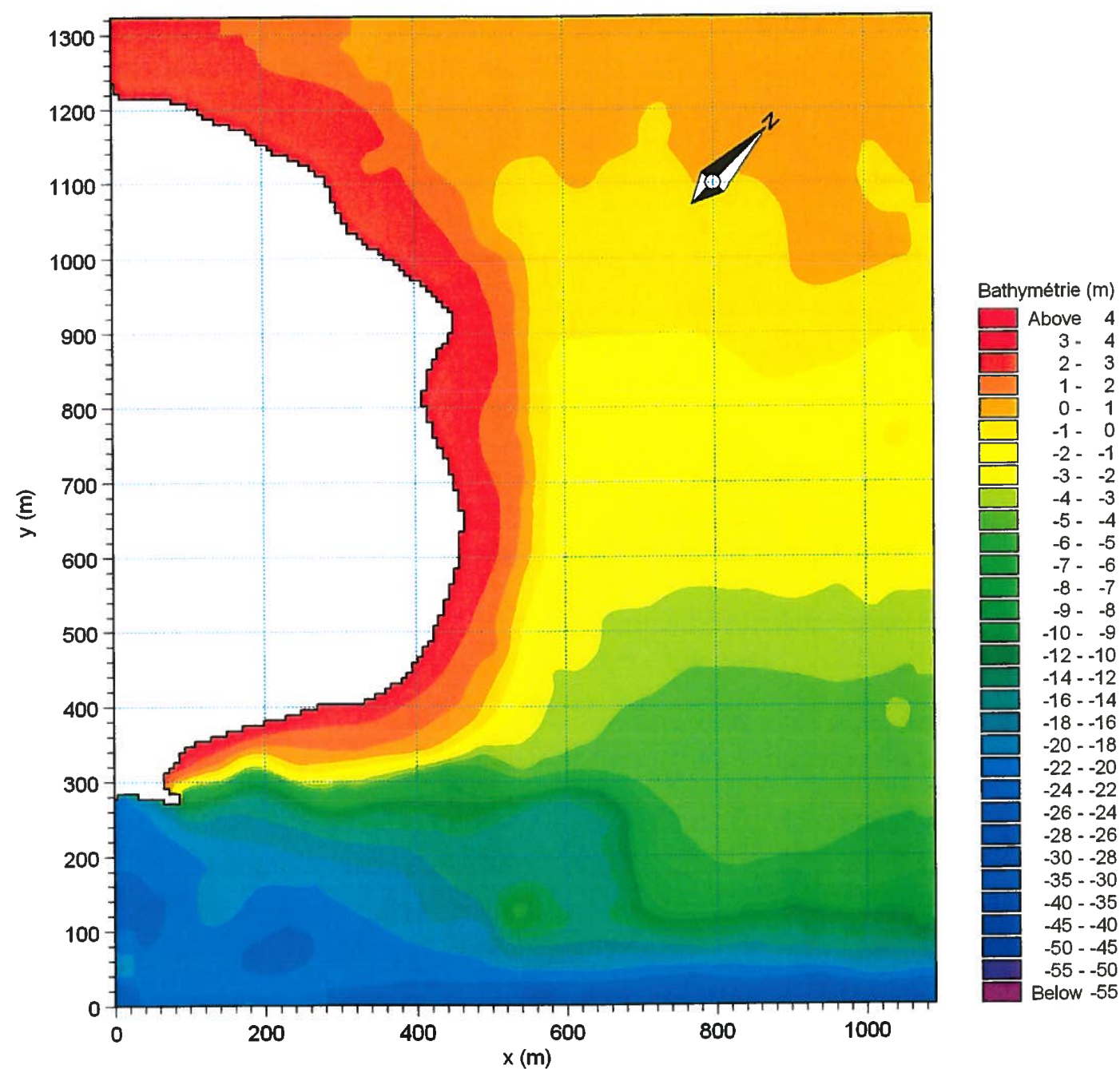
REF. LASALLE :

391-101

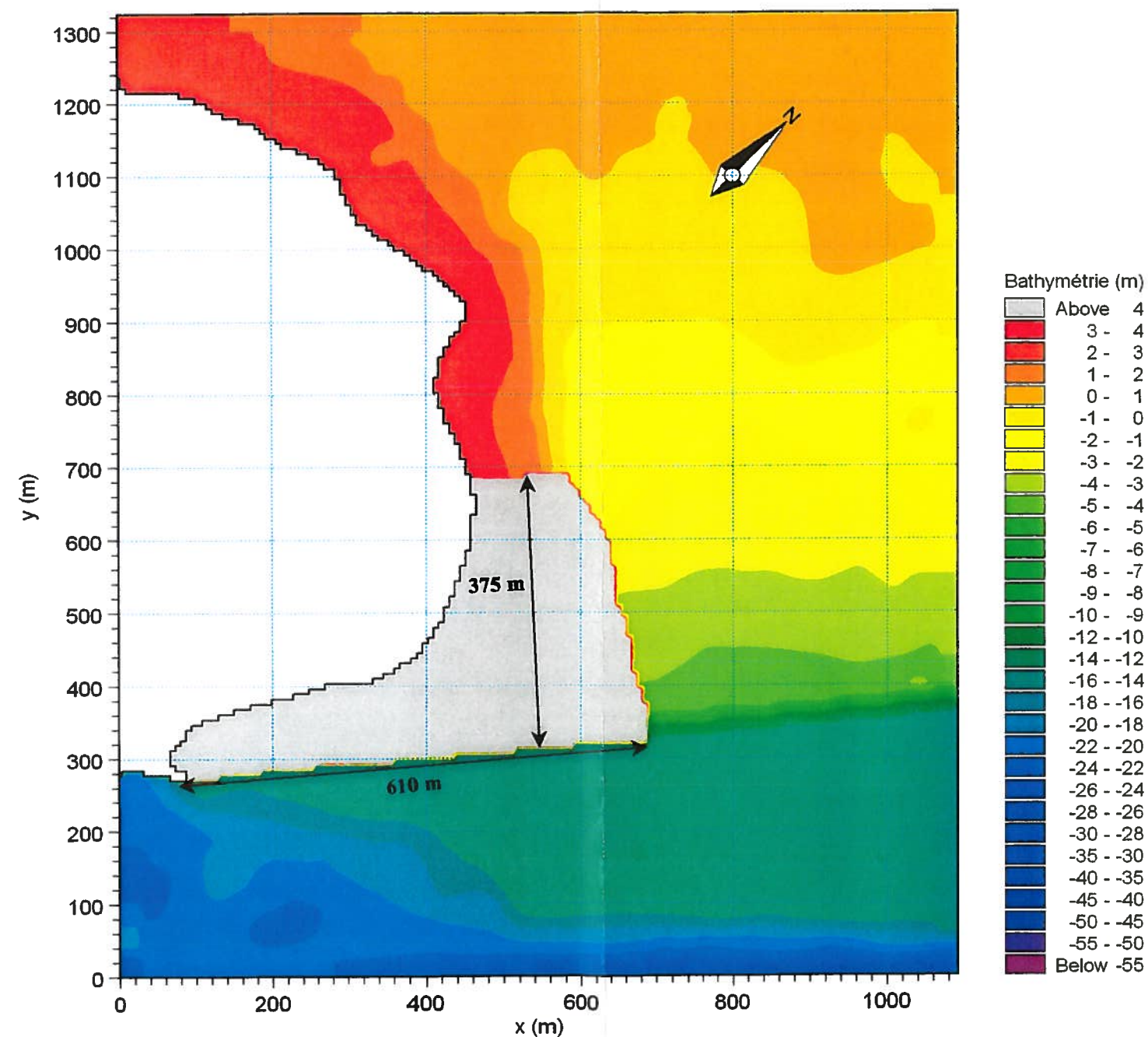
FIGURE :

4

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 1



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC
Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Extension du secteur portuaire de Beauport – Variantes considérées pour la présente étude – Variante 1

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

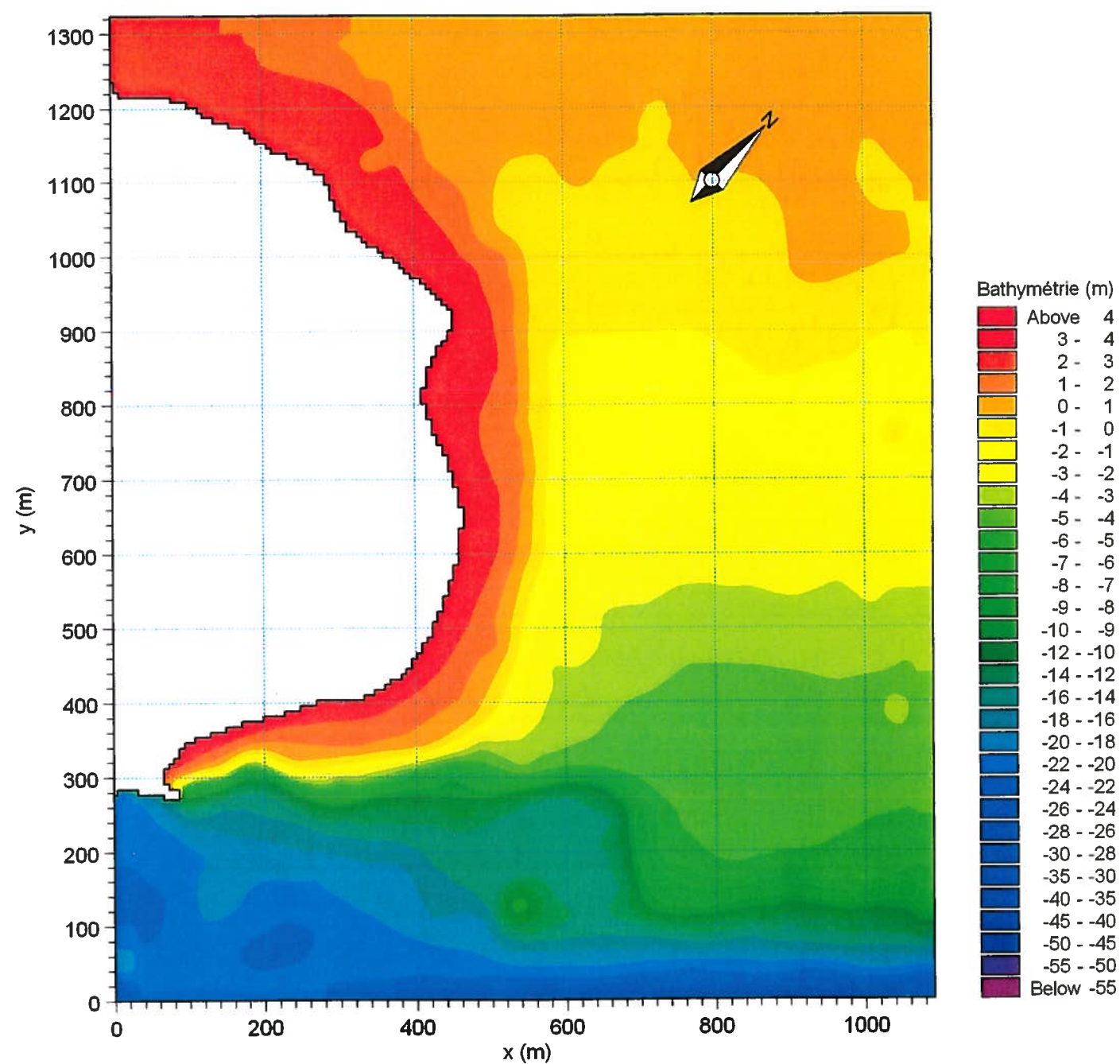
REF. LASALLE :

391-101

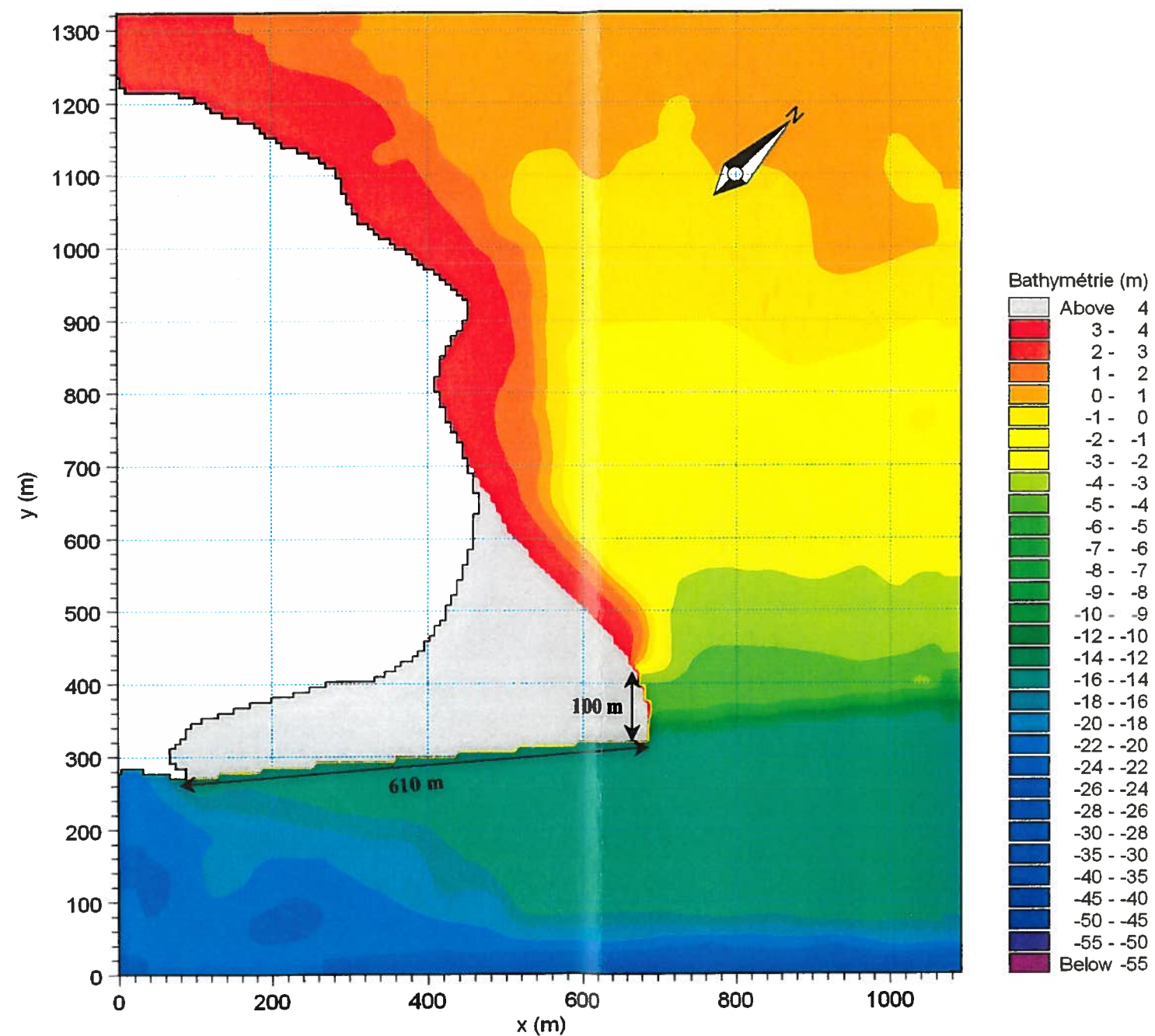
FIGURE :

5a

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 2



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC
Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Extension du secteur portuaire de Beauport – Variantes considérées pour la présente étude – Variante 2

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

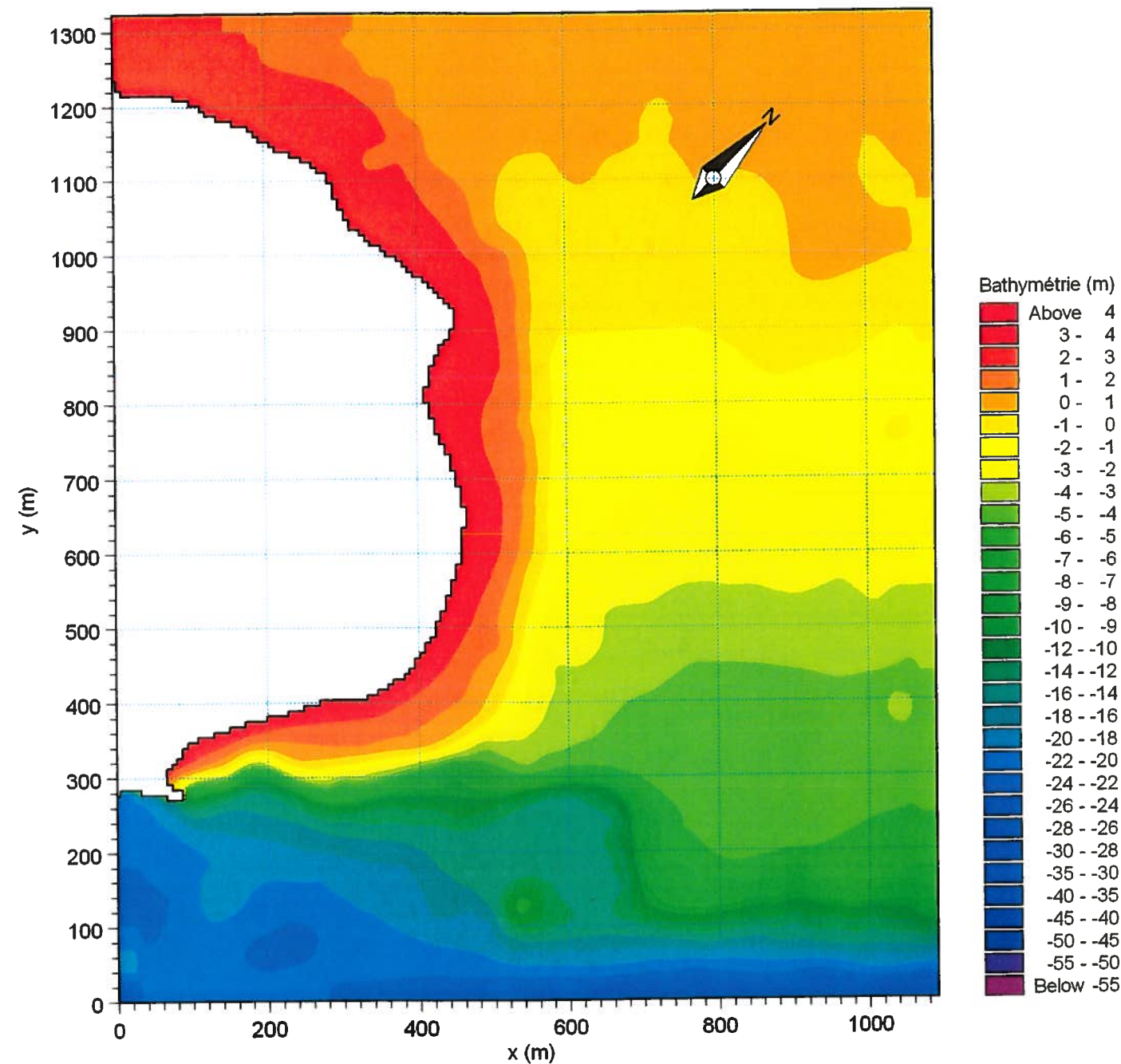
REF. LASALLE :

391-101

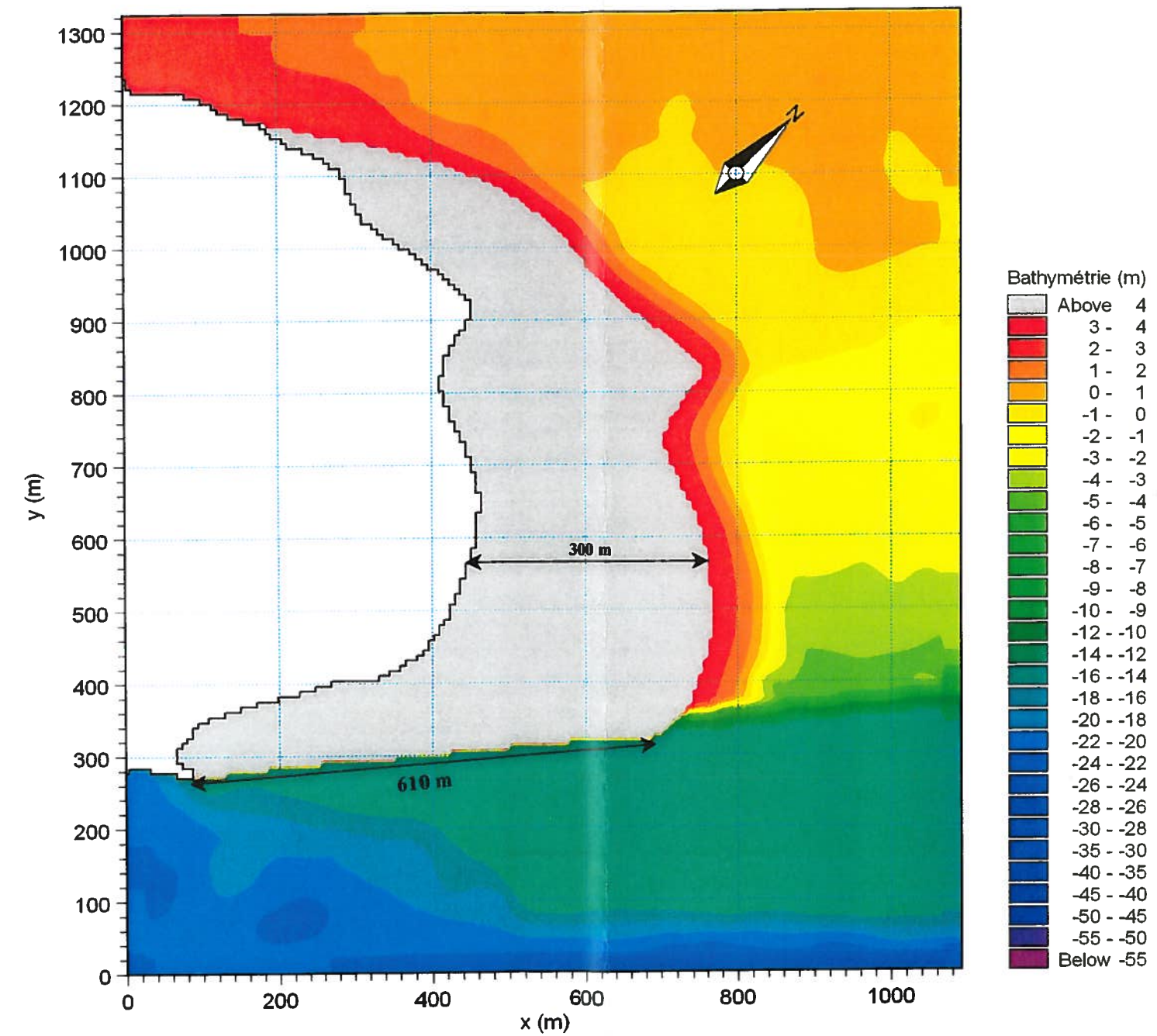
FIGURE :

5b

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Extension du secteur portuaire de Beauport – Variantes considérées pour la présente étude – Variante 4

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

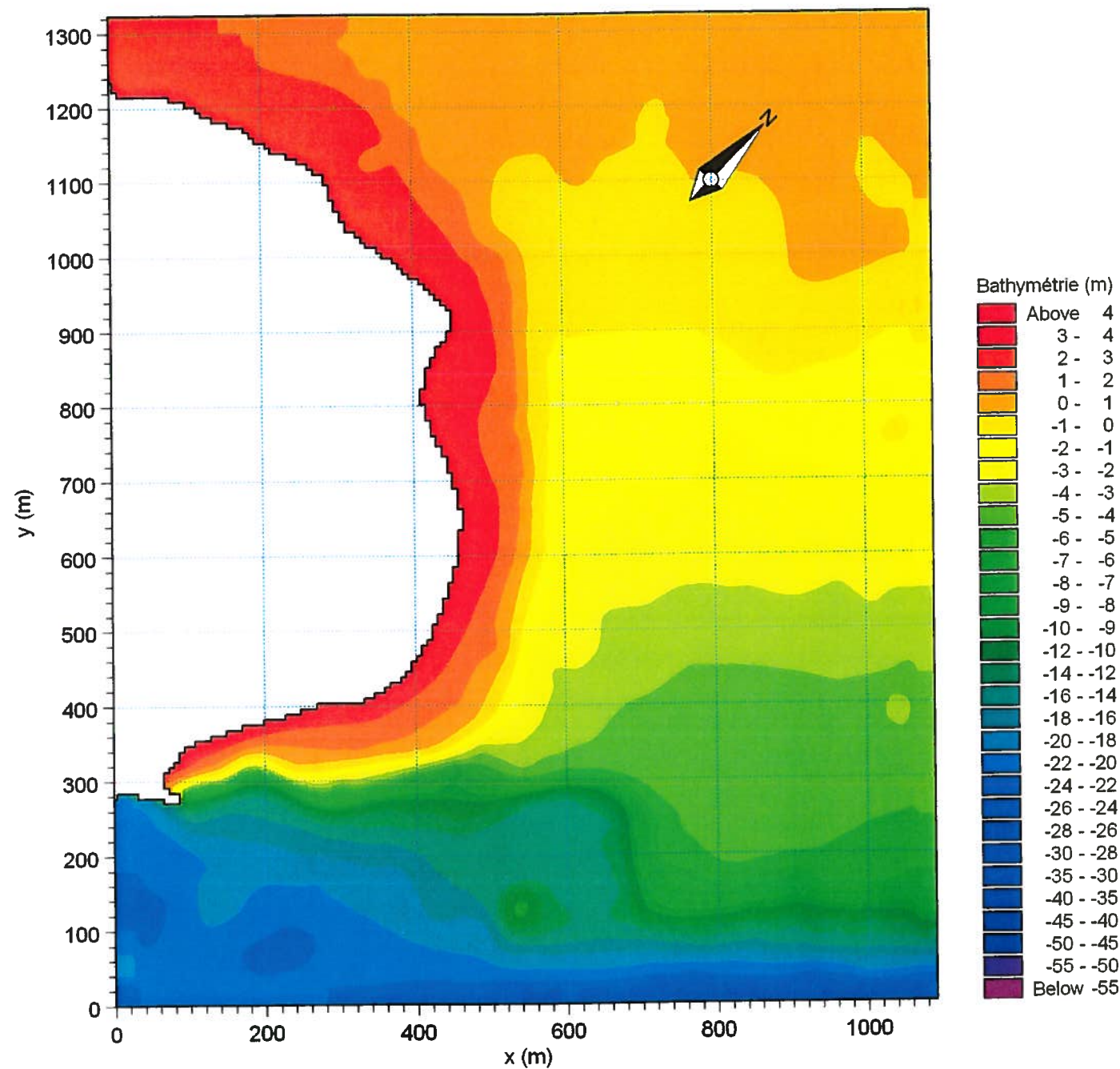
REF. LASALLE :

391-101

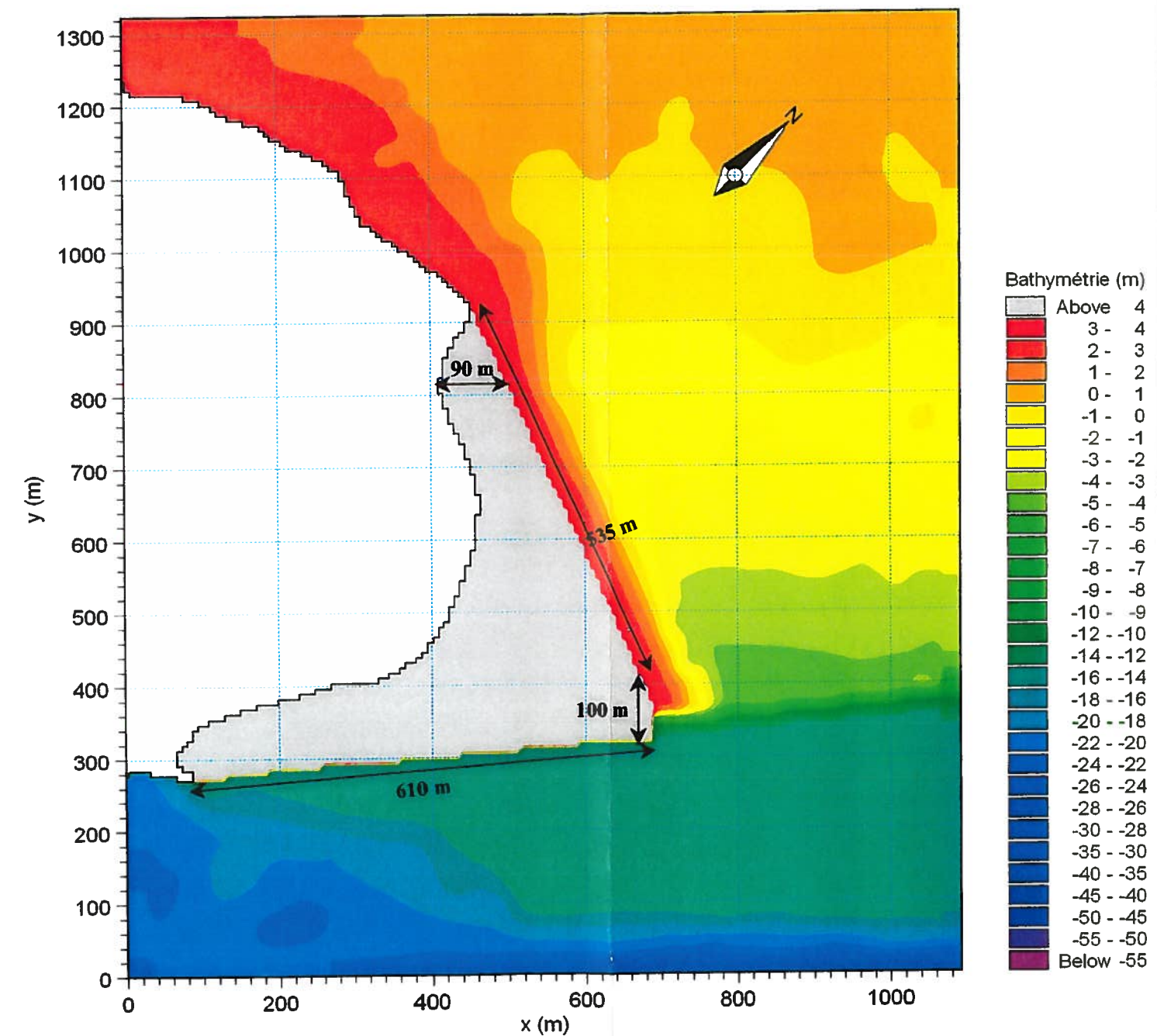
FIGURE :

5d

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 3



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Extension du secteur portuaire de Beauport – Variantes considérées pour la présente étude – Variante 3

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

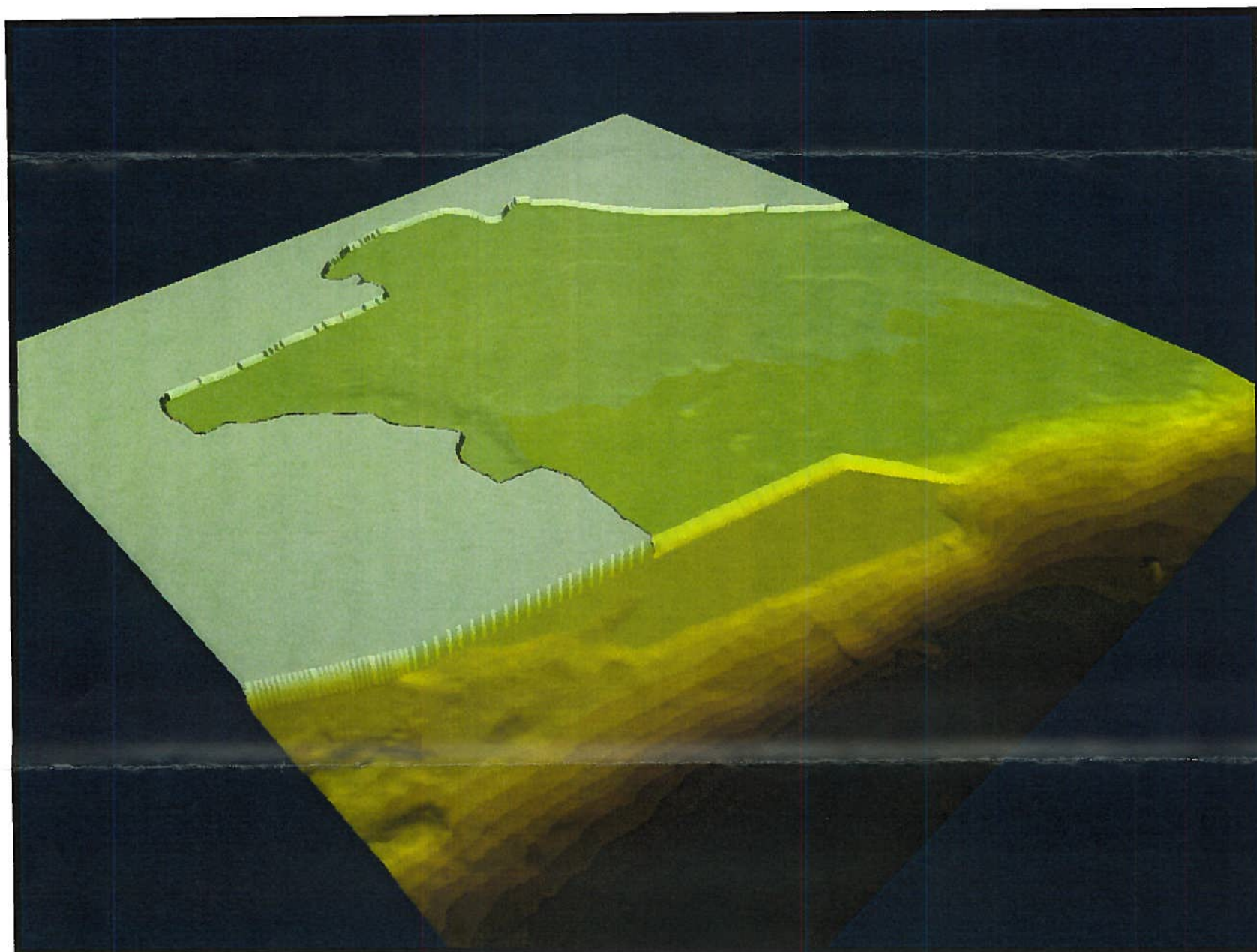
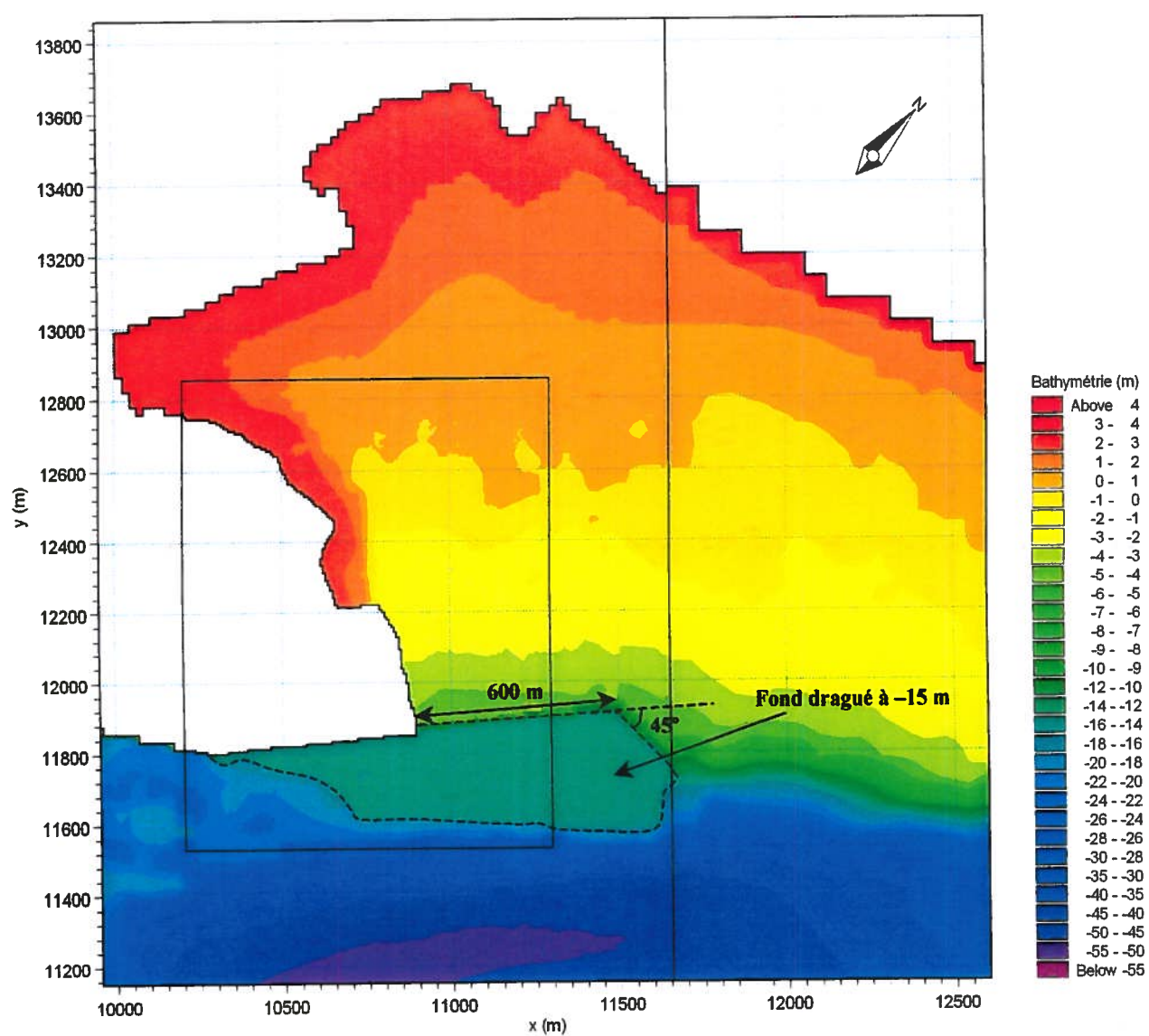
J-4512

REF. LASALLE :

391-101

FIGURE :

5c



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE
DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

**PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les
conditions hydrosédimentologiques locales**

TITRE :

Limites du dragage d'accès aux nouveaux quais

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

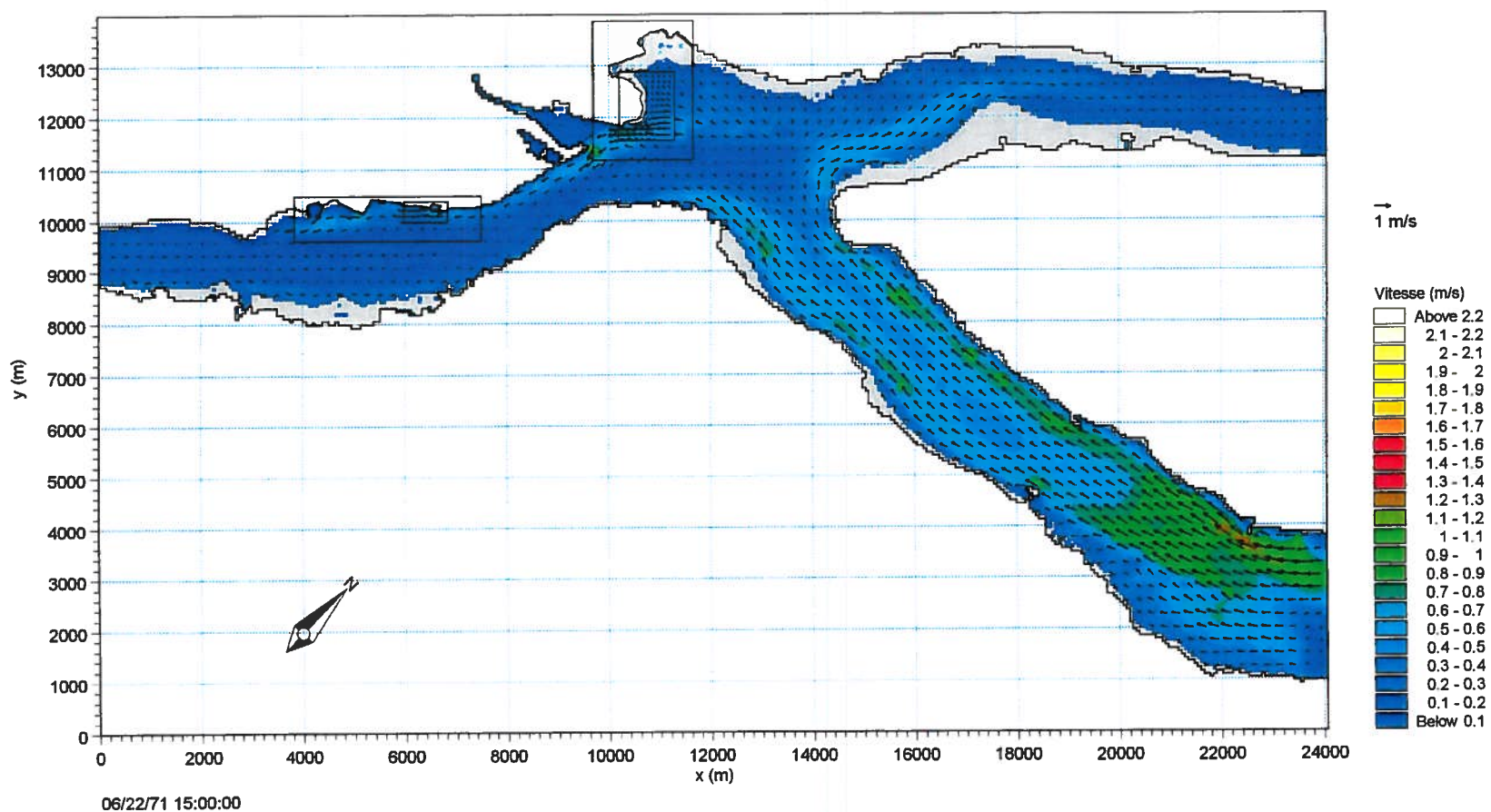
391-101

FIGURE :

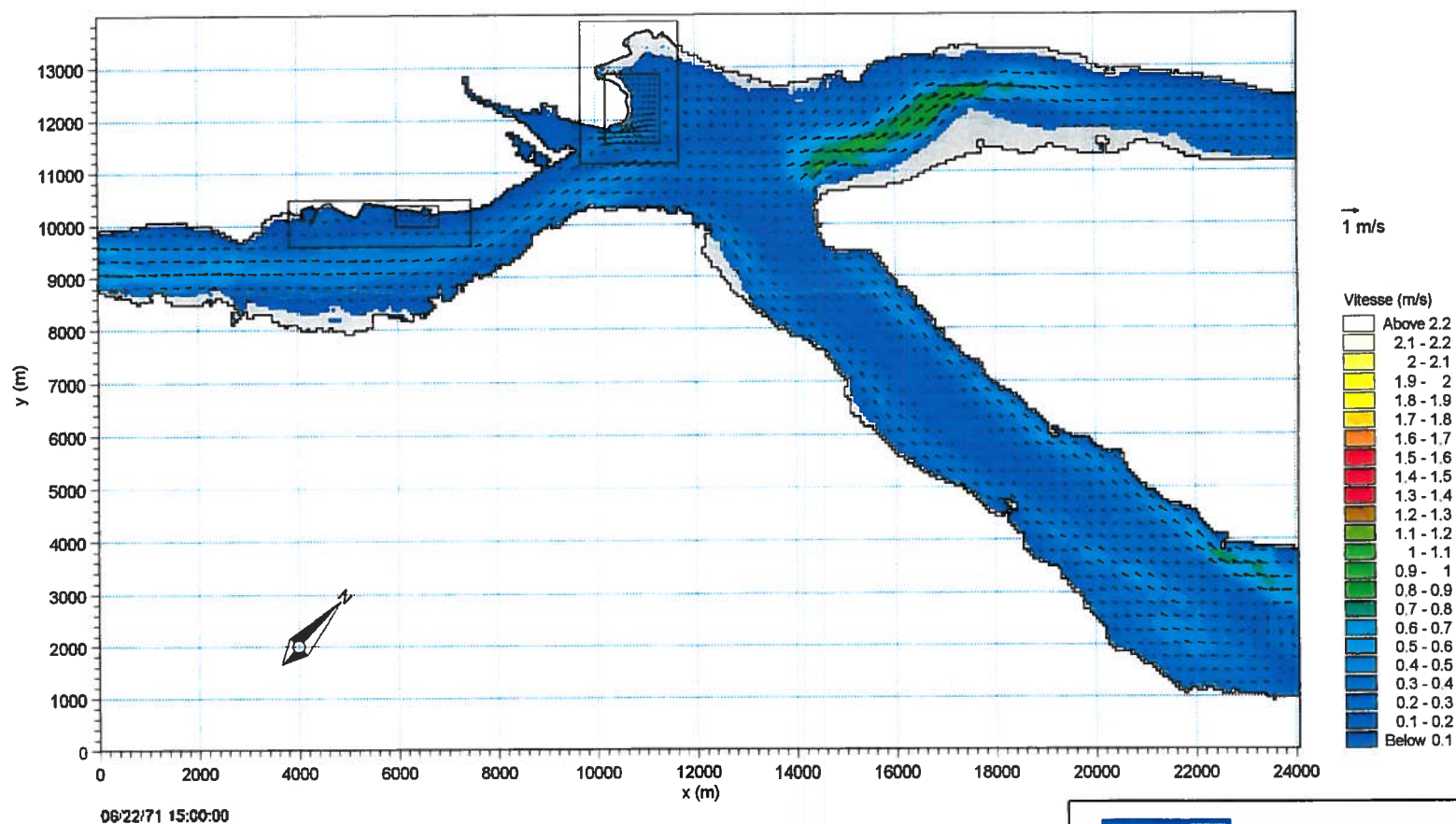
6

(a) Champs des courants de flot – 2 h après basse mer inférieure

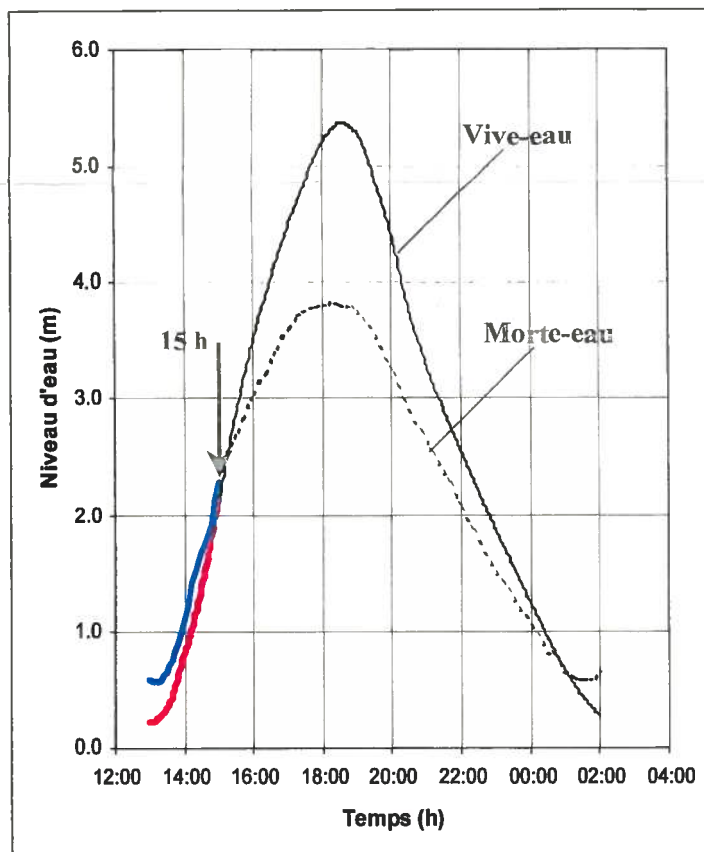
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Cartes des courants de marée de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

391-101

DATE :

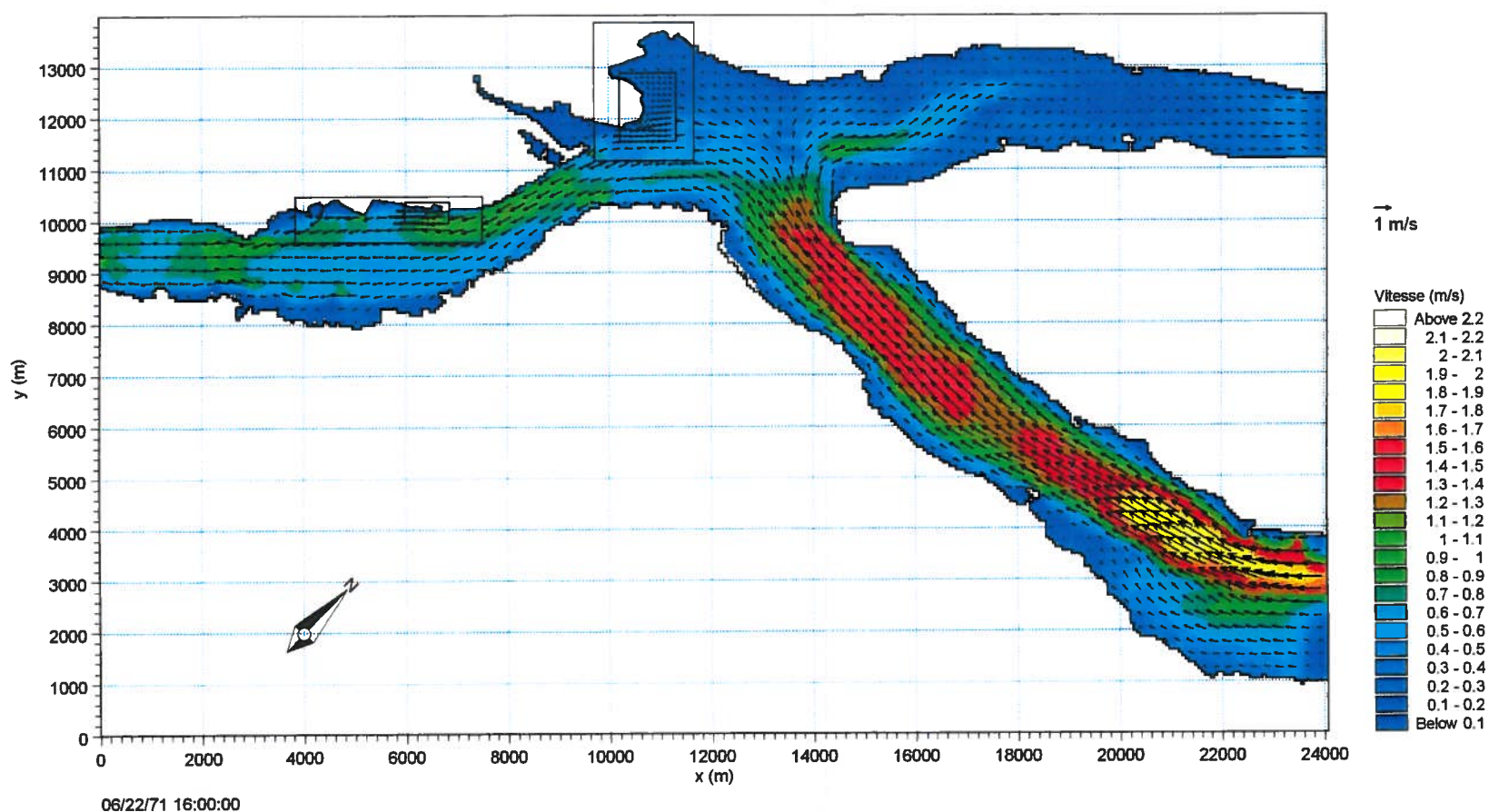
Avril 2006

FIGURE :

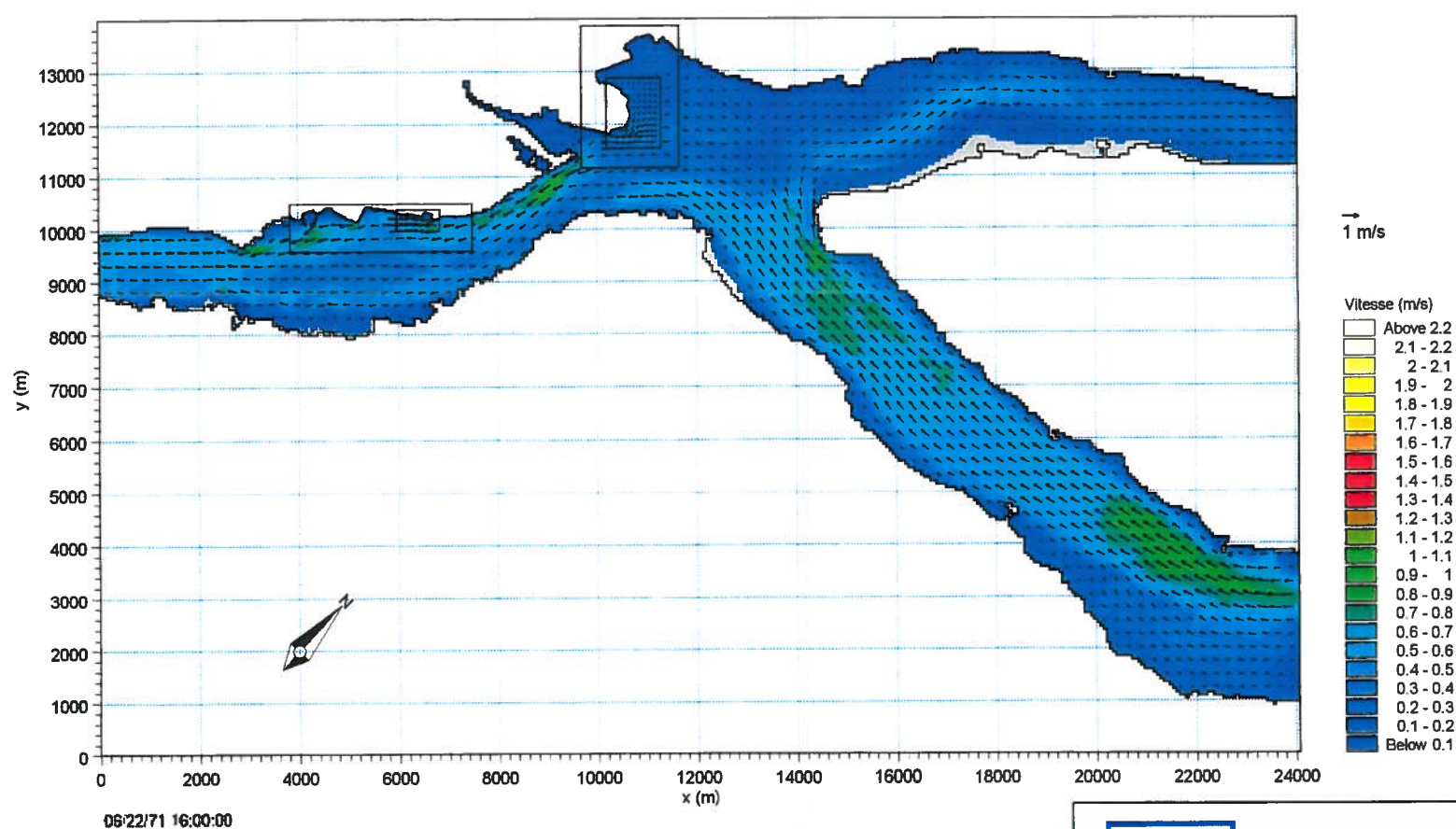
7a

(b) Champs des courants de flot – 2,5 h avant pleine mer supérieure

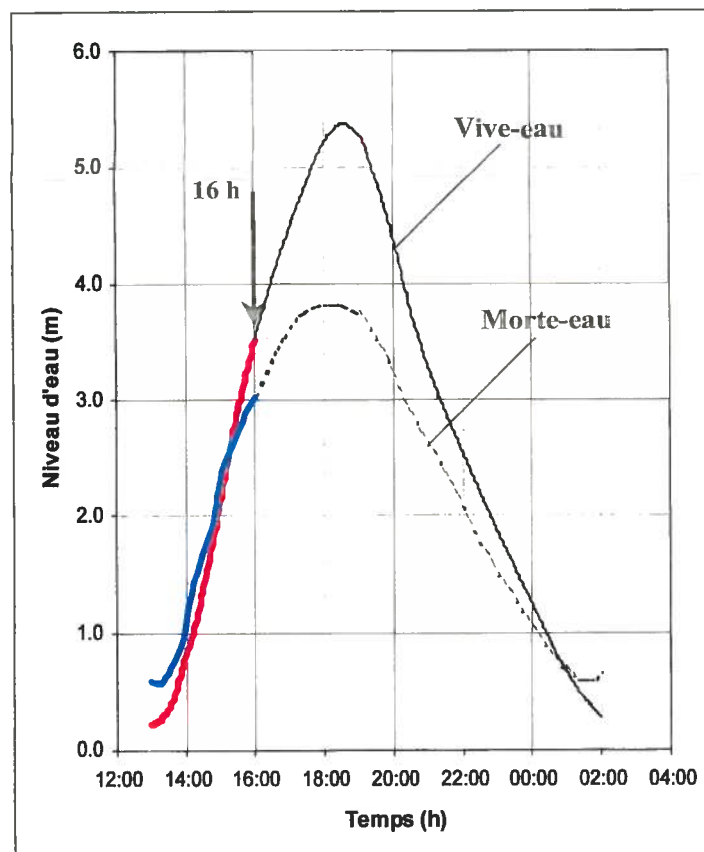
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

REF. CLIENT :
J-4512

REF. LASALLE :
391-101

DATE :

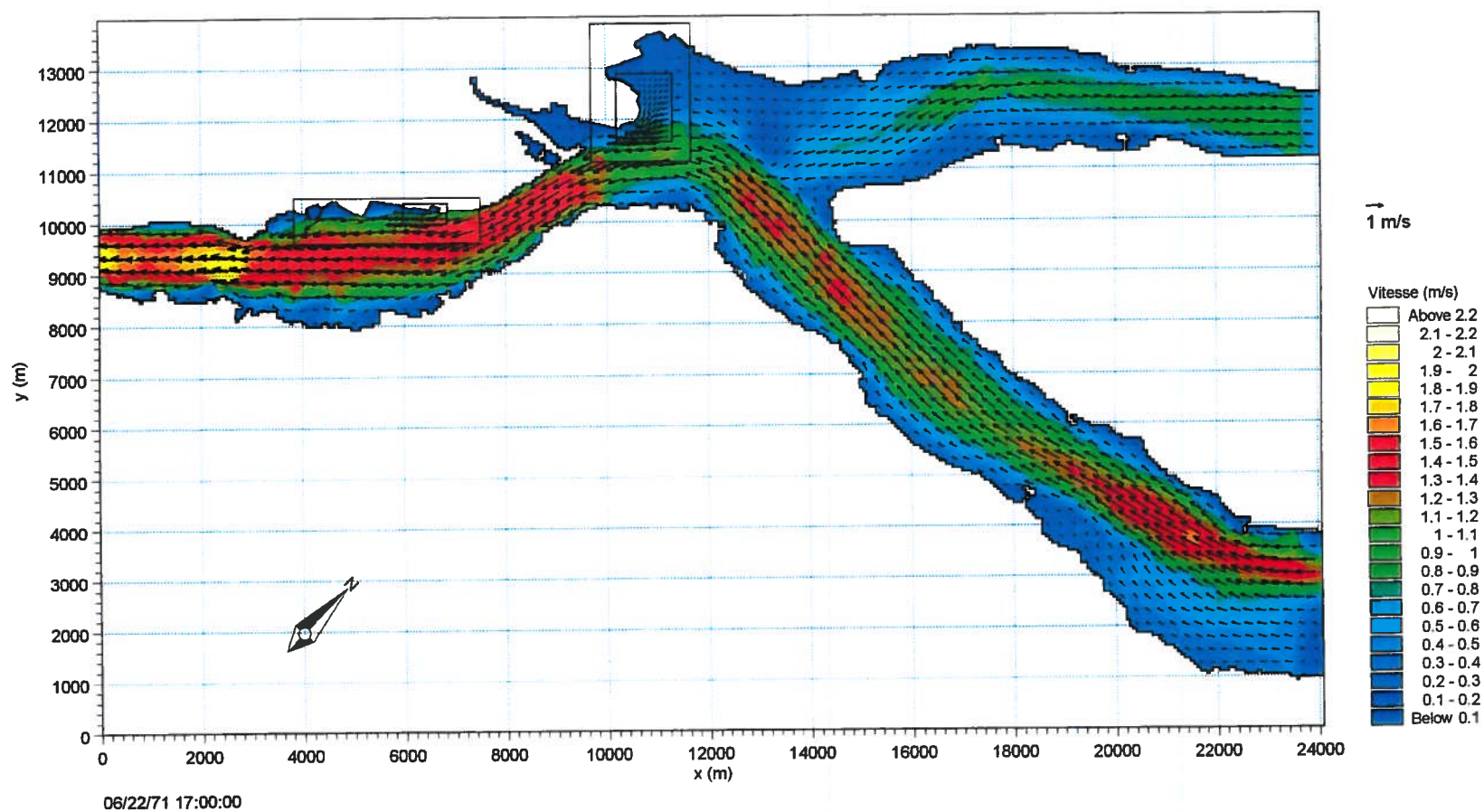
Avril 2006

FIGURE :

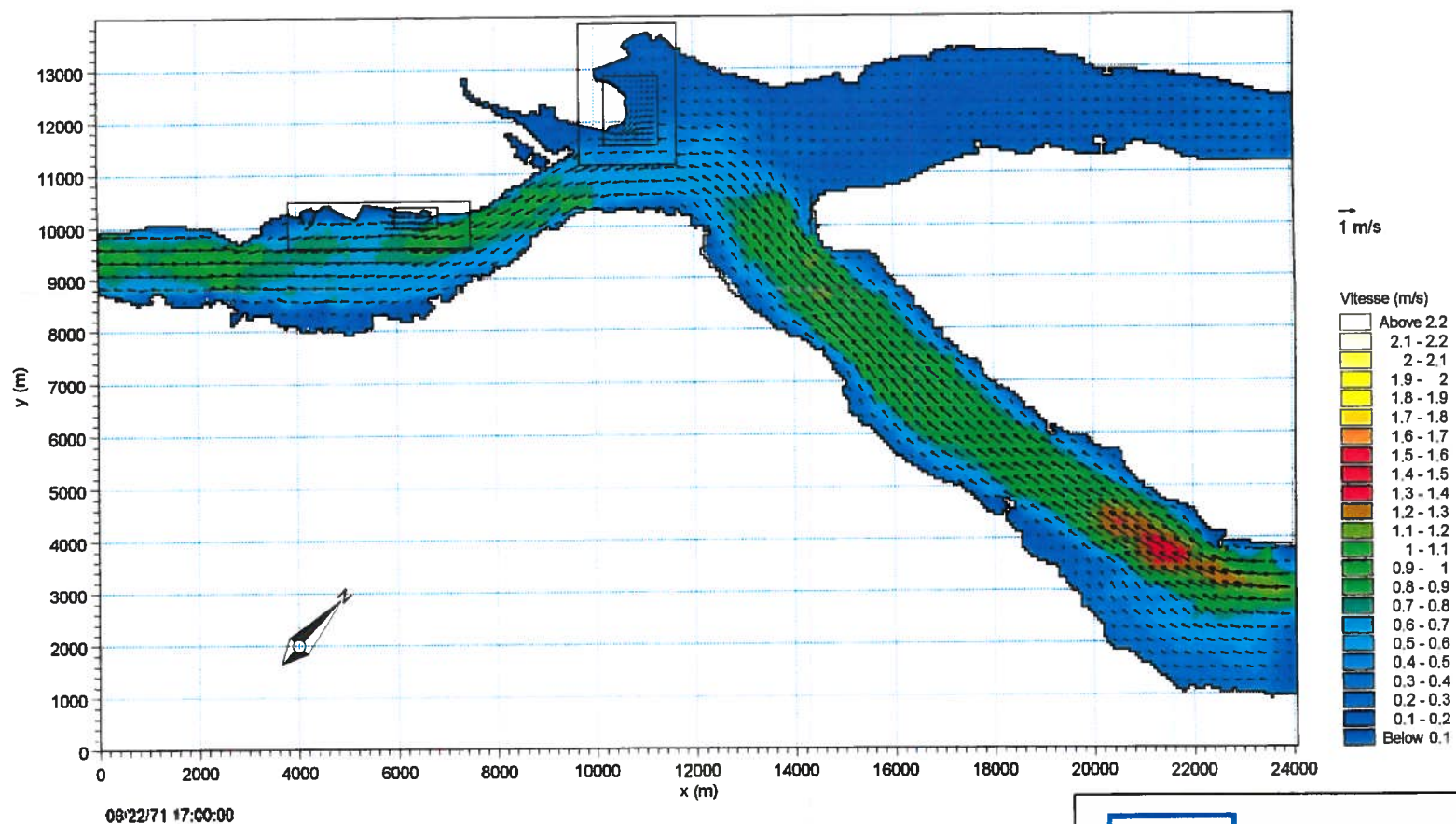
7b

(c) Champs des courants de flot – 1,5 h après pleine mer supérieure

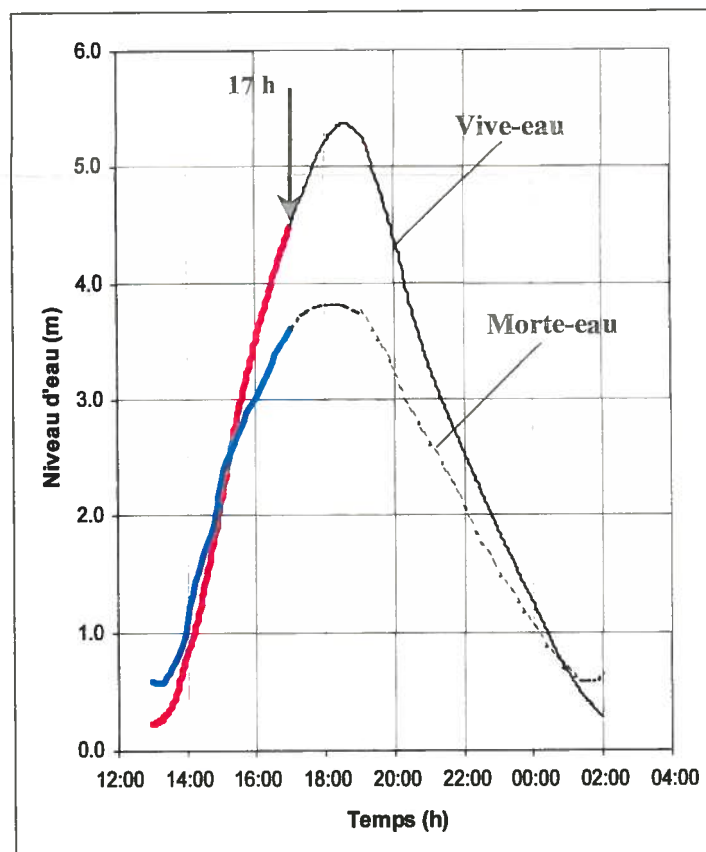
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

REF. CLIENT :
J-4512

REF. LASALLE :
391-101

DATE :

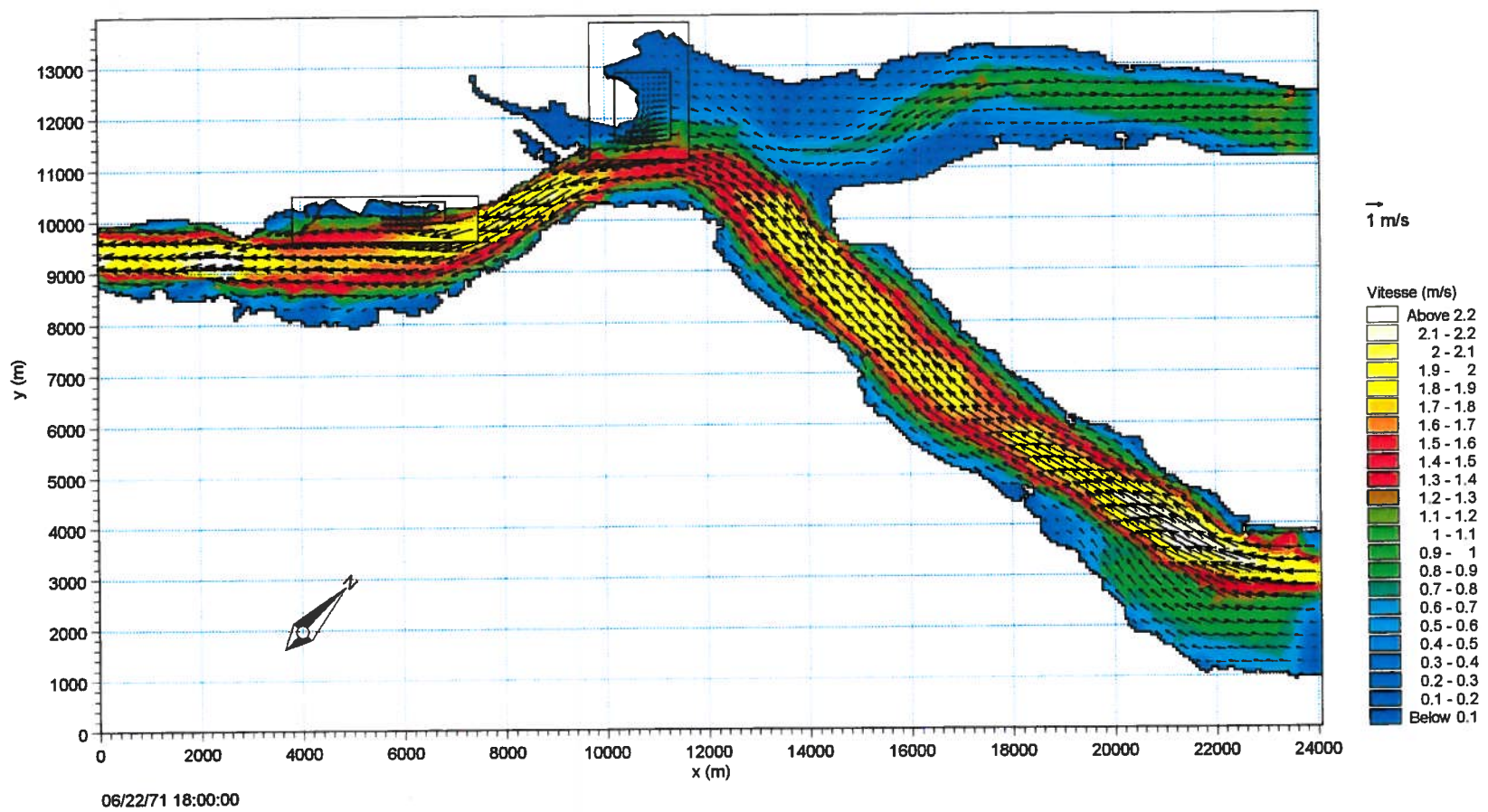
Avril 2006

FIGURE :

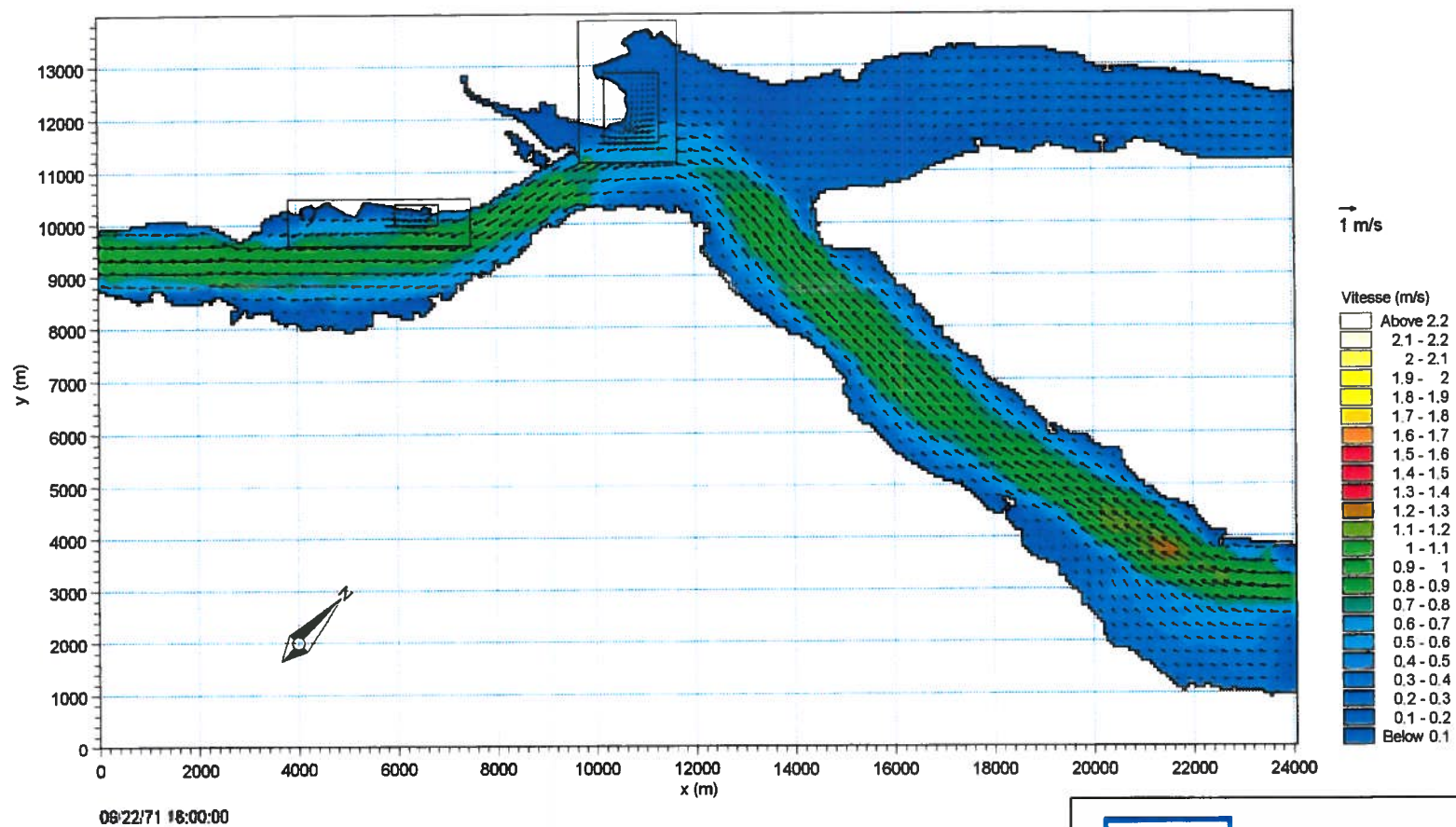
7c

(d) Champs des courants de flot – 0,5 h avant pleine mer supérieure

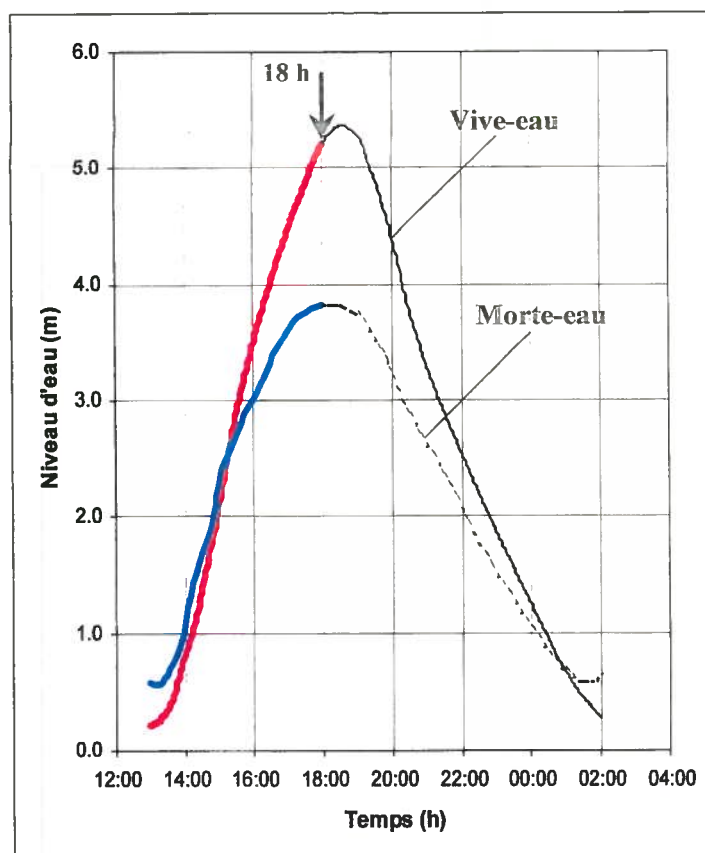
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

REF. CLIENT :
J-4512

REF. LASALLE :
391-101

DATE :

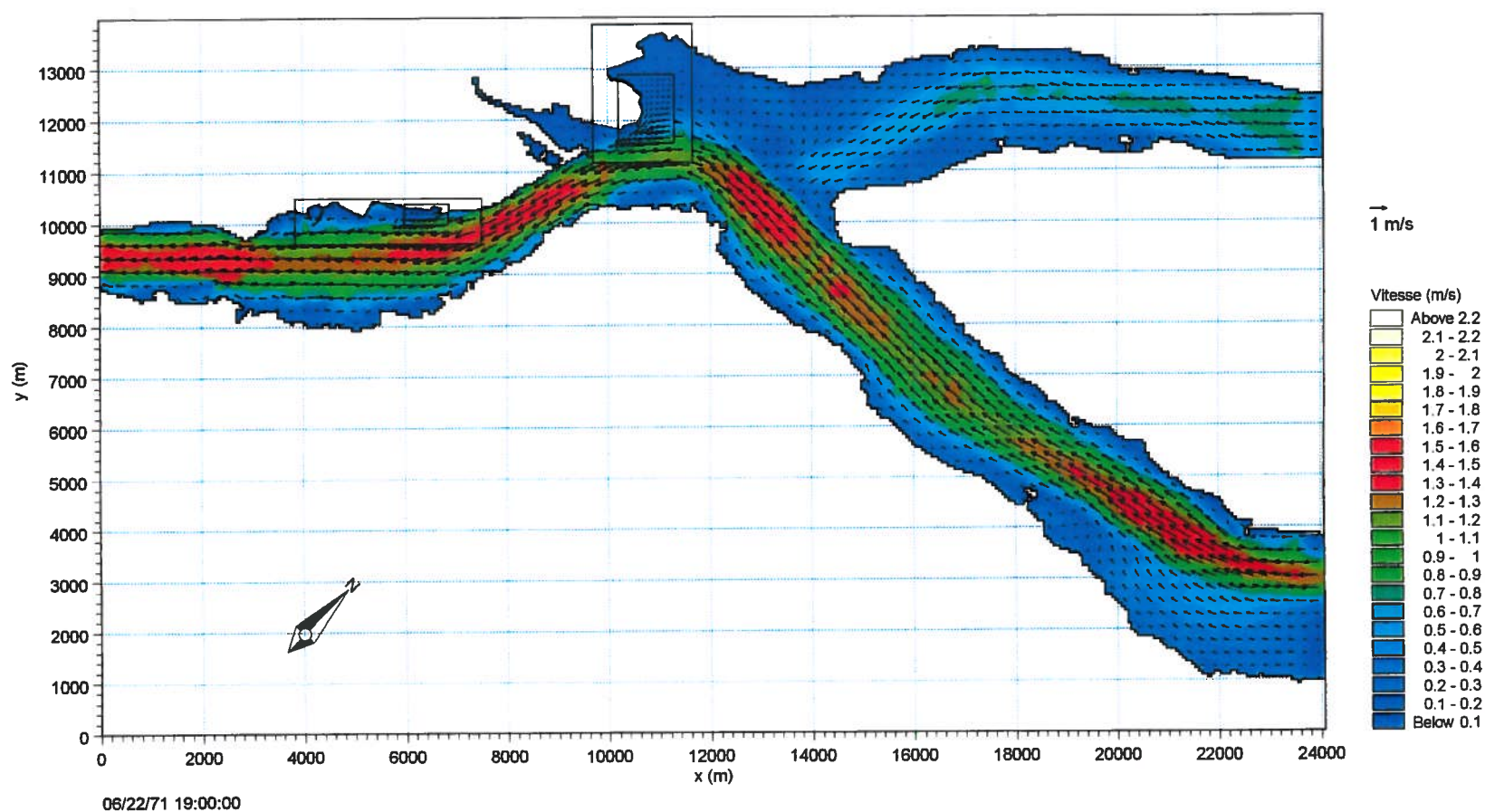
Avril 2006

FIGURE :

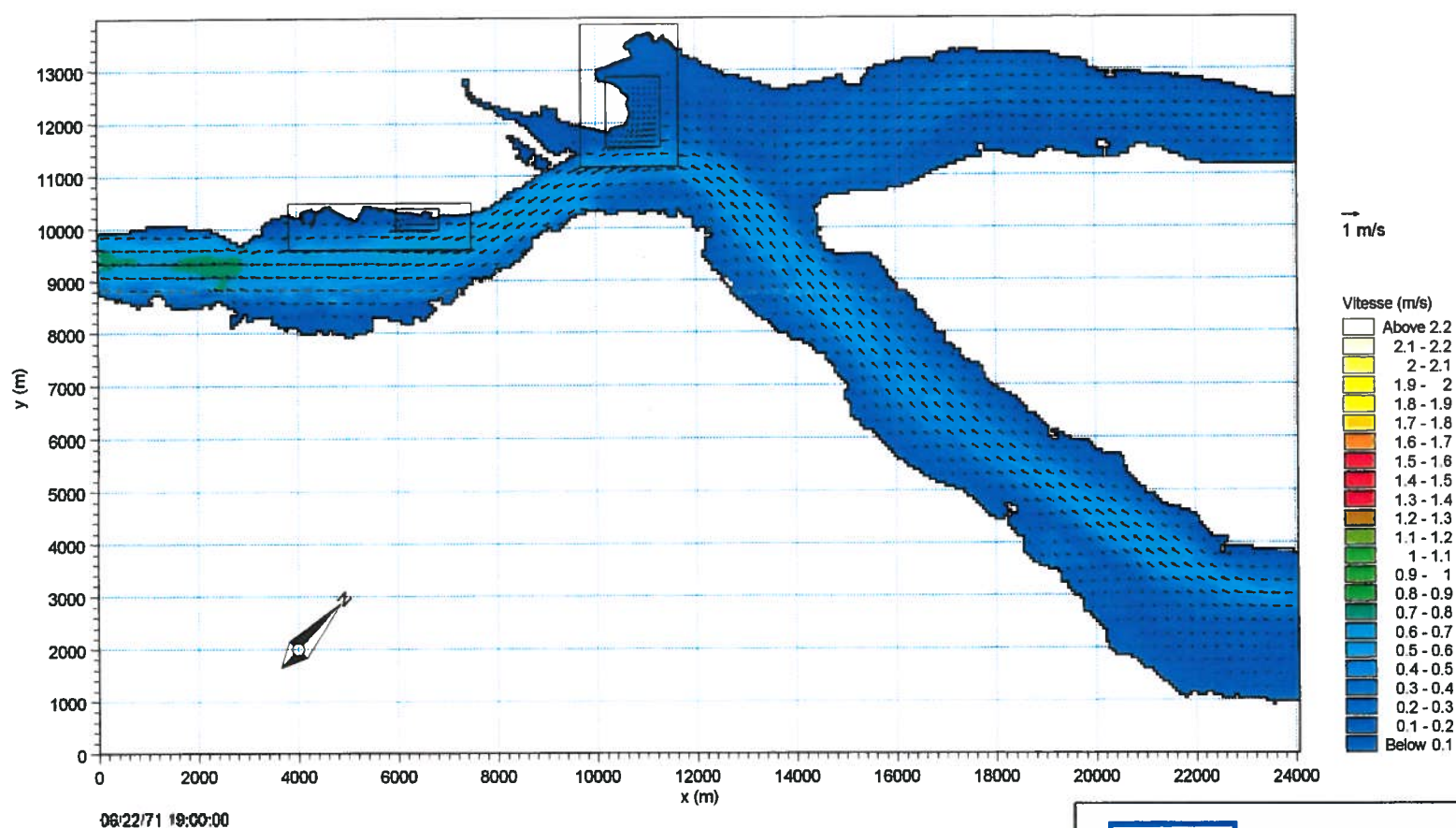
7d

(e) Champs des courants de flot – 0,5 h après pleine mer supérieure

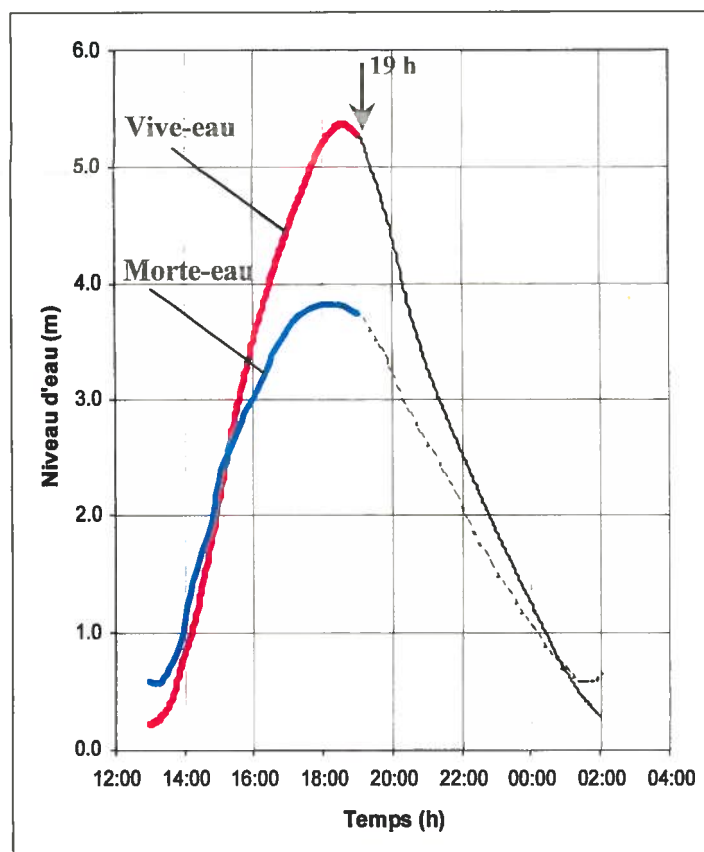
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

391-101

DATE :

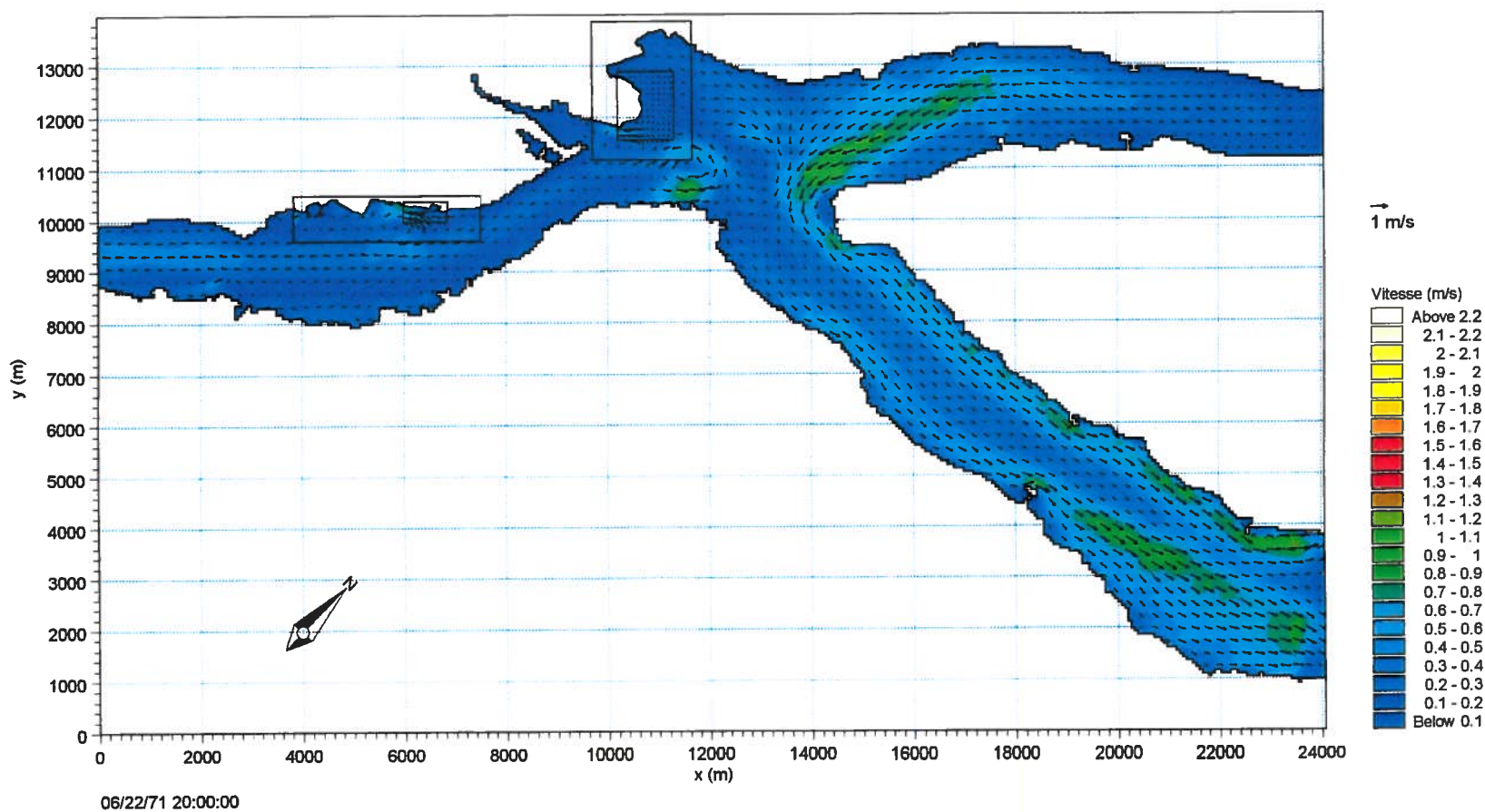
Avril 2006

FIGURE :

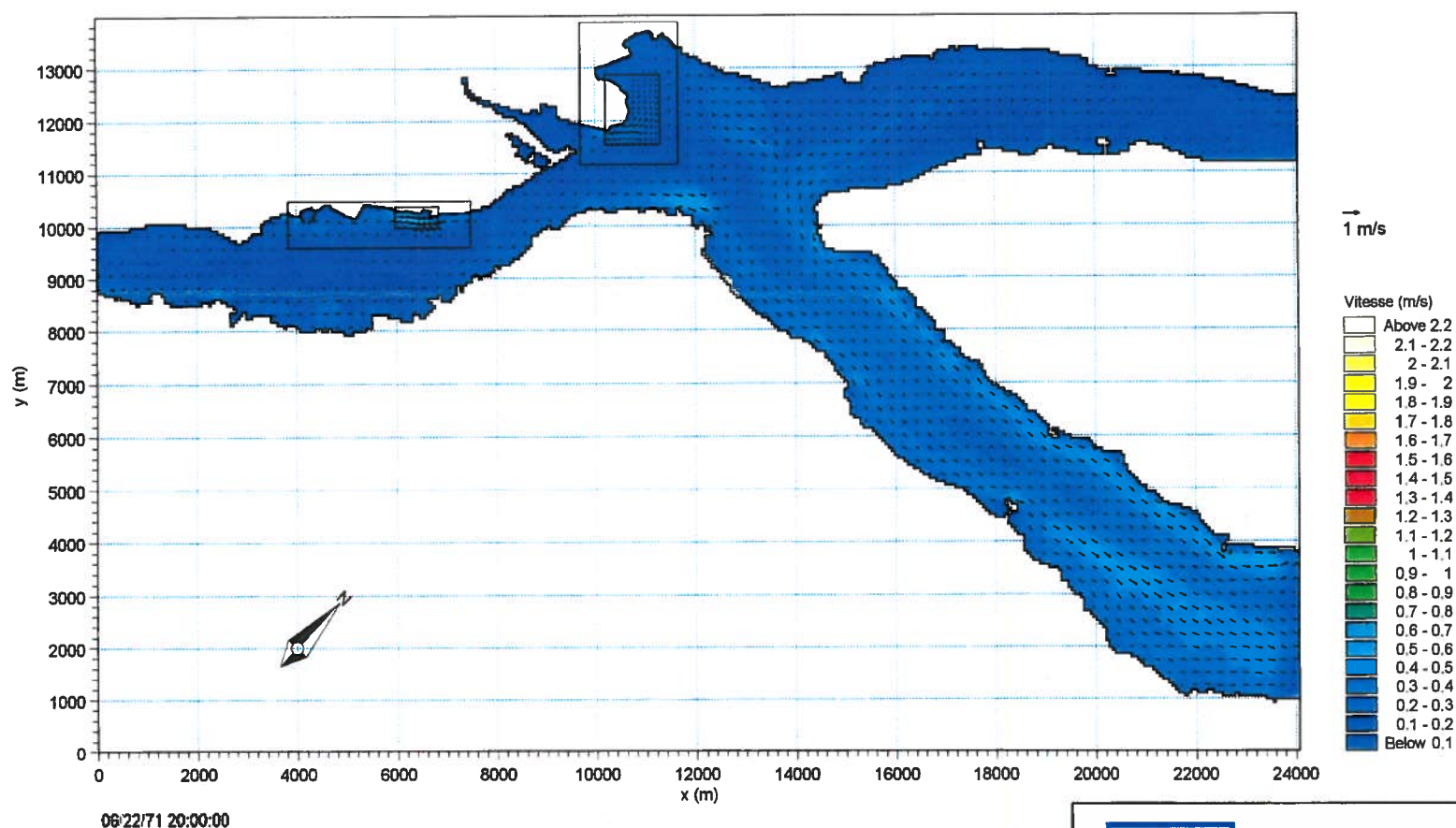
7e

(f) Champs des courants de jusant – 1,5 h après pleine mer supérieure

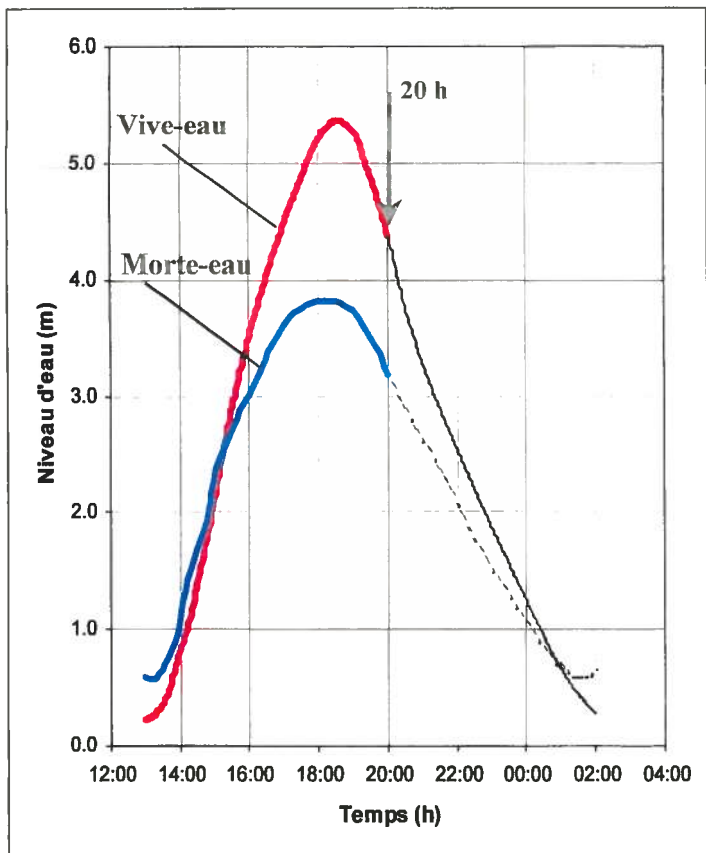
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau





Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC

Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

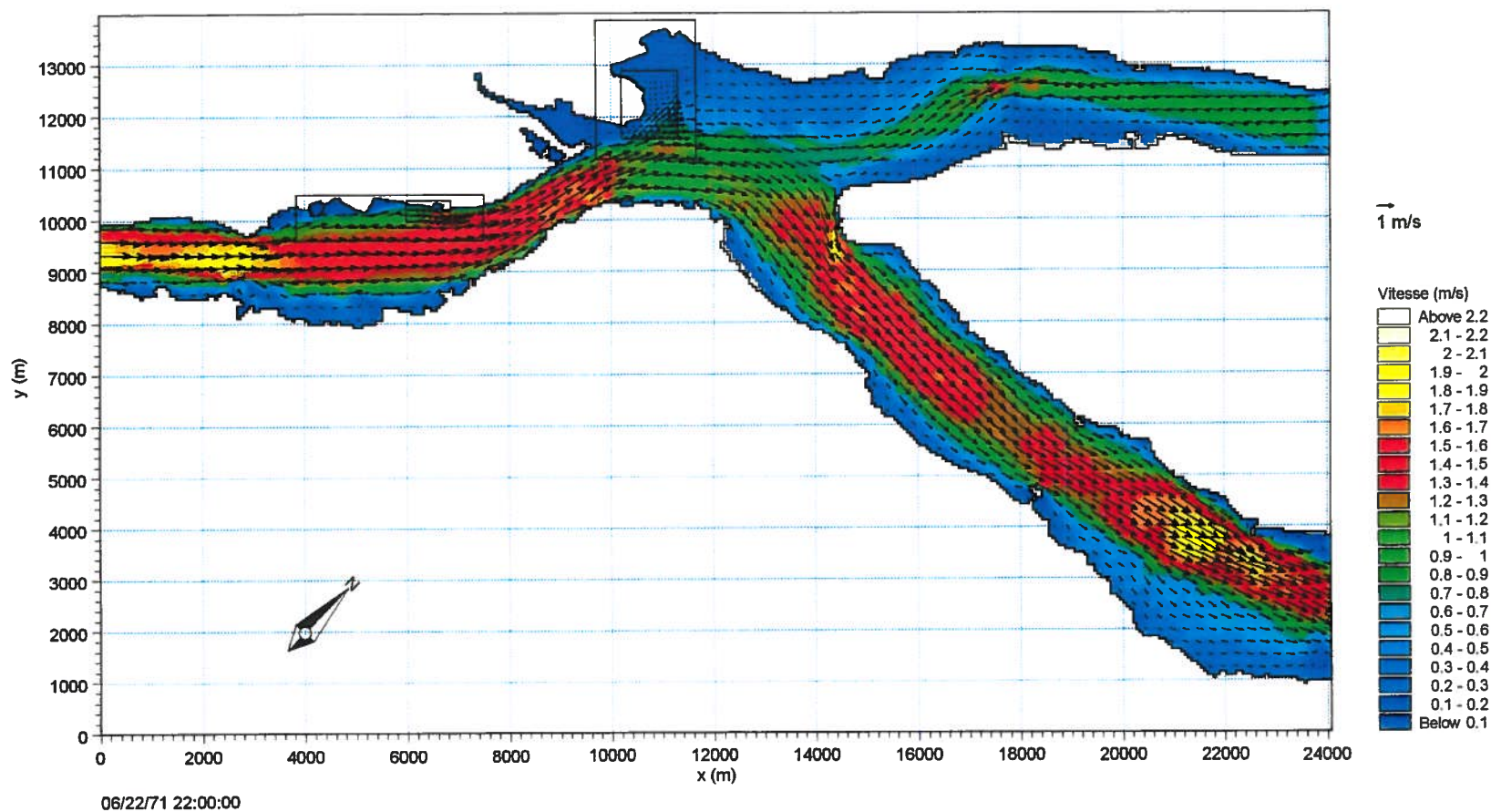
Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :	REF. CLIENT :	REF. LASALLE :
NH - MV	J-4512	391-101

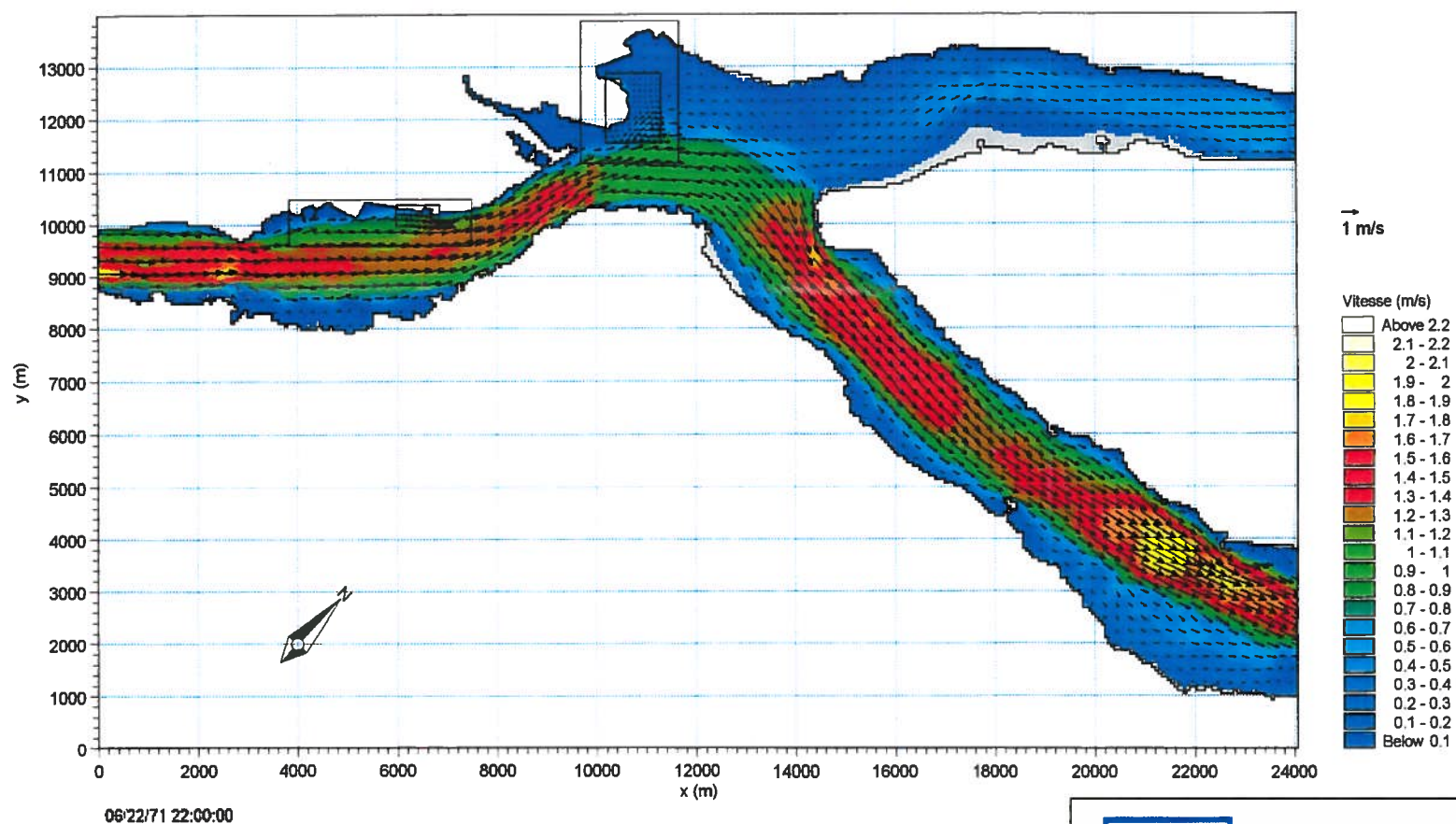
DATE :	FIGURE :
Avril 2006	7f

(g) Champs des courants de jusant – 2 h avant basse mer inférieure

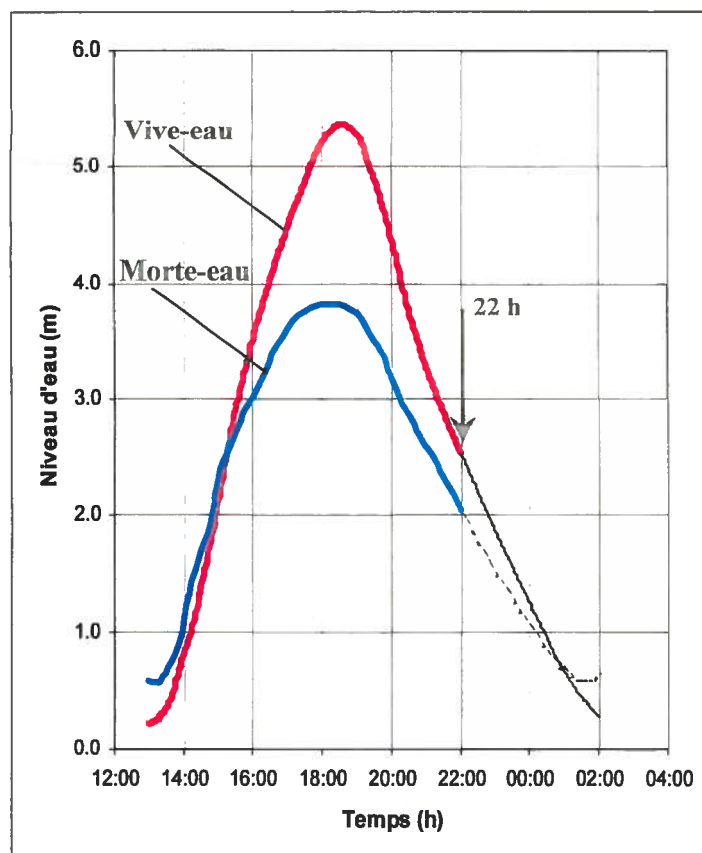
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE
DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur
portuaire de Beauport sur les conditions
hydrosédimentologiques locales

TITRE :

**Cartes des courants de marées de vive-
eau et de morte-eau (Conditions
d'aménagement actuelles)**

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

REF. CLIENT :
J-4512

REF. LASALLE :
391-101

DATE :

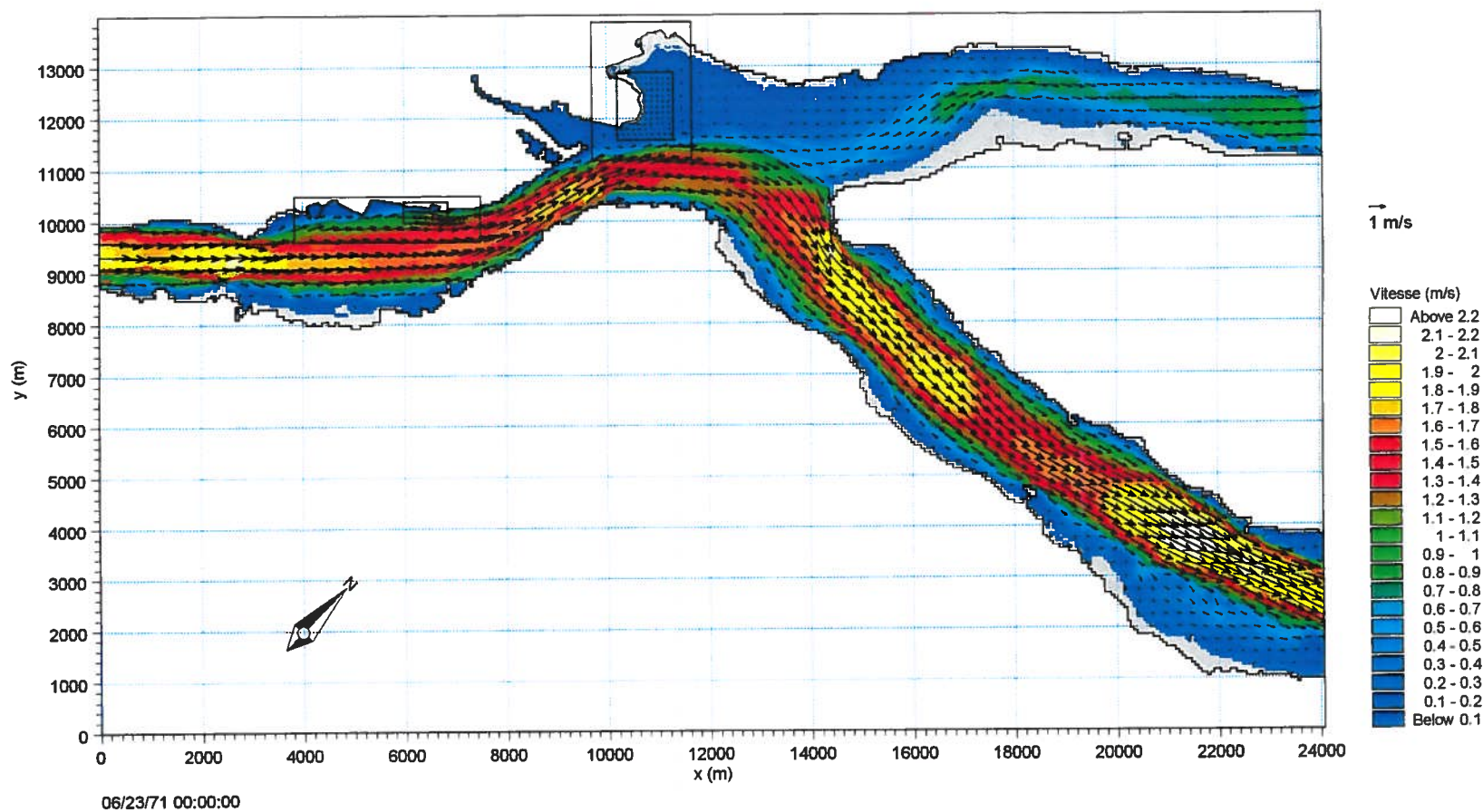
Avril 2006

FIGURE :

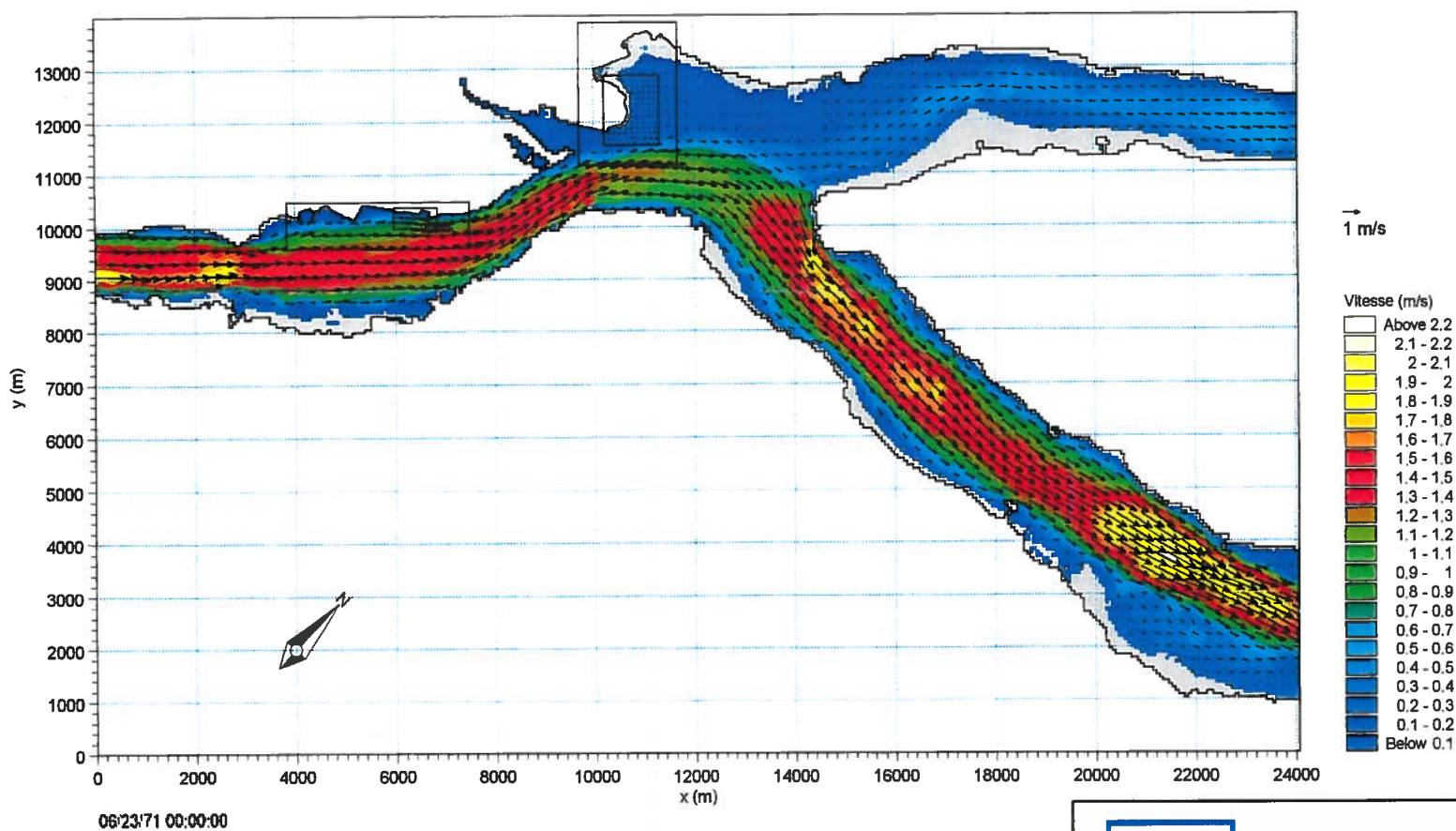
7g

(h) Champs des courants de jusan – 1 h avant basse mer inférieure

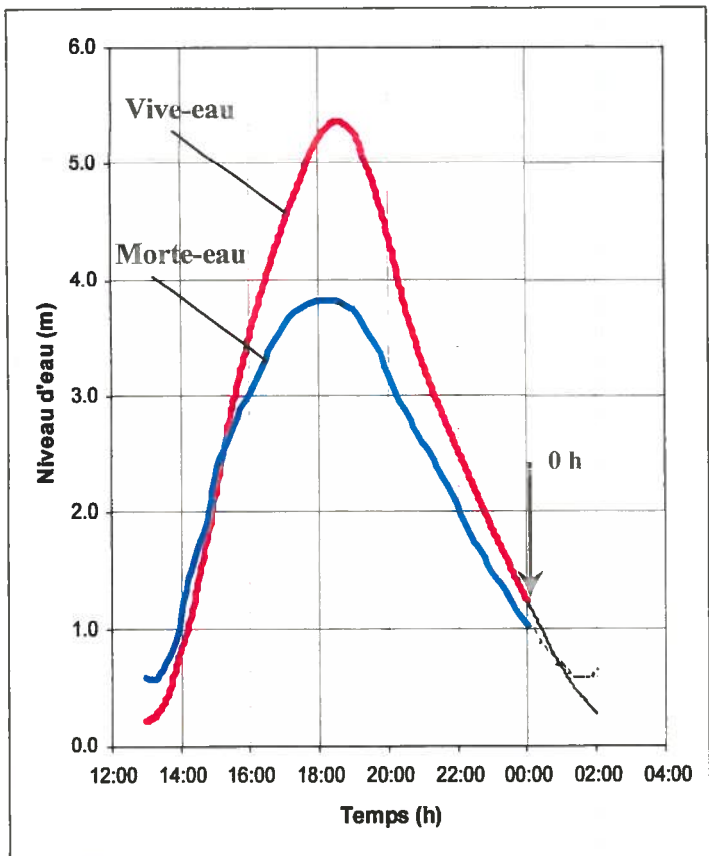
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau





Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET : **PORT DE QUÉBEC**

Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

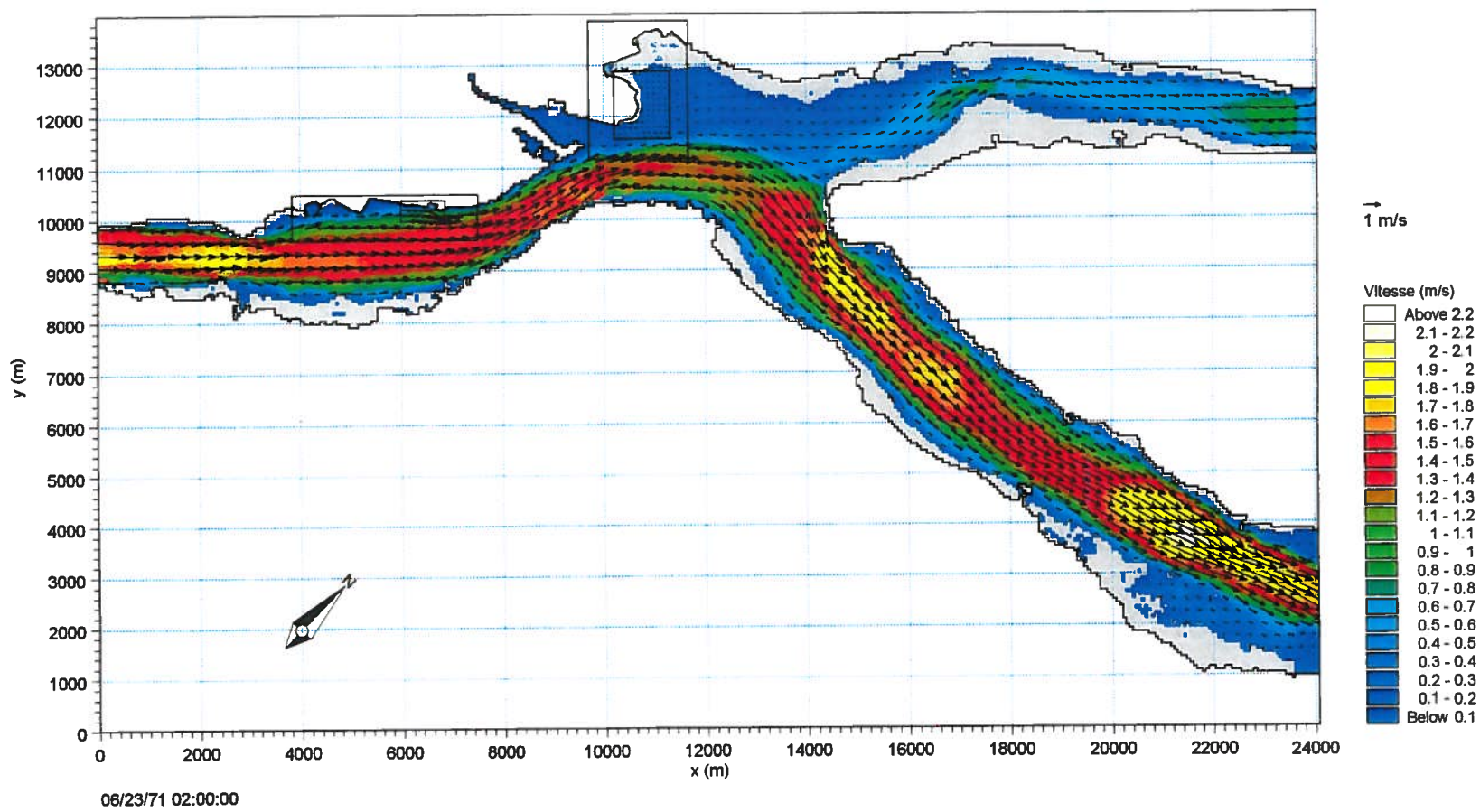
TITRE : **Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)**

PRÉPARÉ PAR : NH - MV	REF. CLIENT : J-4512	REF. LASALLE : 391-101
---------------------------------	--------------------------------	----------------------------------

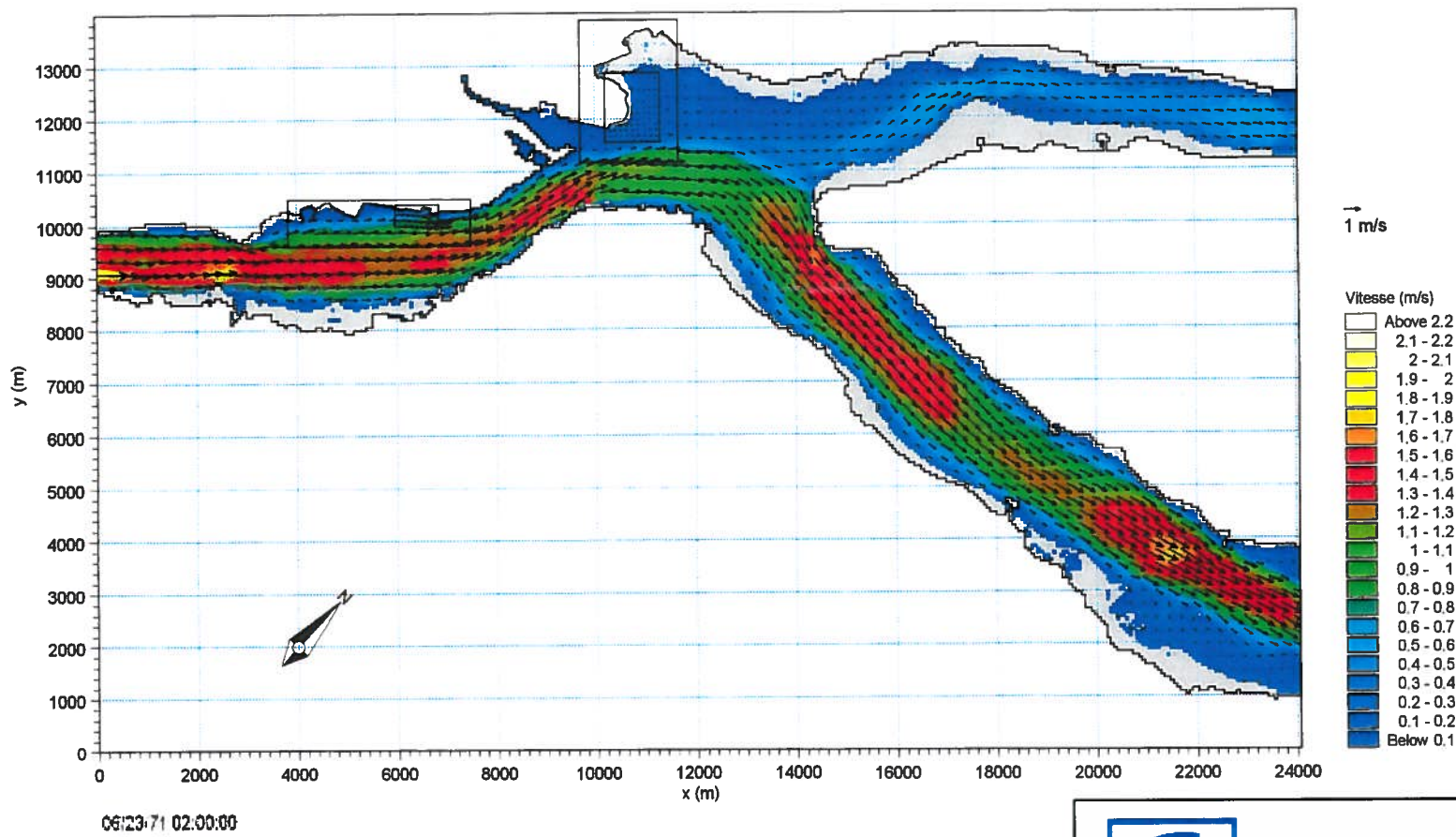
DATE : Avril 2006	FIGURE : 7h
-----------------------------	-----------------------

(i) Champs des courants de jasant – 0,5 h avant basse mer inférieure

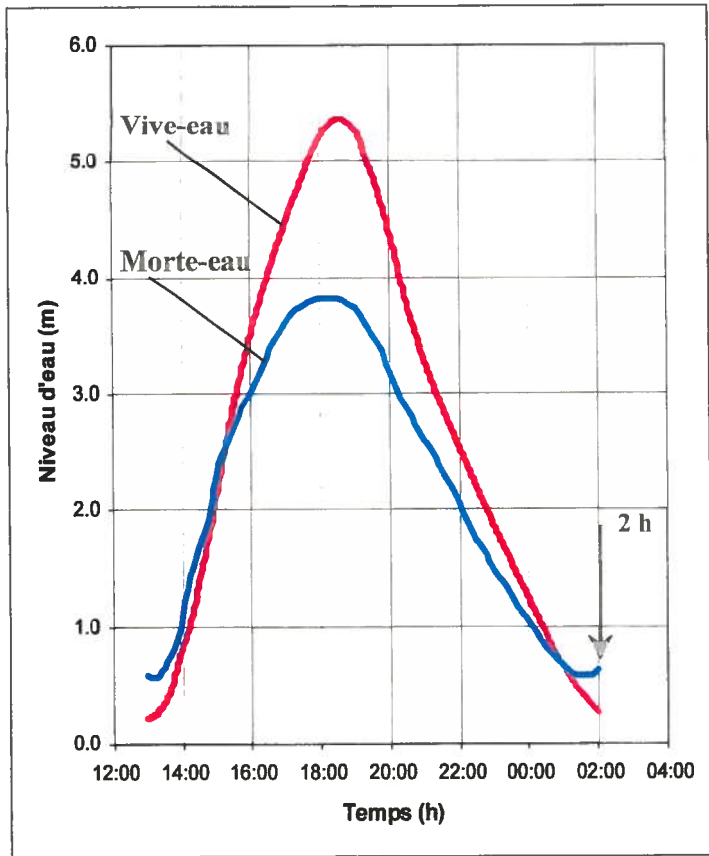
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE
DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :
PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur
portuaire de Beauport sur les conditions
hydrosédimentologiques locales

TITRE :
Cartes des courants de marées de vive-
eau et de morte-eau (Conditions
d'aménagement actuelles)

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

REF. CLIENT :
J-4512

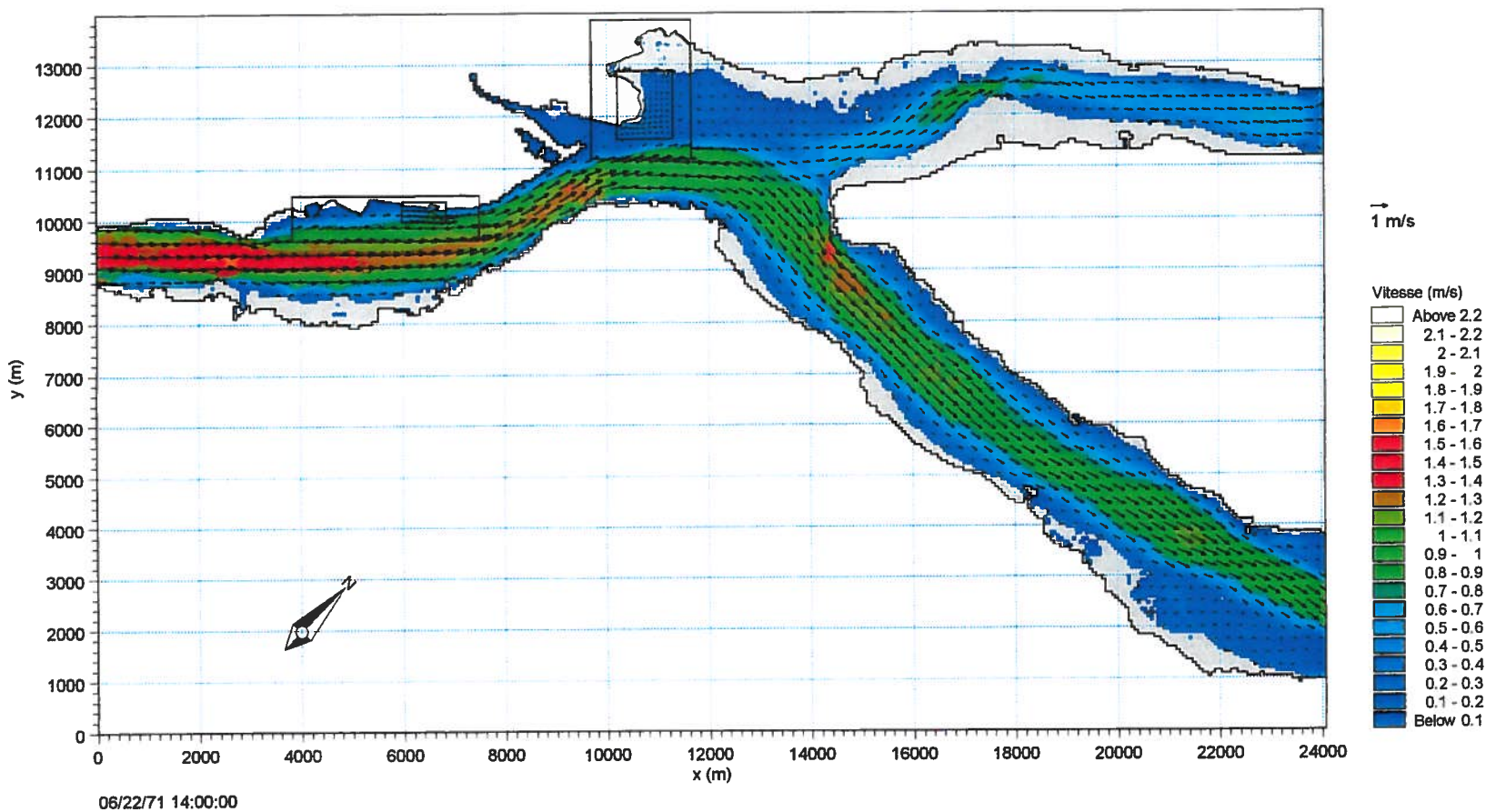
REF. LASALLE :
391-101

DATE :
Avril 2006

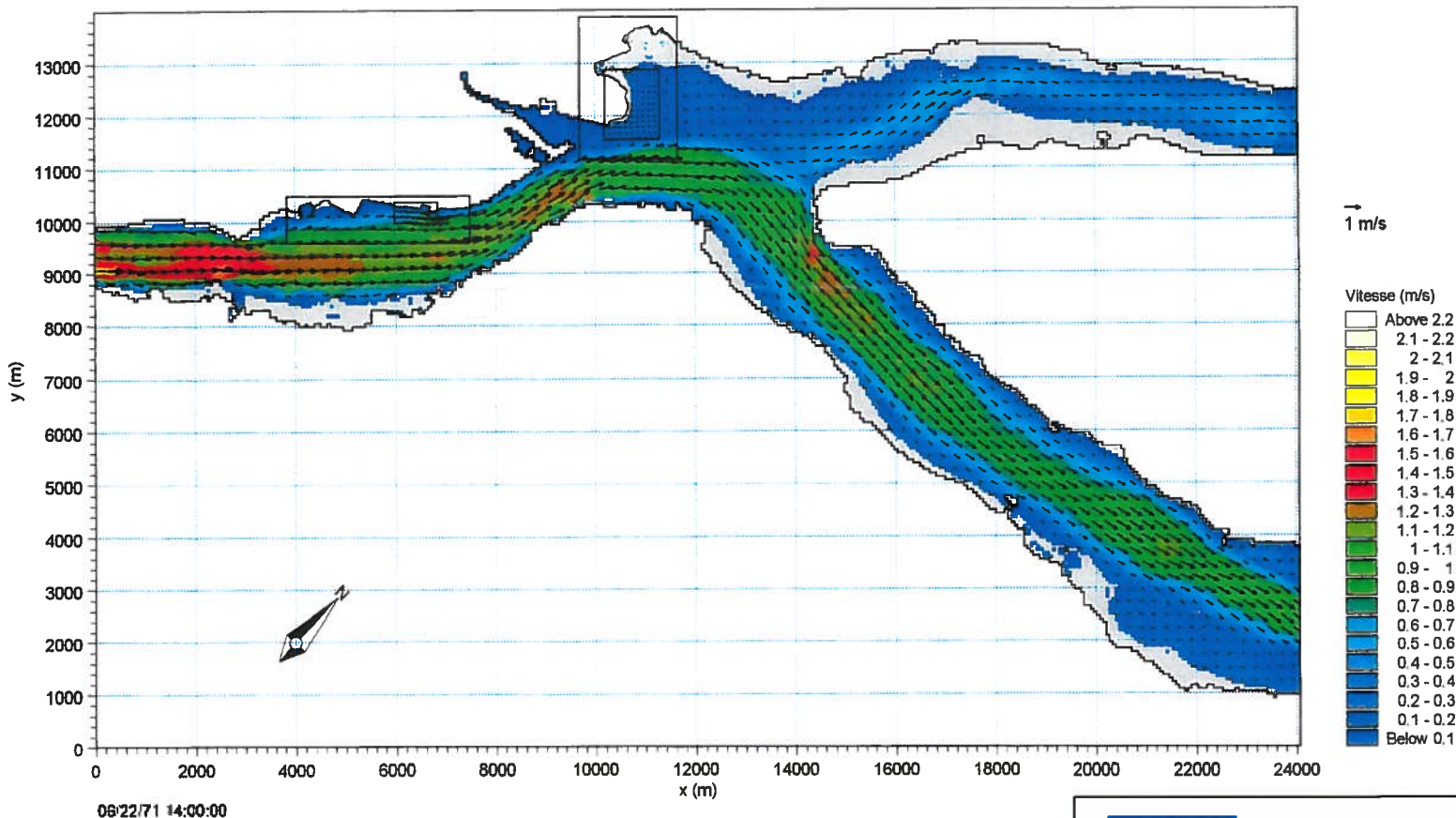
FIGURE :
7i

(j) Champs des courants de jusant – 1 h après basse mer inférieure

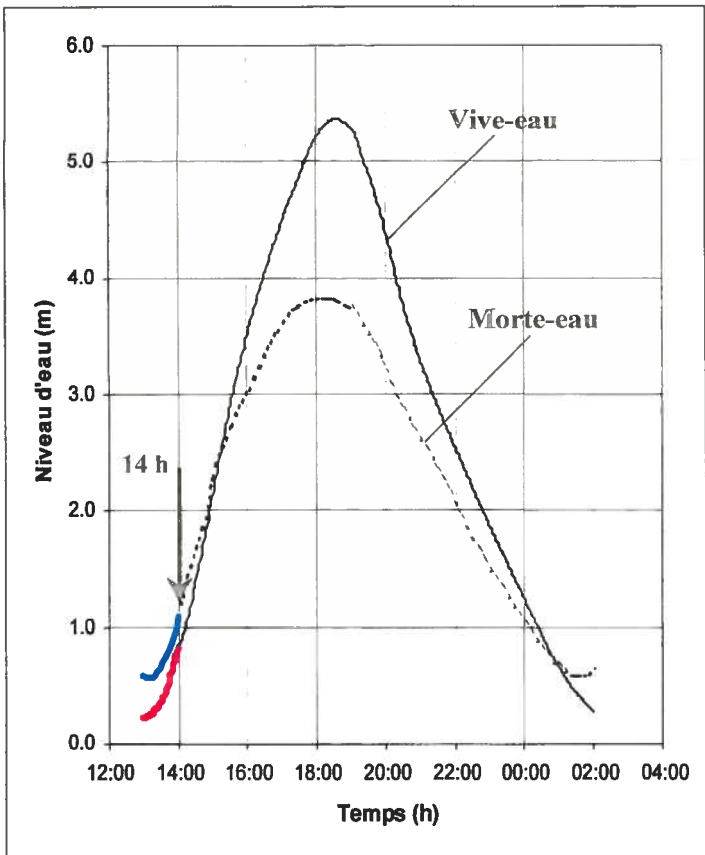
Conditions d'écoulement en vive-eau



Conditions d'écoulement en morte-eau



Cycles de marée de vive-eau et de morte-eau



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET : **PORT DE QUÉBEC**
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE : **Cartes des courants de marées de vive-eau et de morte-eau (Conditions d'aménagement actuelles)**

PRÉPARÉ PAR : **NH - MV**

REF. CLIENT : **J-4512**

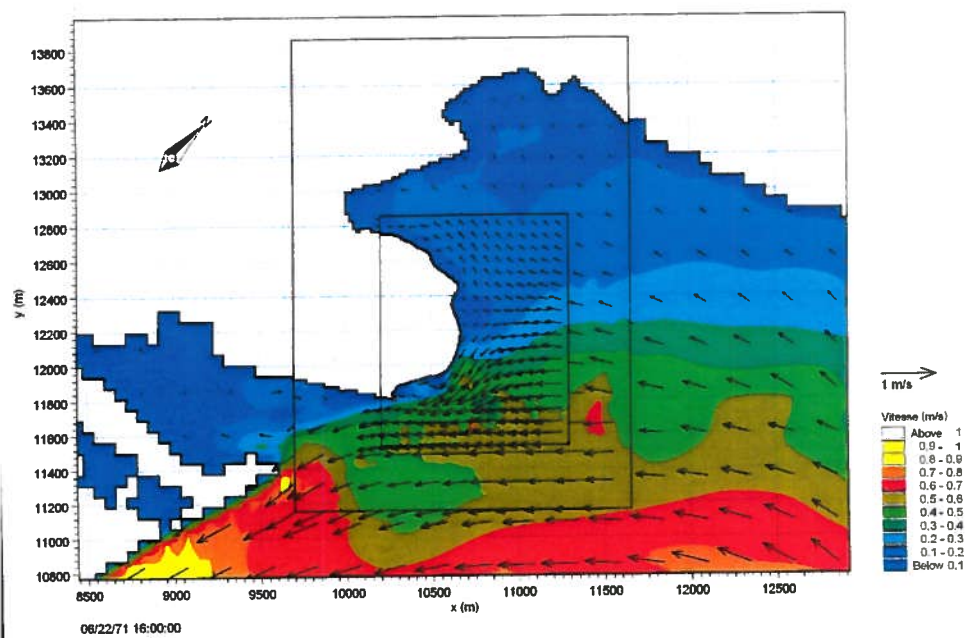
REF. LASALLE : **391-101**

DATE : **Avril 2006**

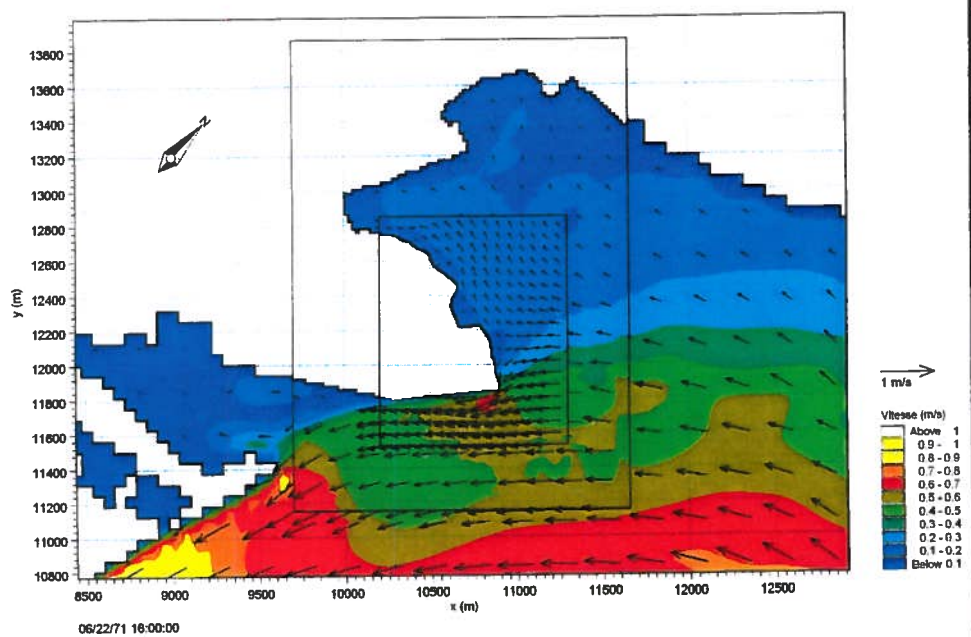
FIGURE : **7j**

Champs des courants de flot

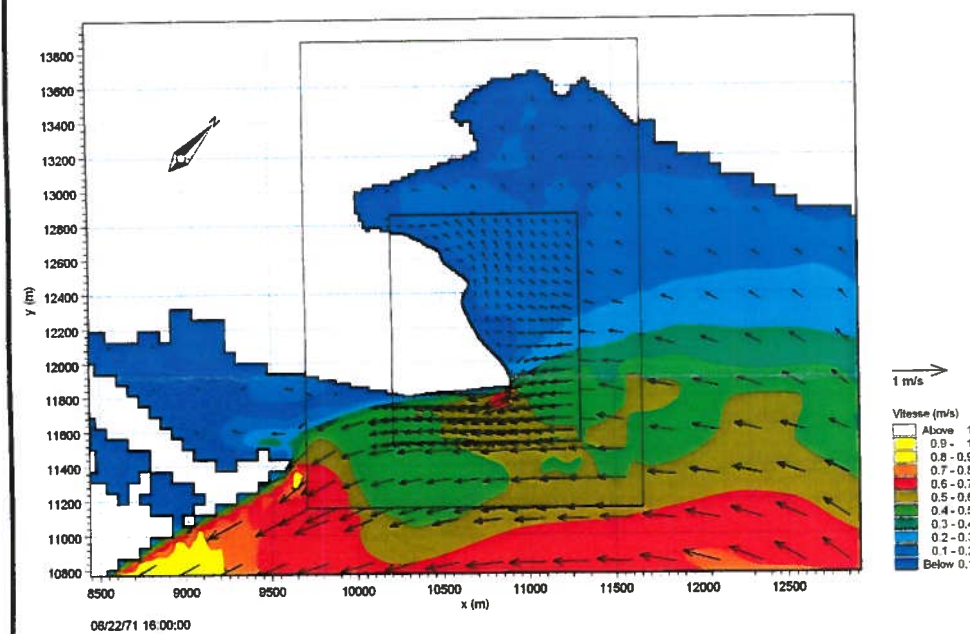
Conditions actuelles



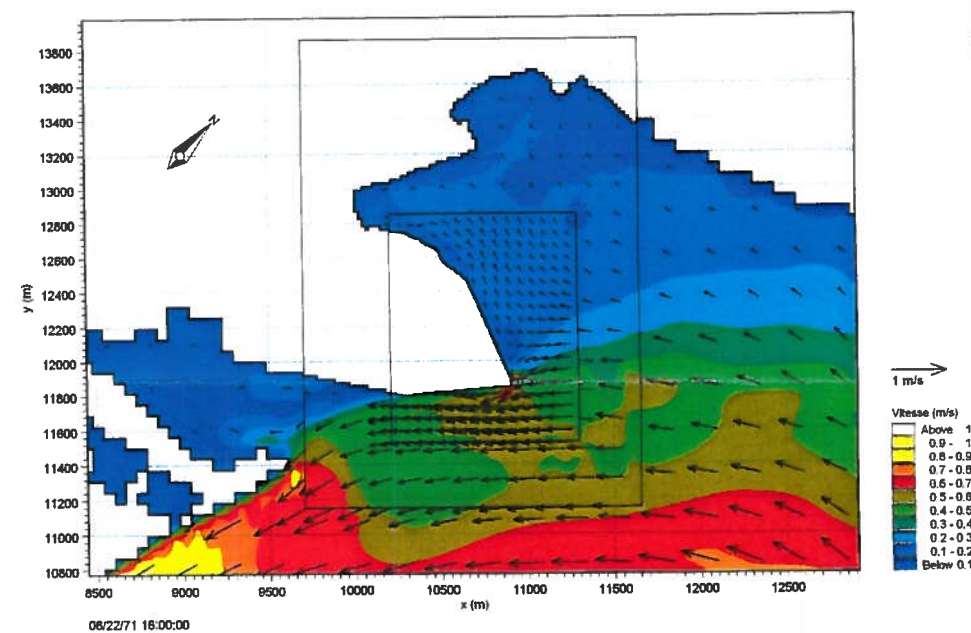
Conditions futures – Variante 1



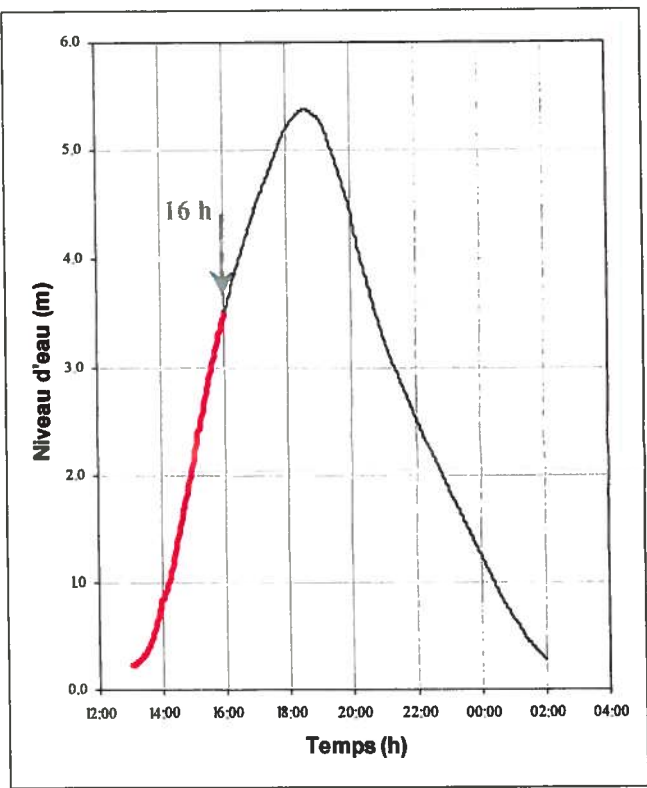
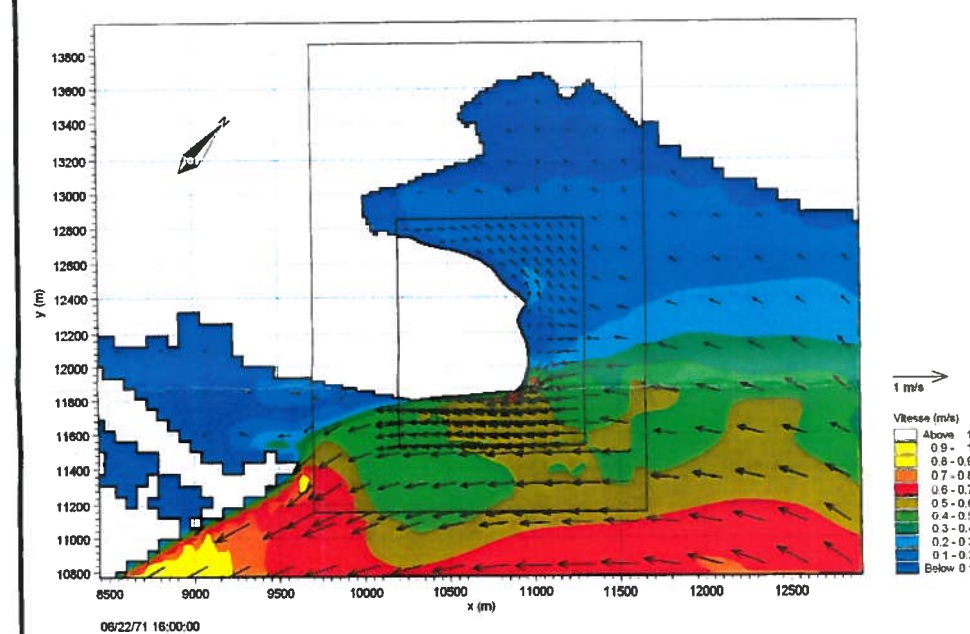
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC
Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

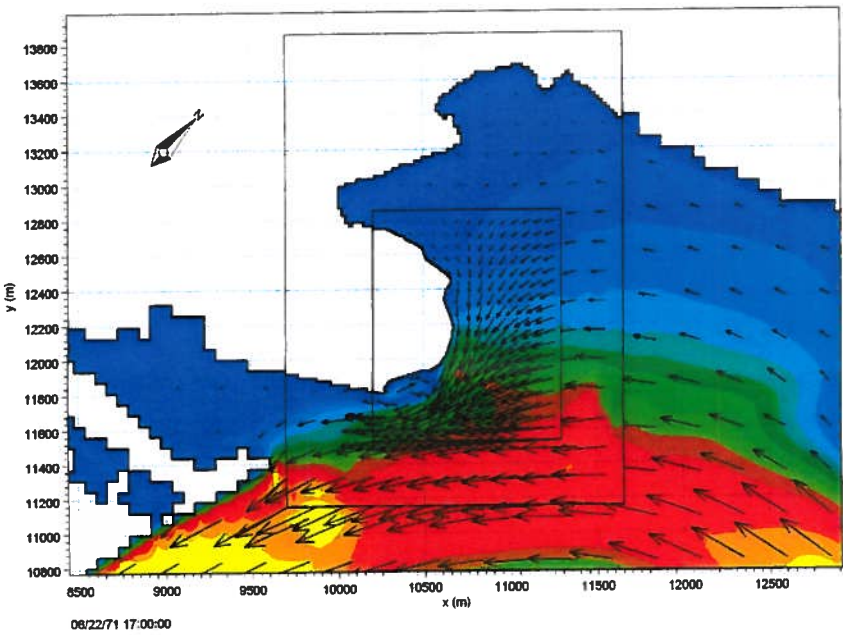
391-101

FIGURE :

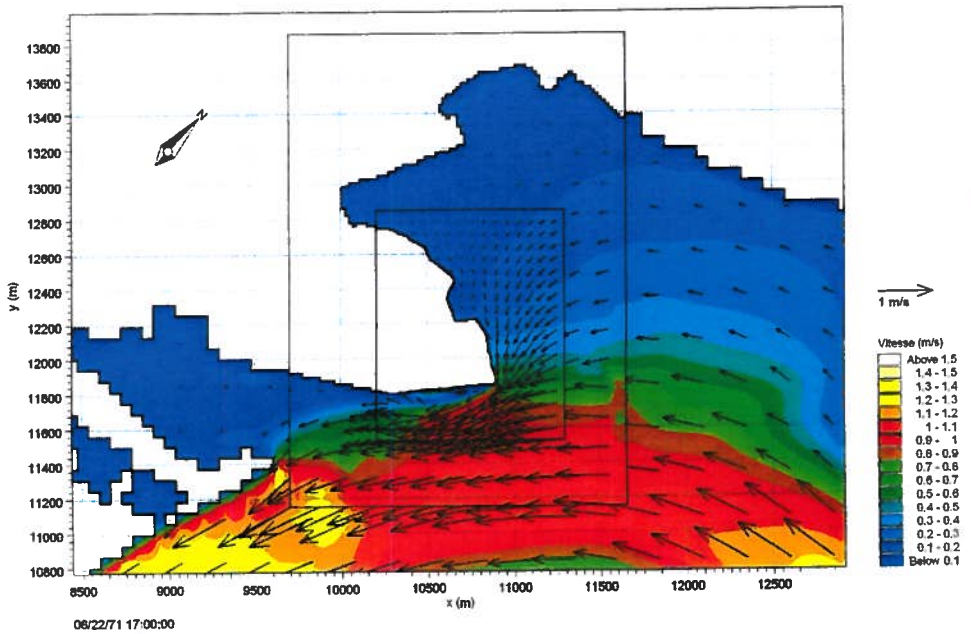
8a

Champs des courants de flot

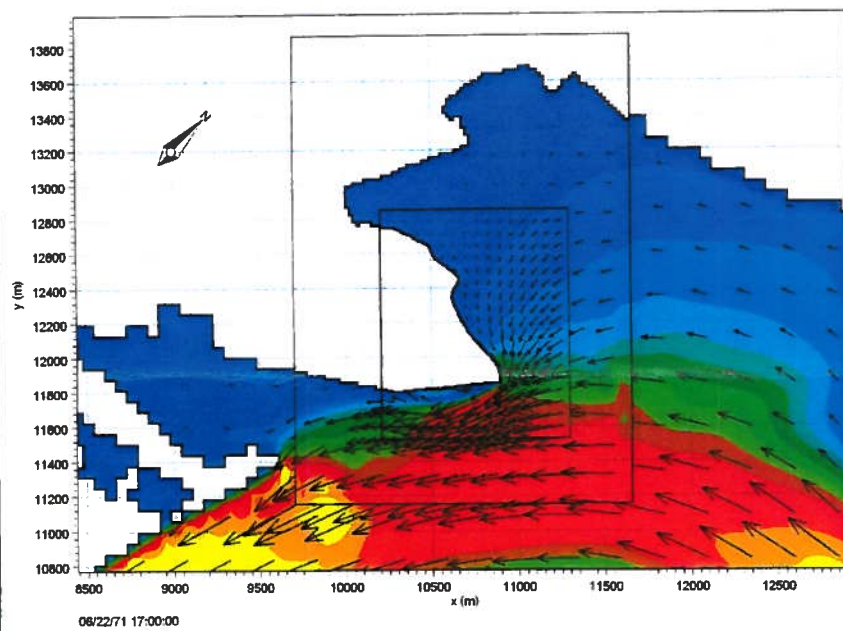
Conditions actuelles



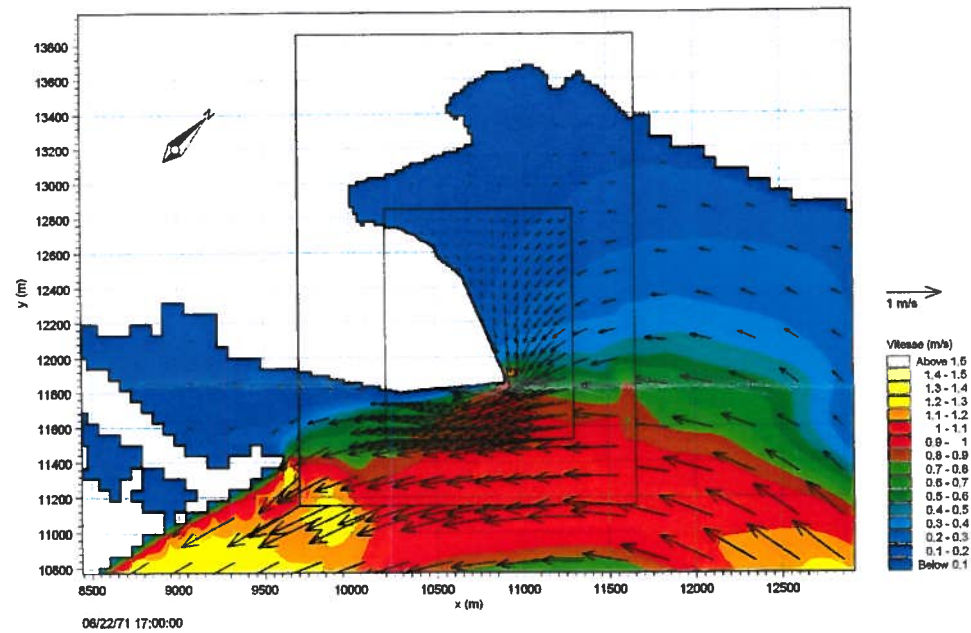
Conditions futures – Variante 1



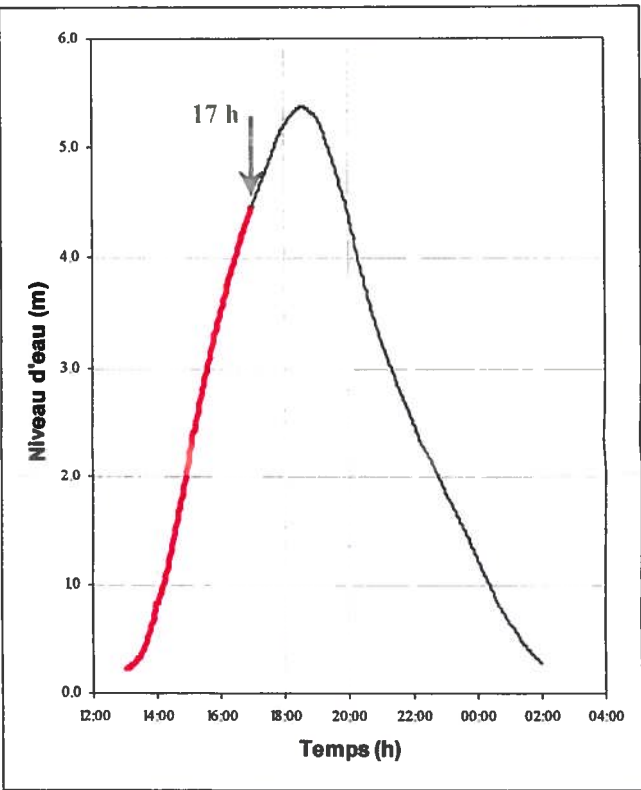
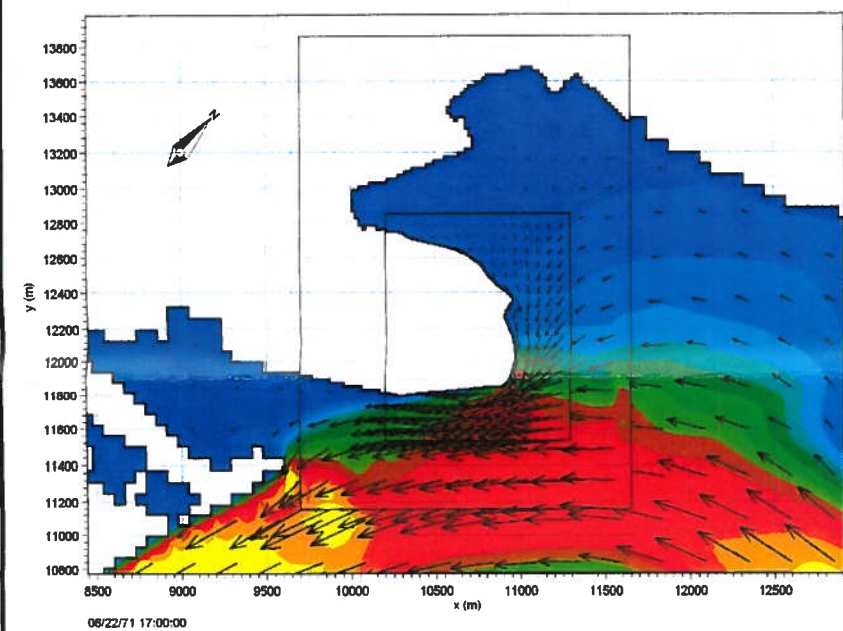
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC
Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

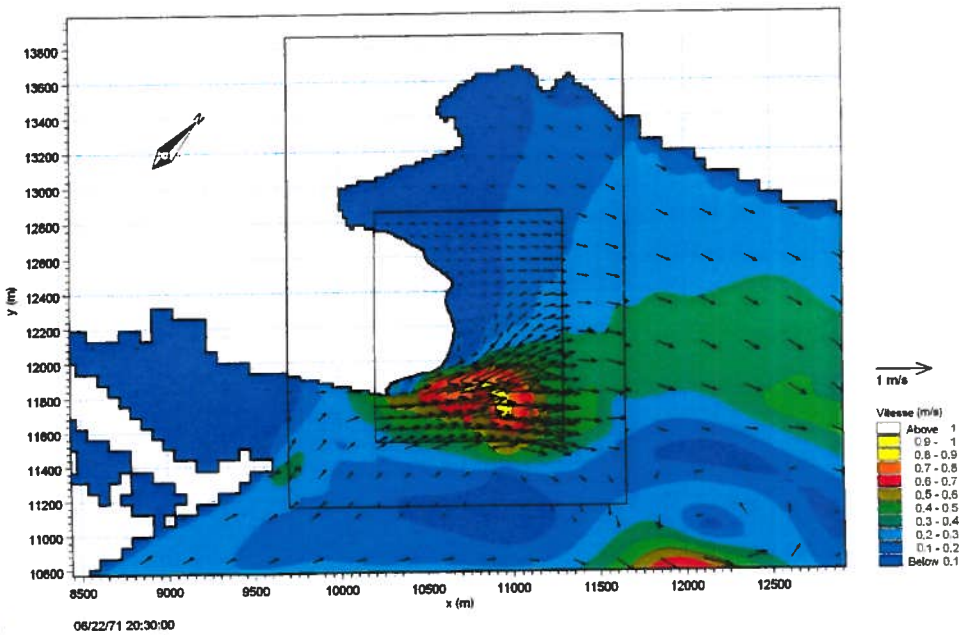
391-101

FIGURE :

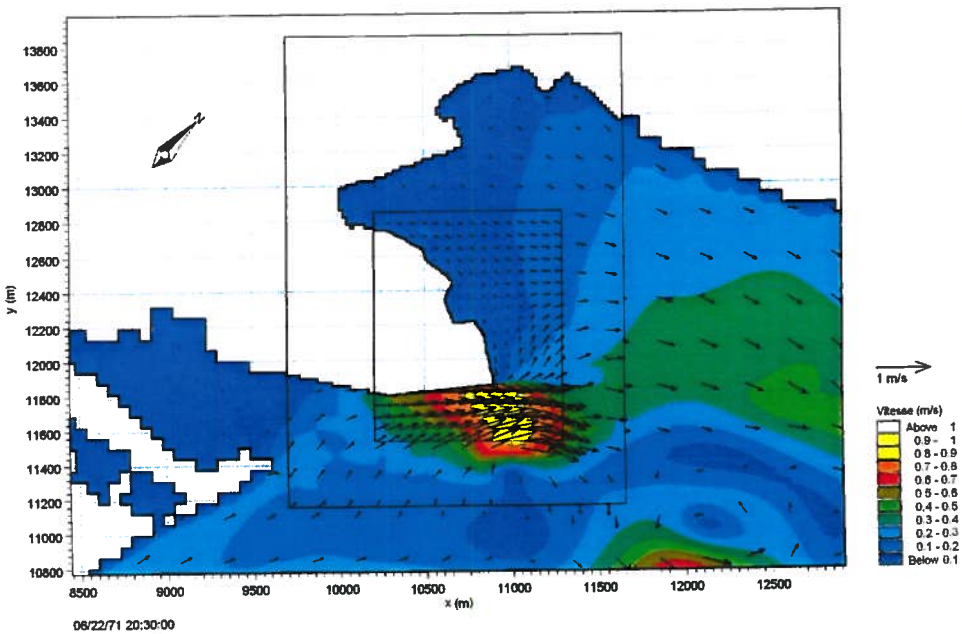
8b

Champs des courants de jusant

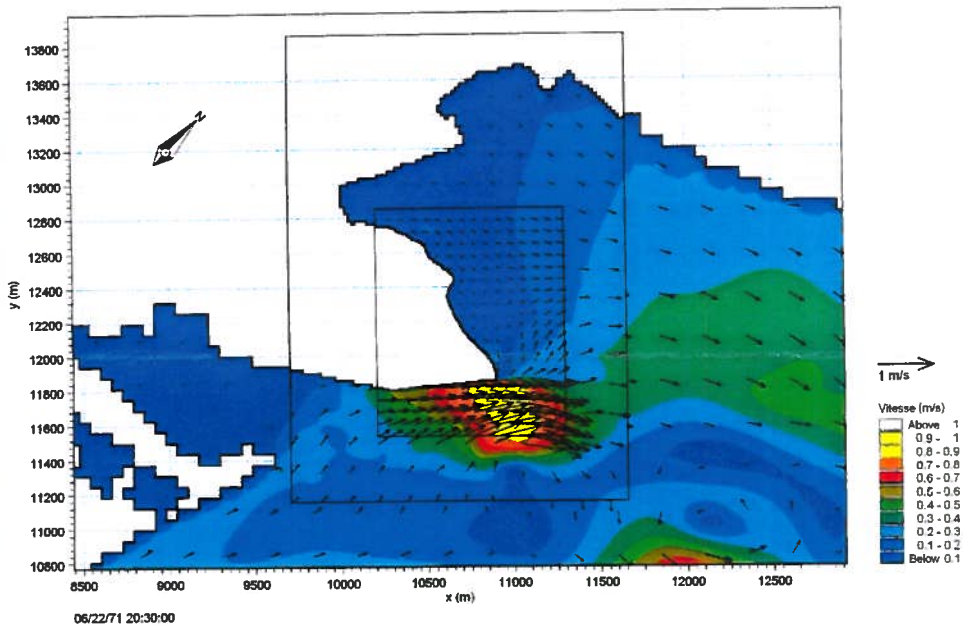
Conditions actuelles



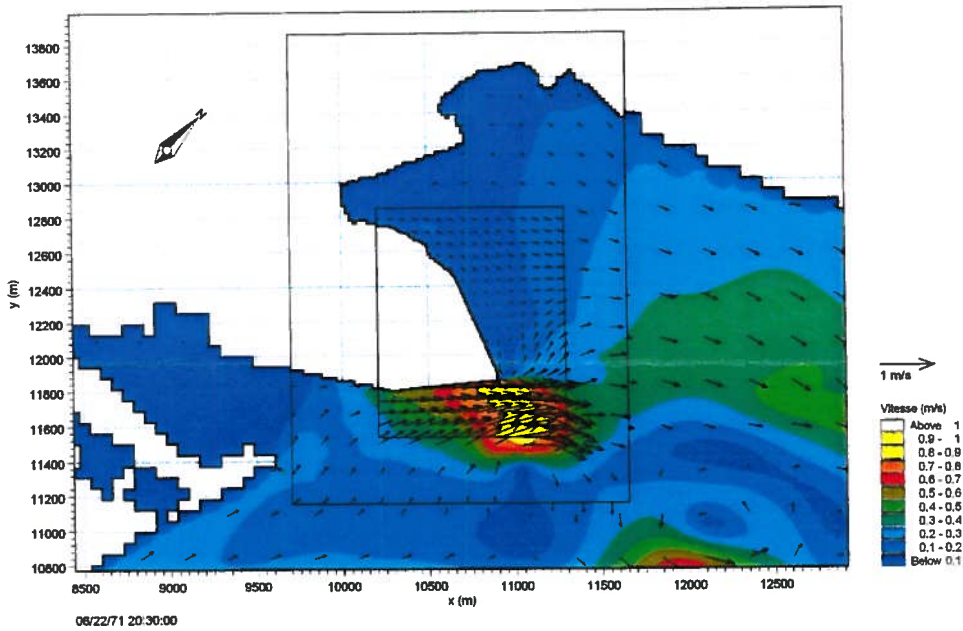
Conditions futures – Variante 1



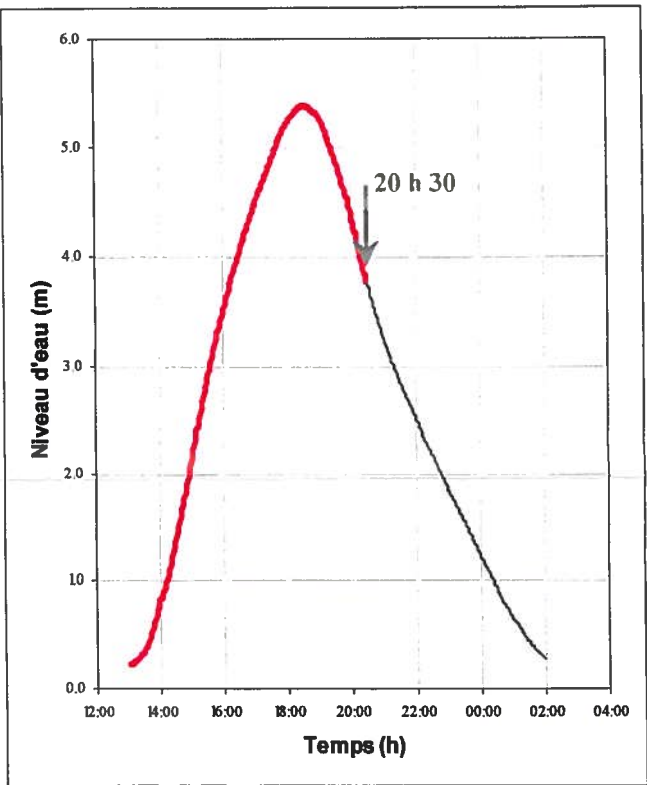
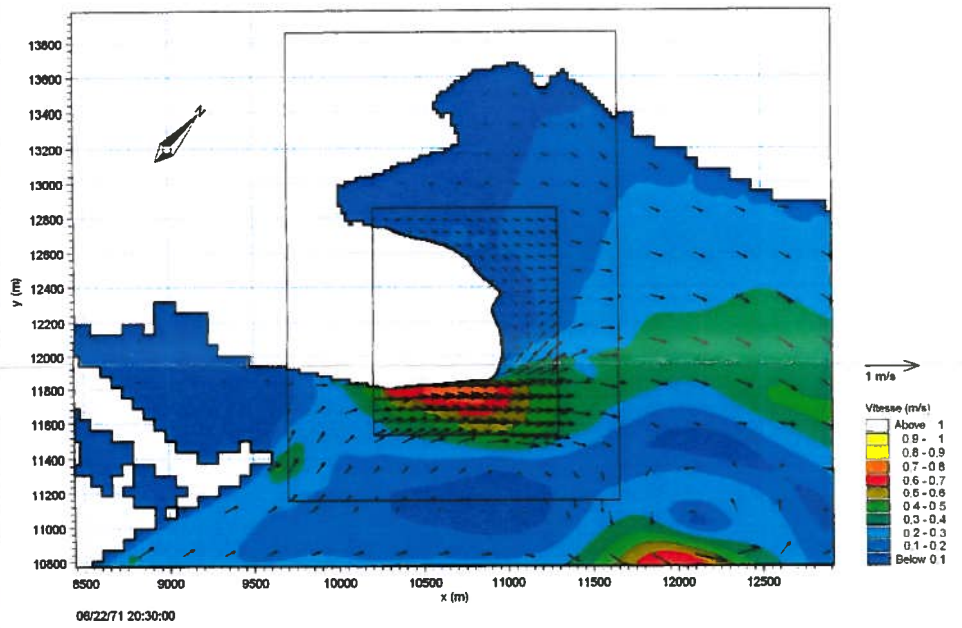
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

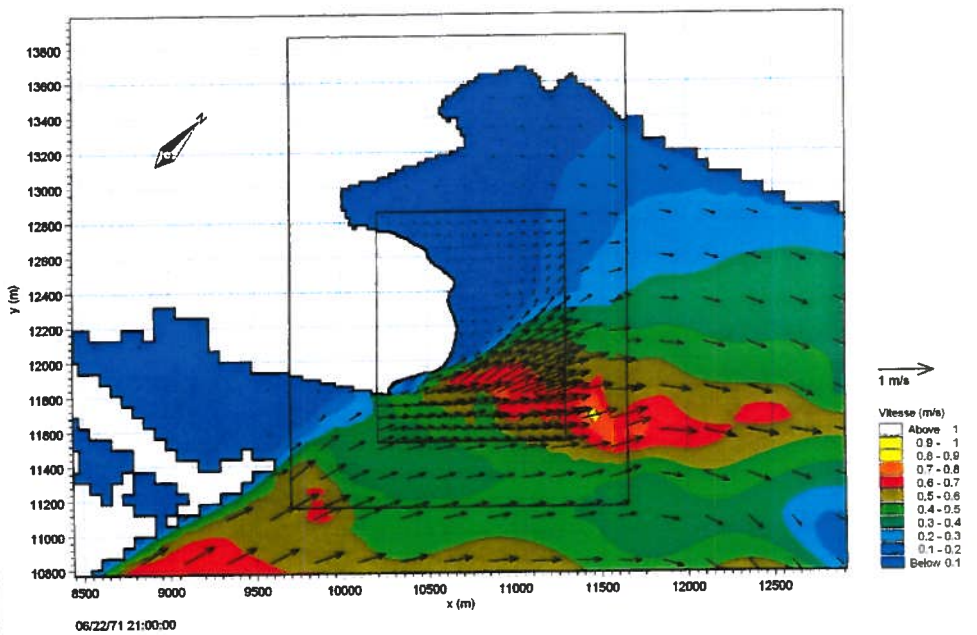
391-101

FIGURE :

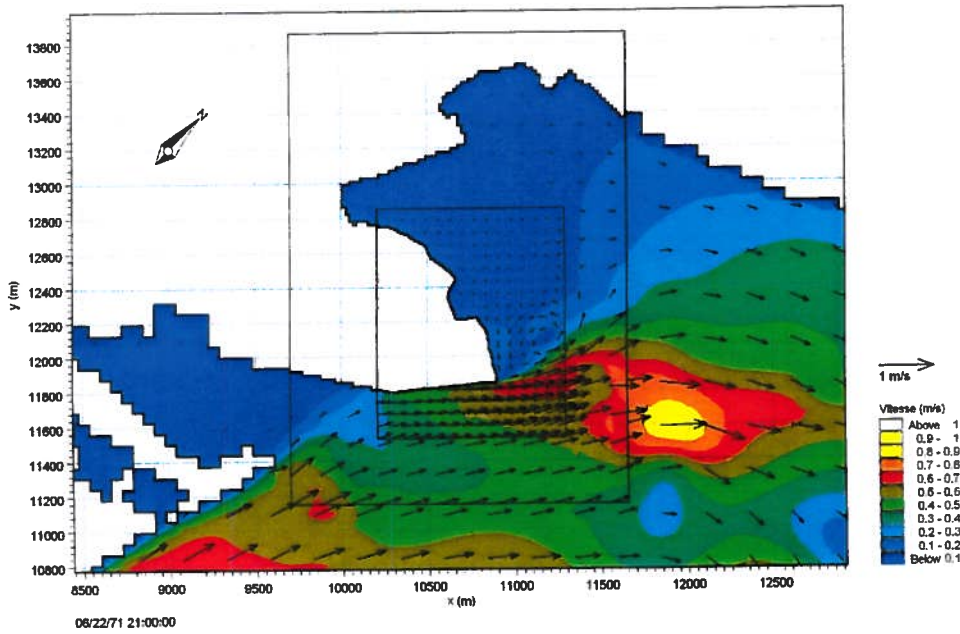
8d

Champs des courants de jusant

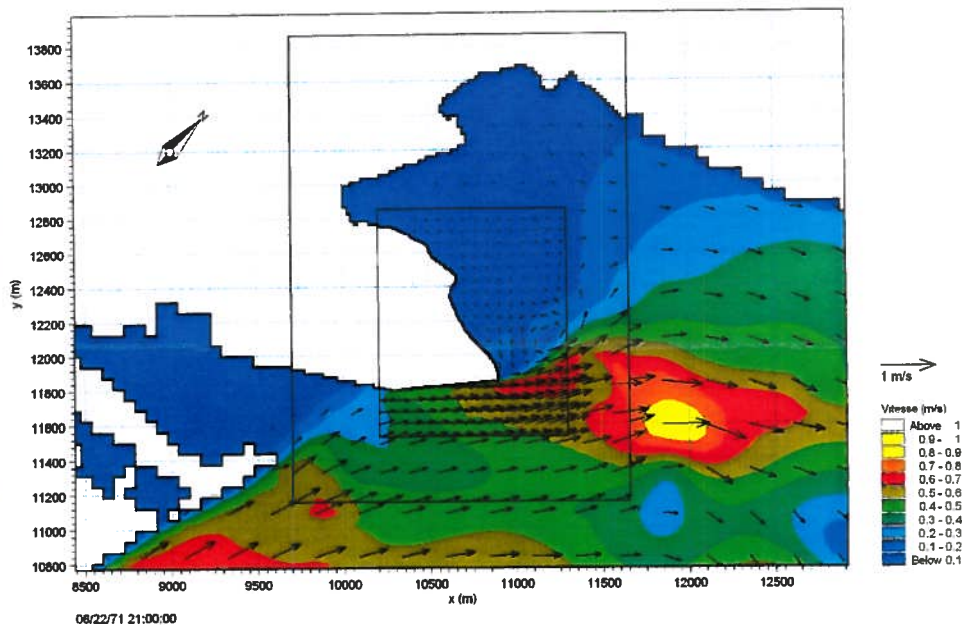
Conditions actuelles



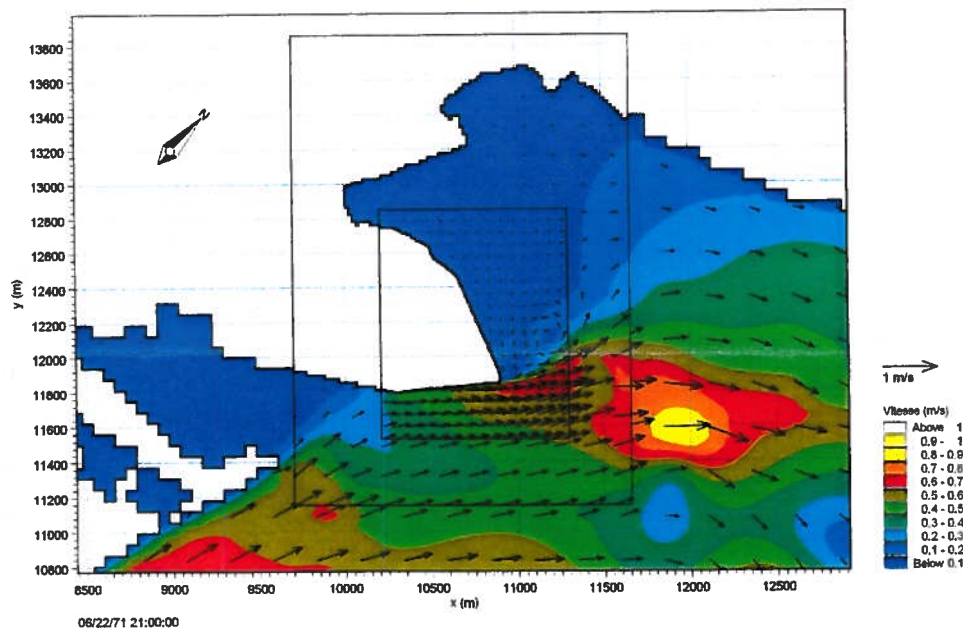
Conditions futures – Variante 1



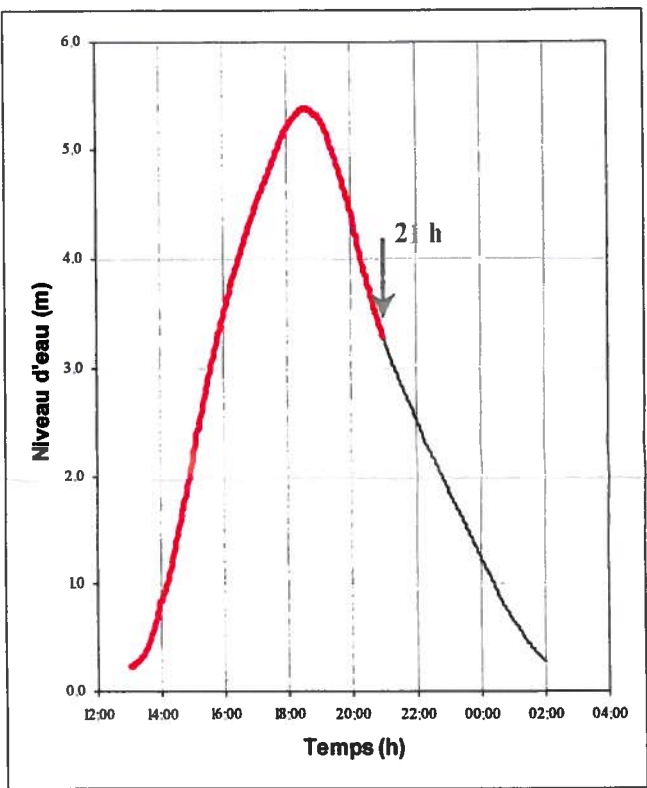
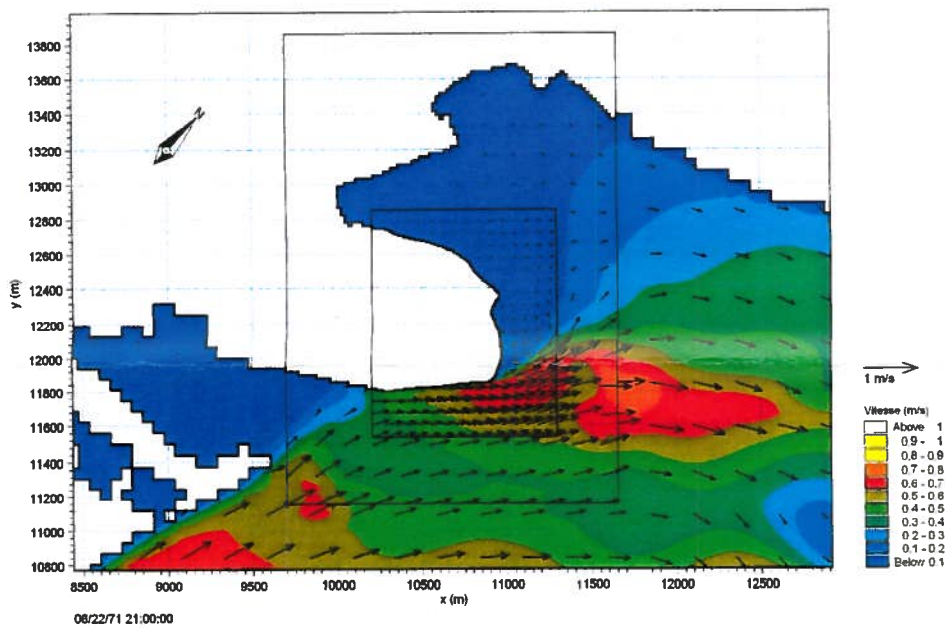
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC
Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

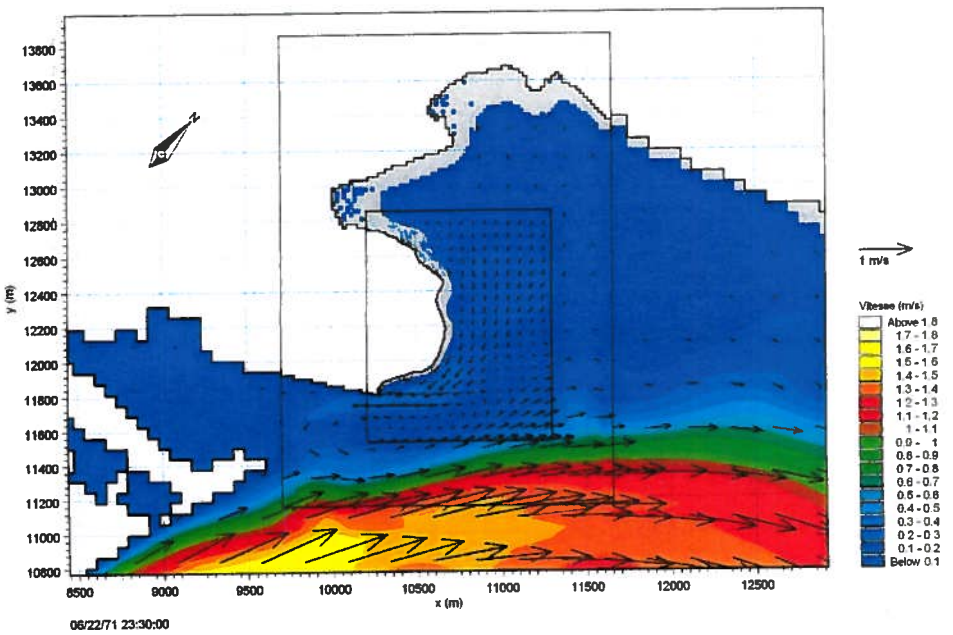
391-101

FIGURE :

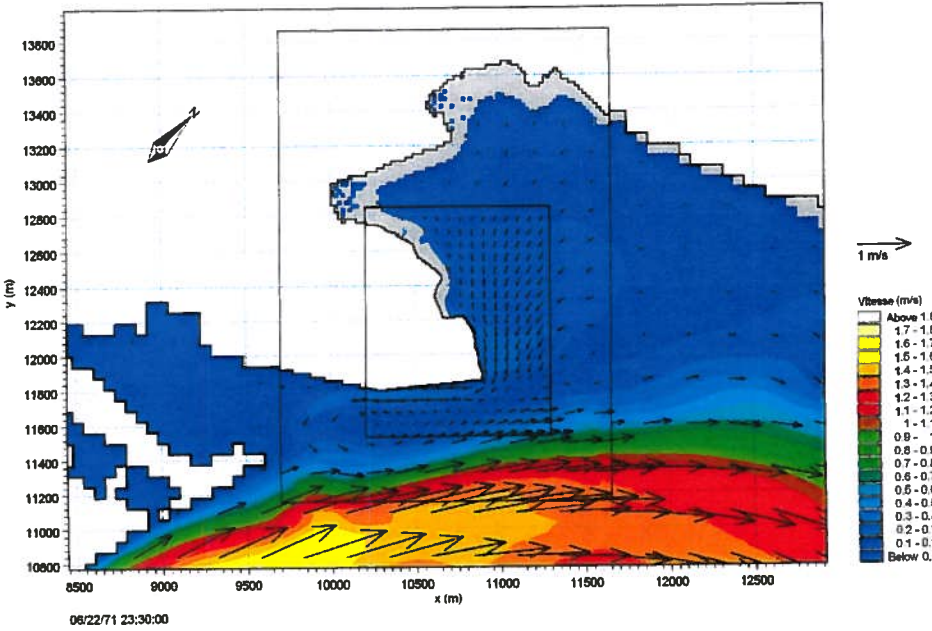
8e

Champs des courants de jusant

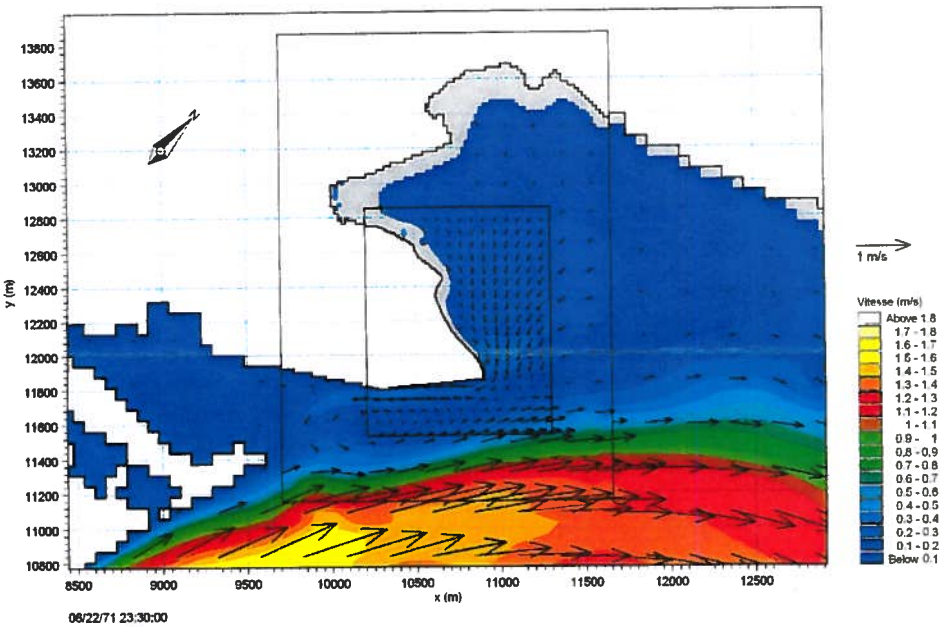
Conditions actuelles



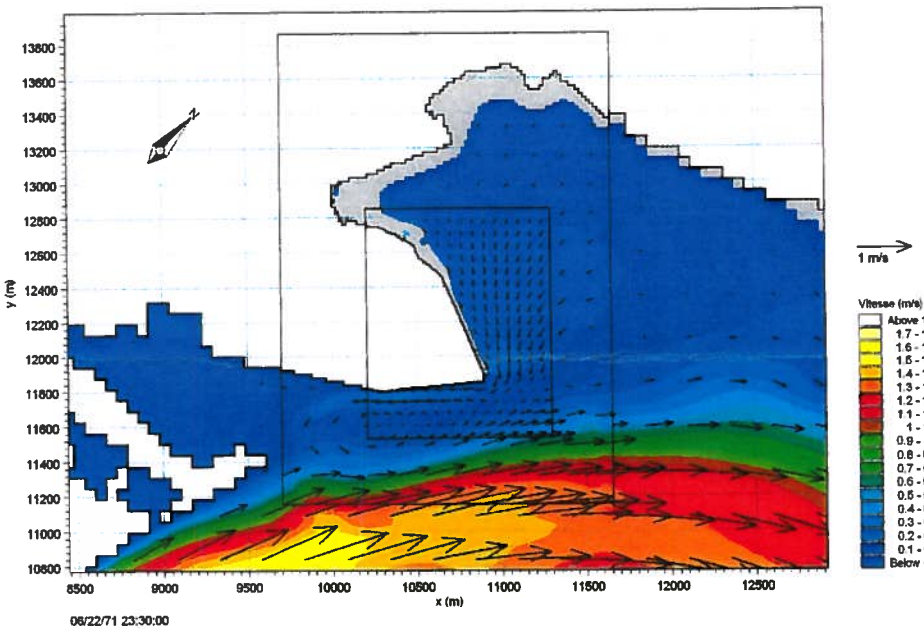
Conditions futures – Variante 1



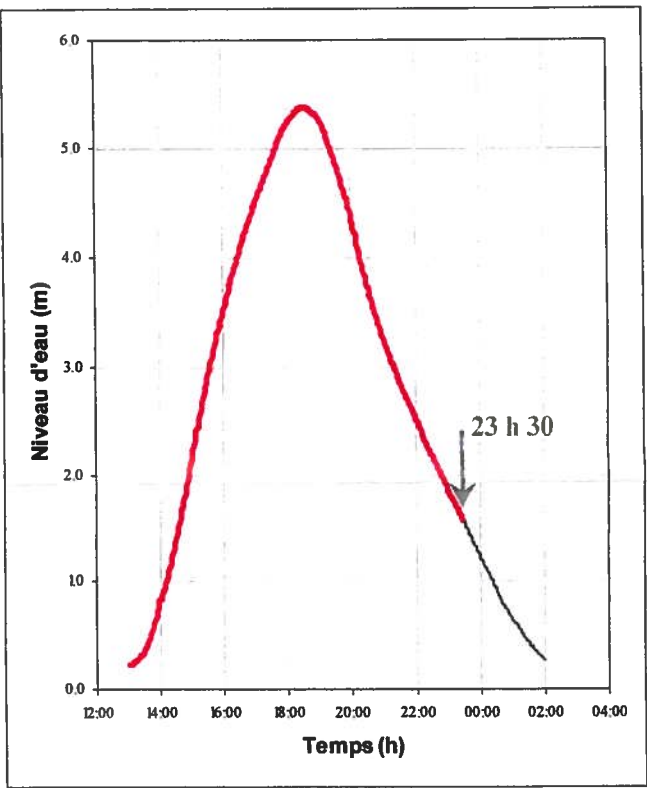
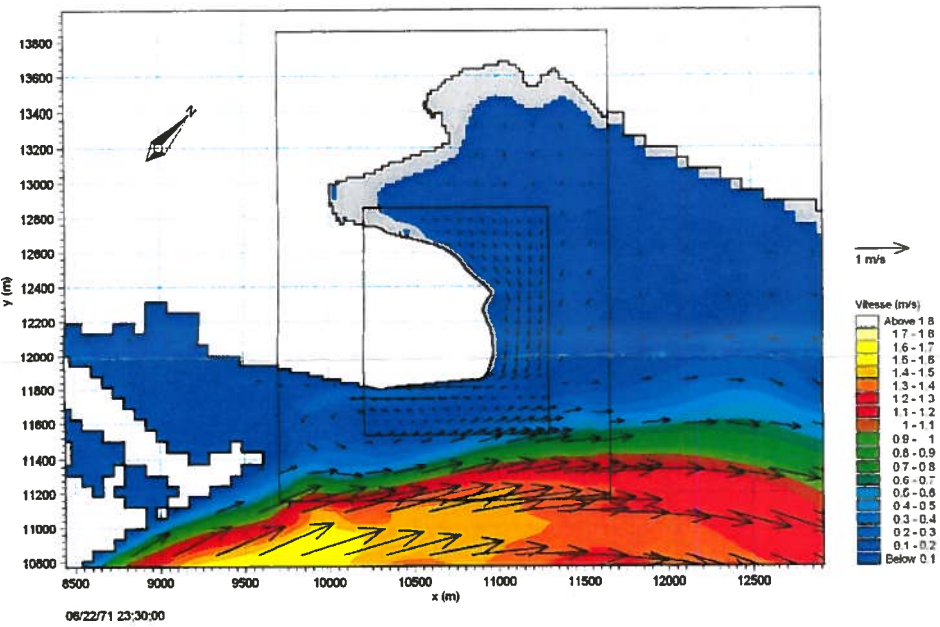
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures



PORT DE QUÉBEC
Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

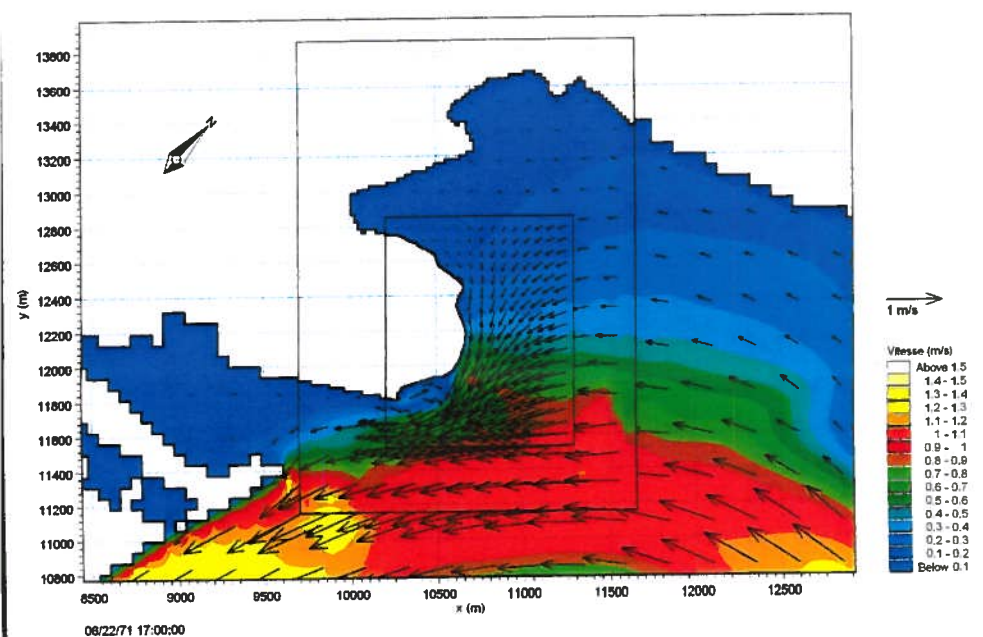
391-101

FIGURE :

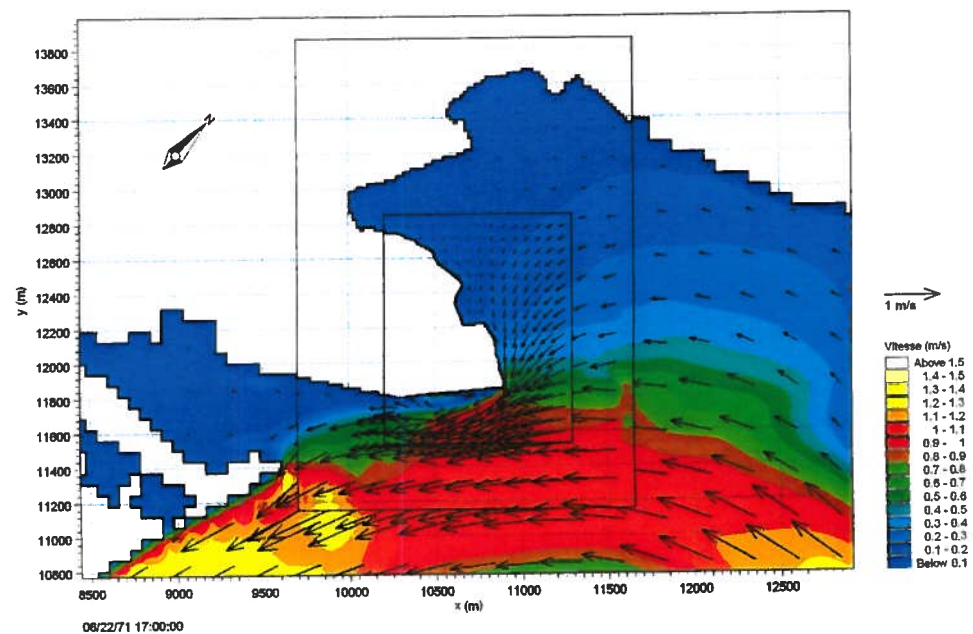
8f

Champs des courants de flot

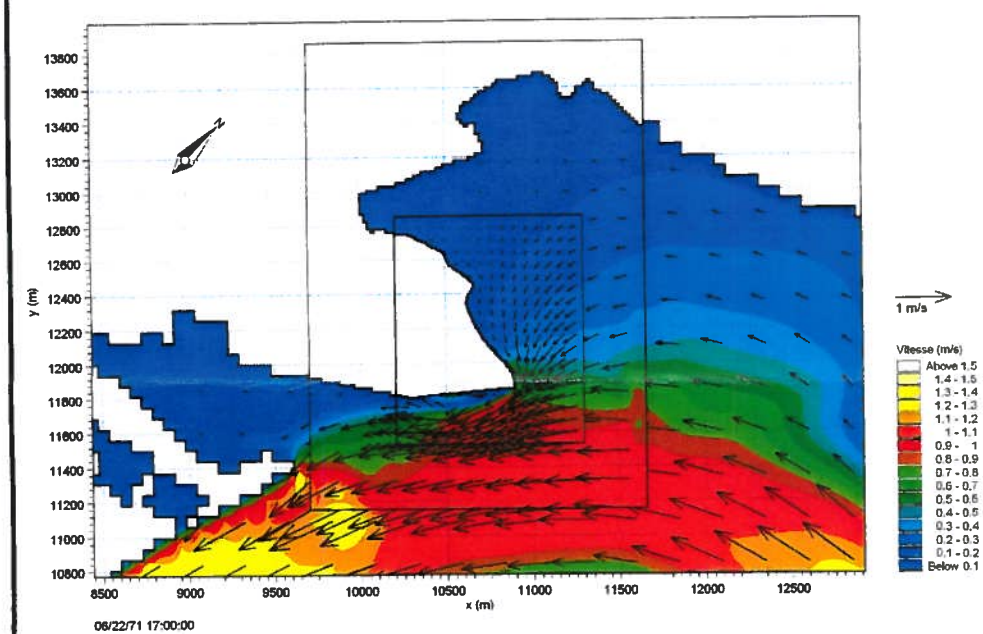
Conditions actuelles



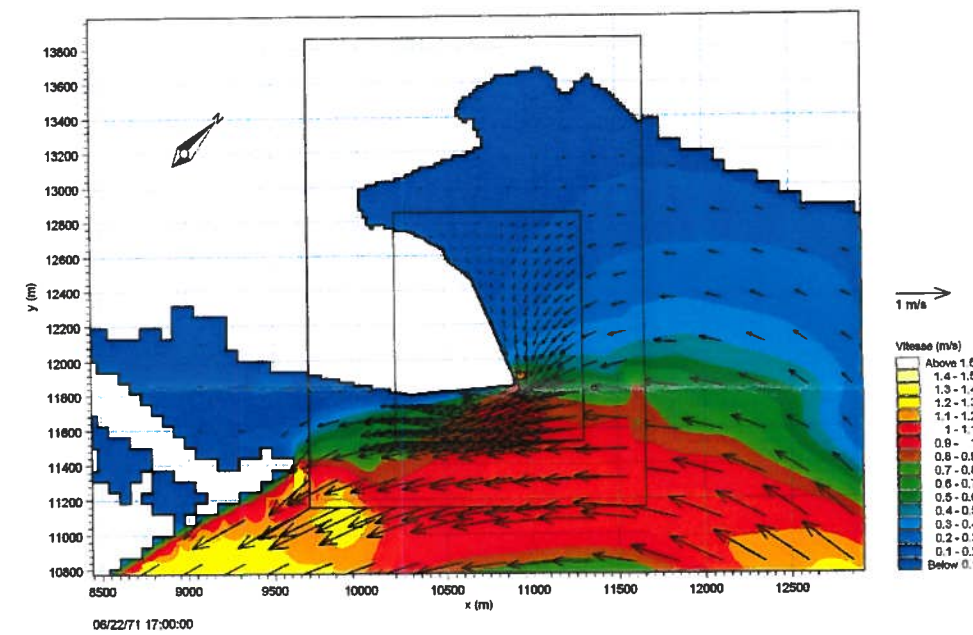
Conditions futures – Variante 1



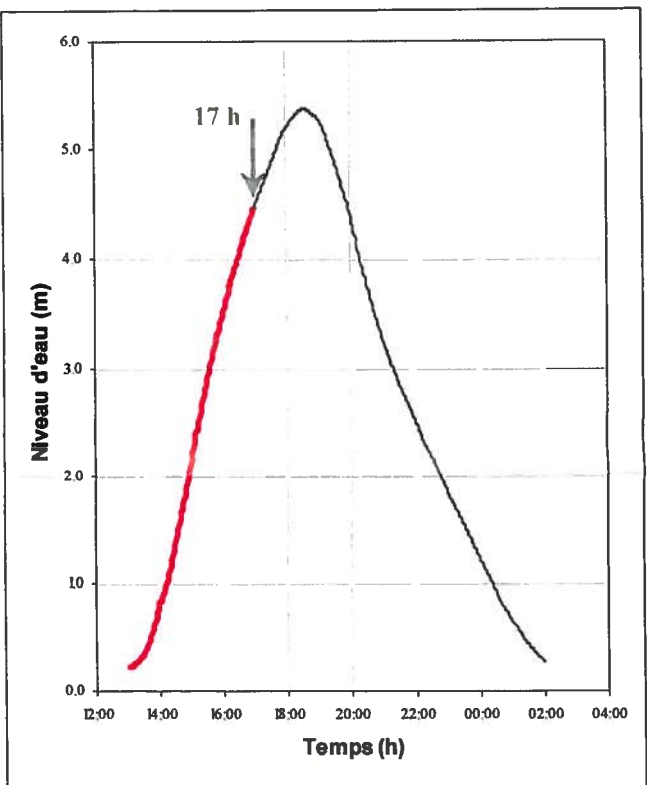
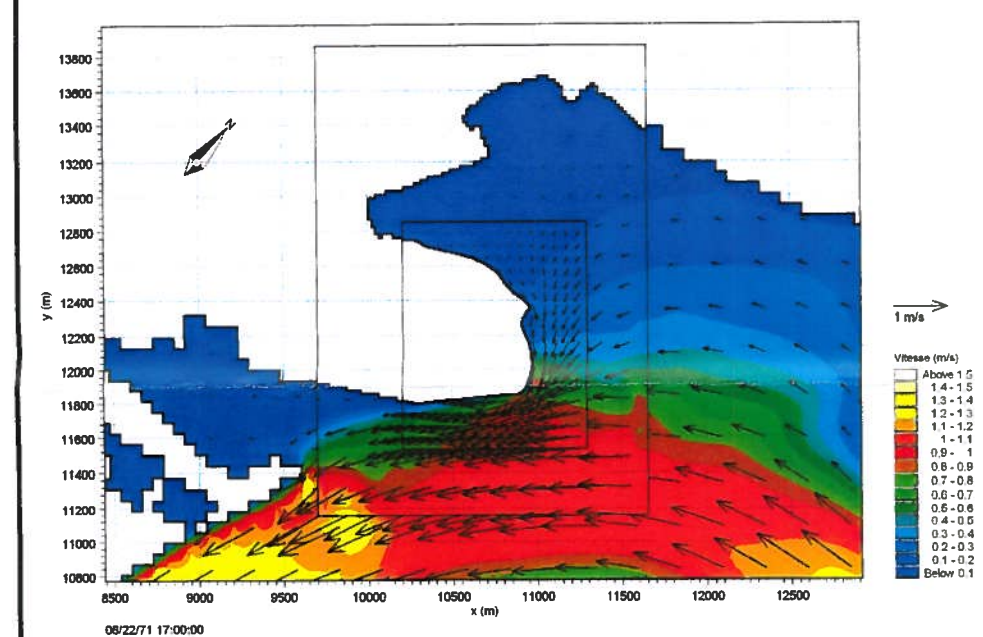
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

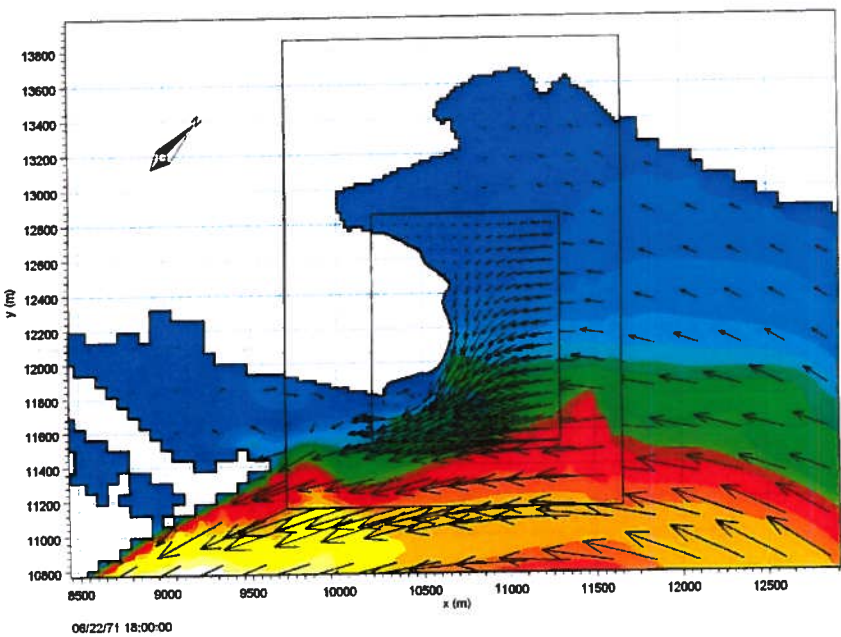
391-101

FIGURE :

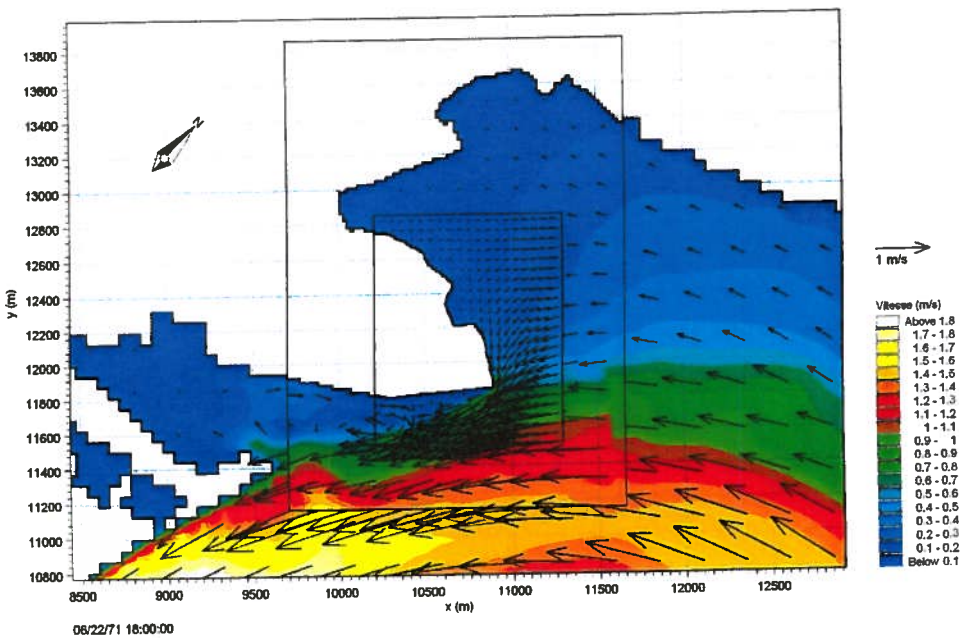
8b

Champs des courants de flot

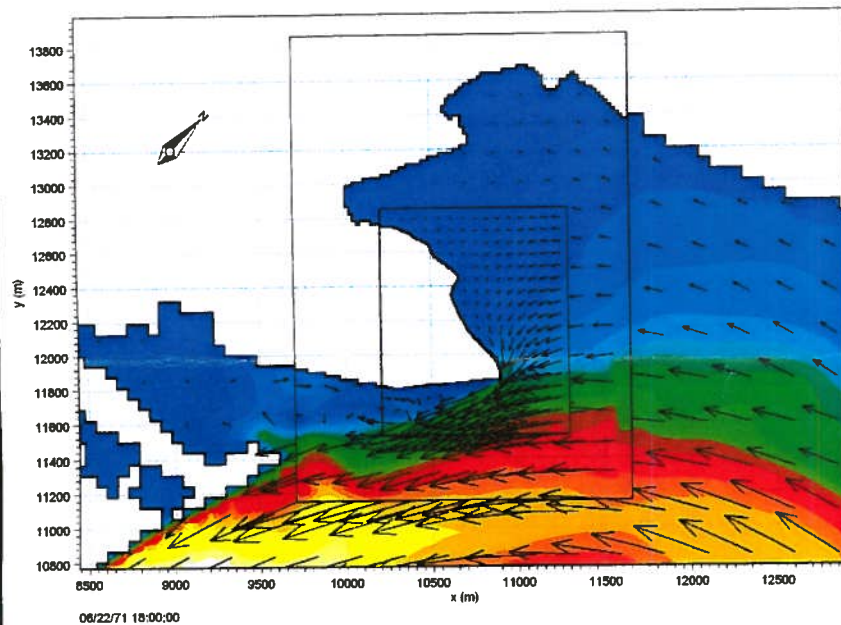
Conditions actuelles



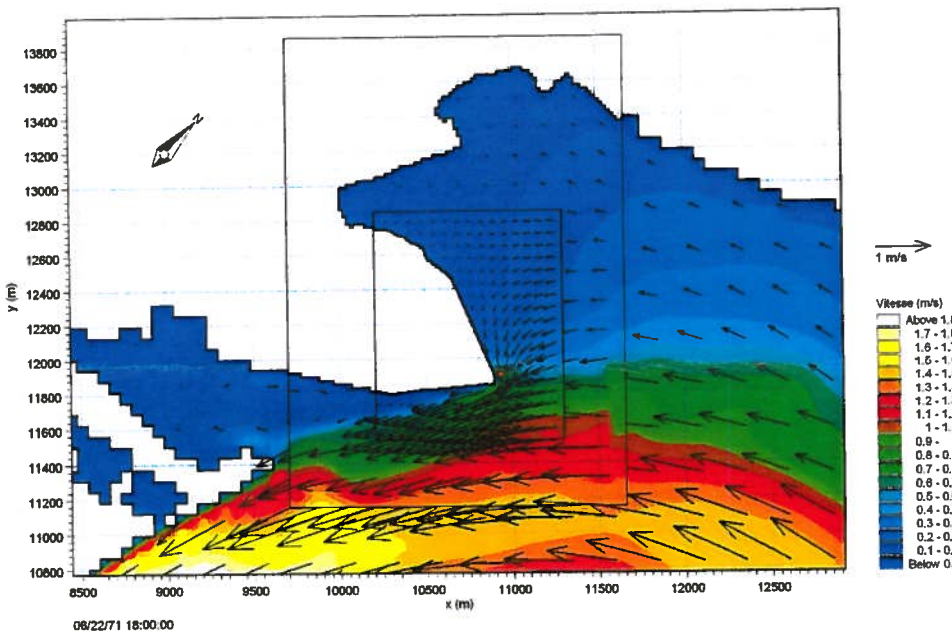
Conditions futures – Variante 1



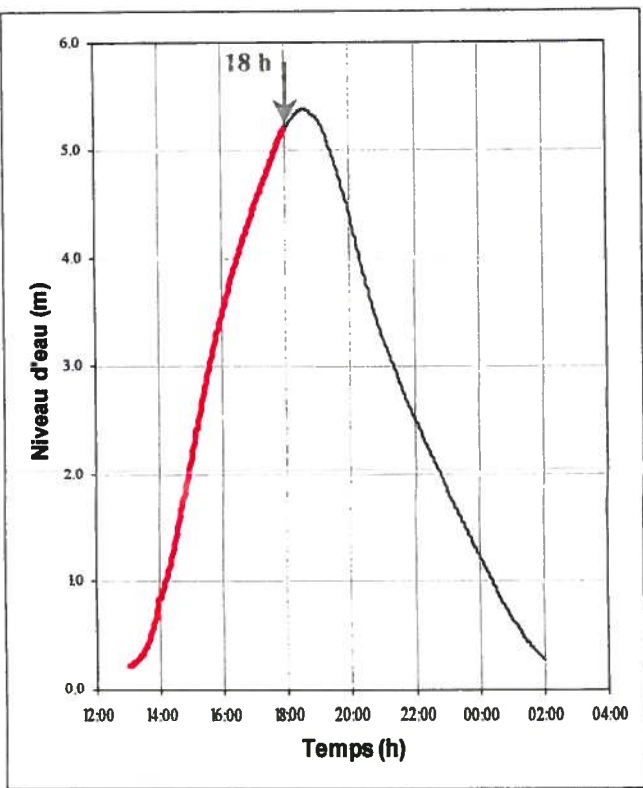
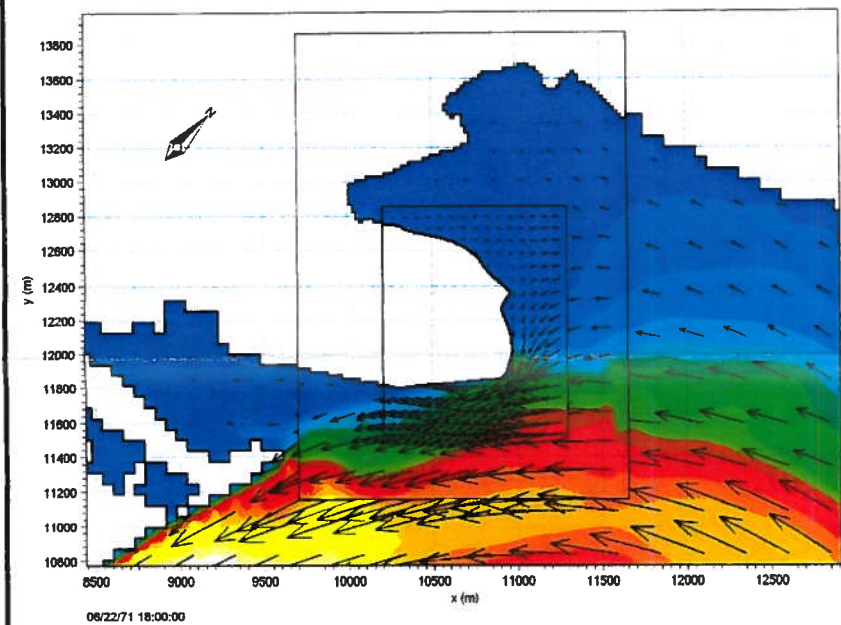
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures



PORT DE QUÉBEC
Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

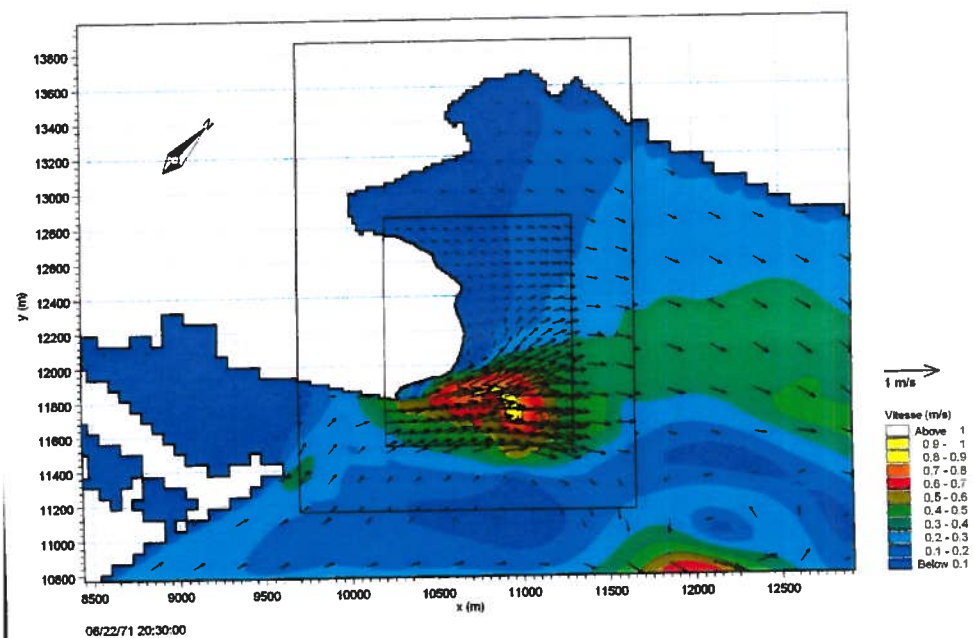
391-101

FIGURE :

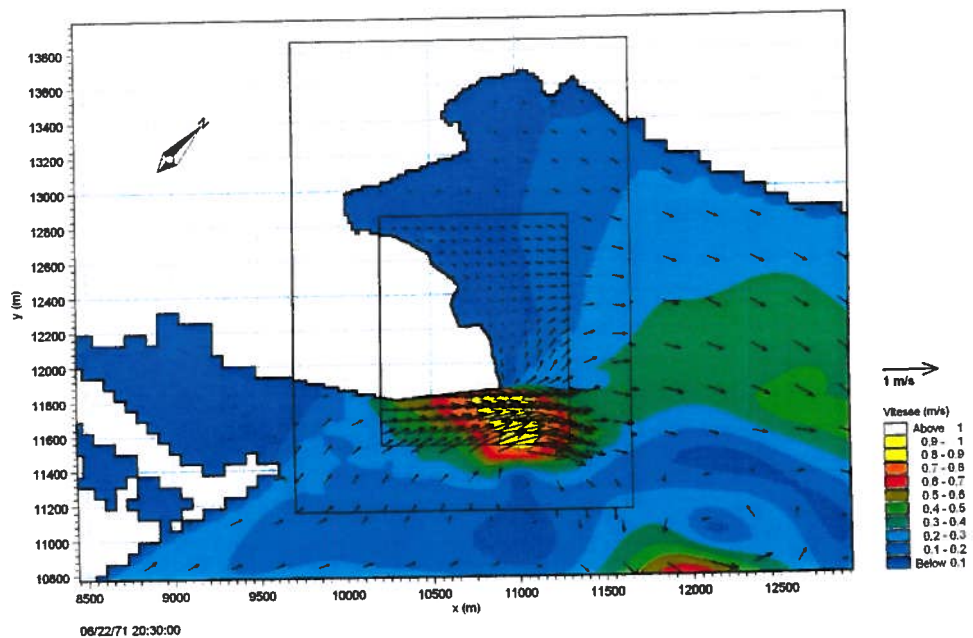
8c

Champs des courants de jusant

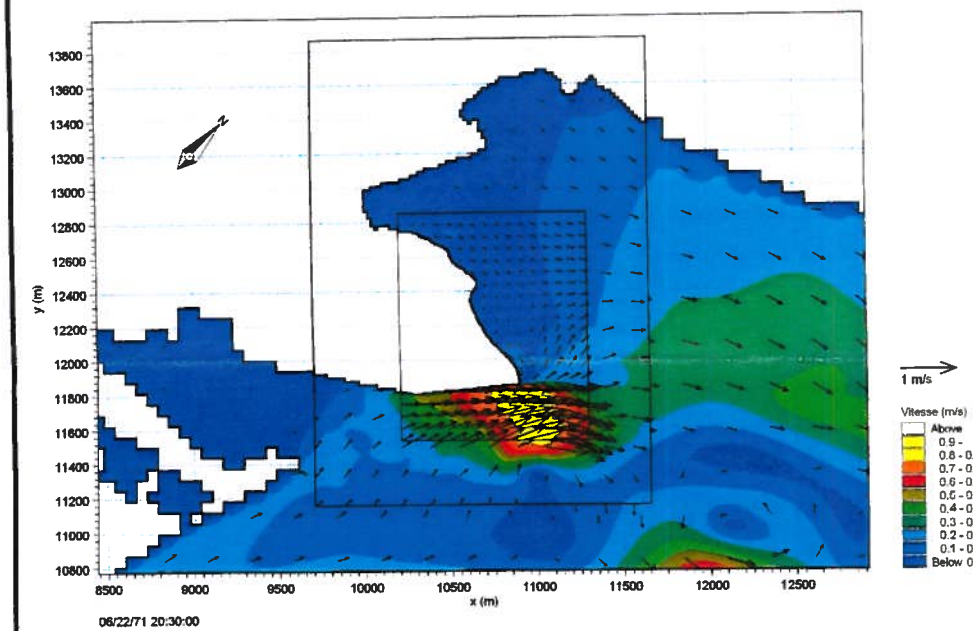
Conditions actuelles



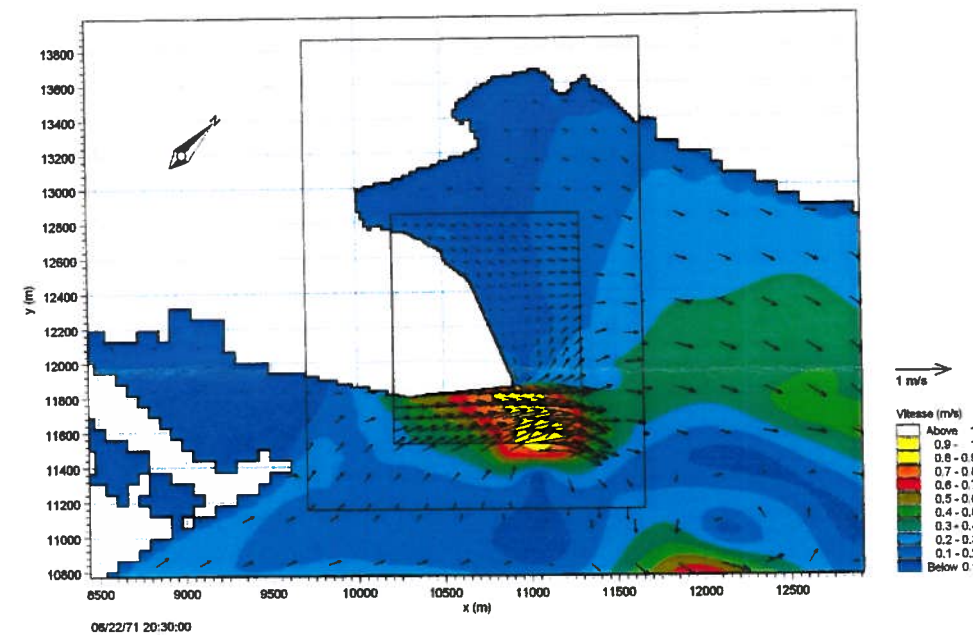
Conditions futures – Variante 1



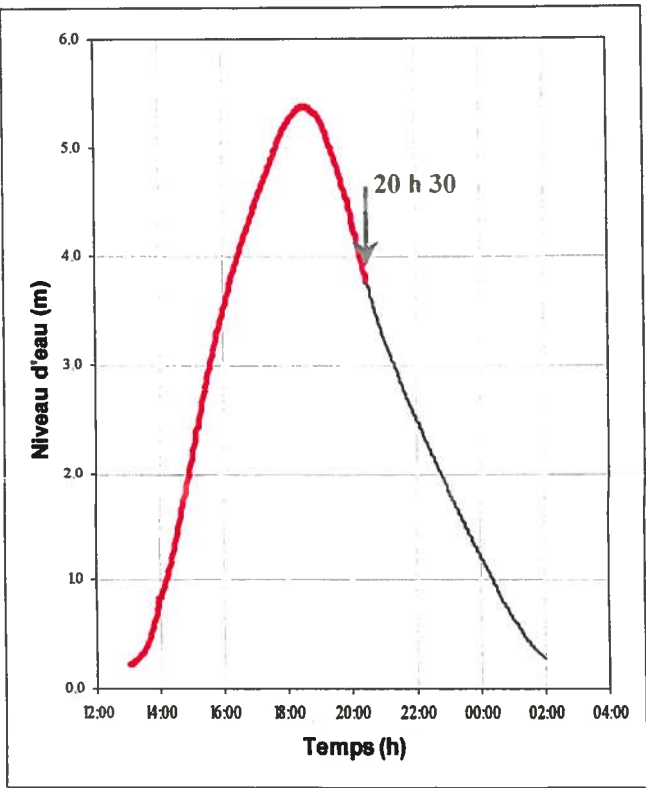
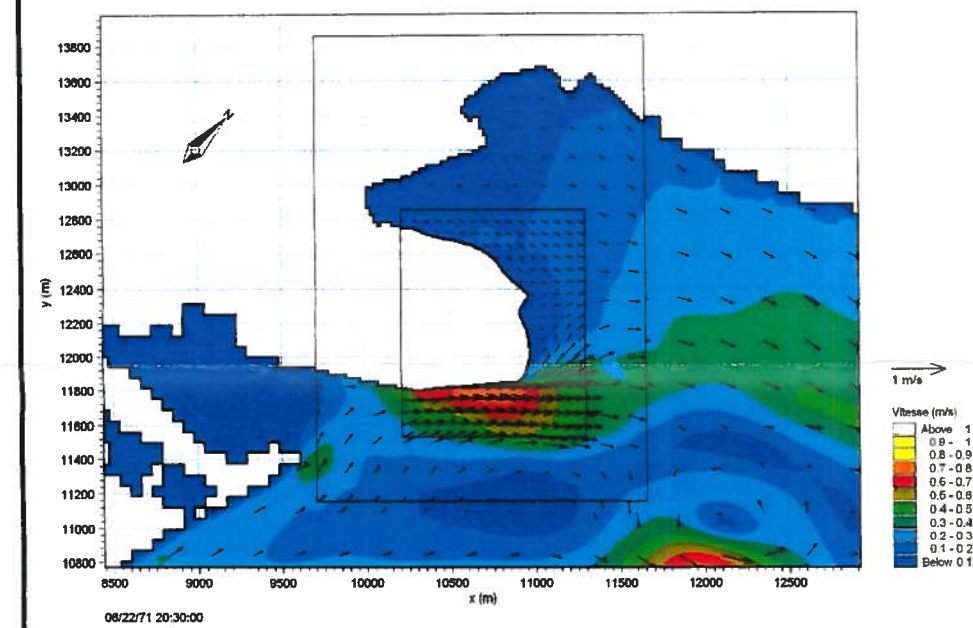
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC
Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

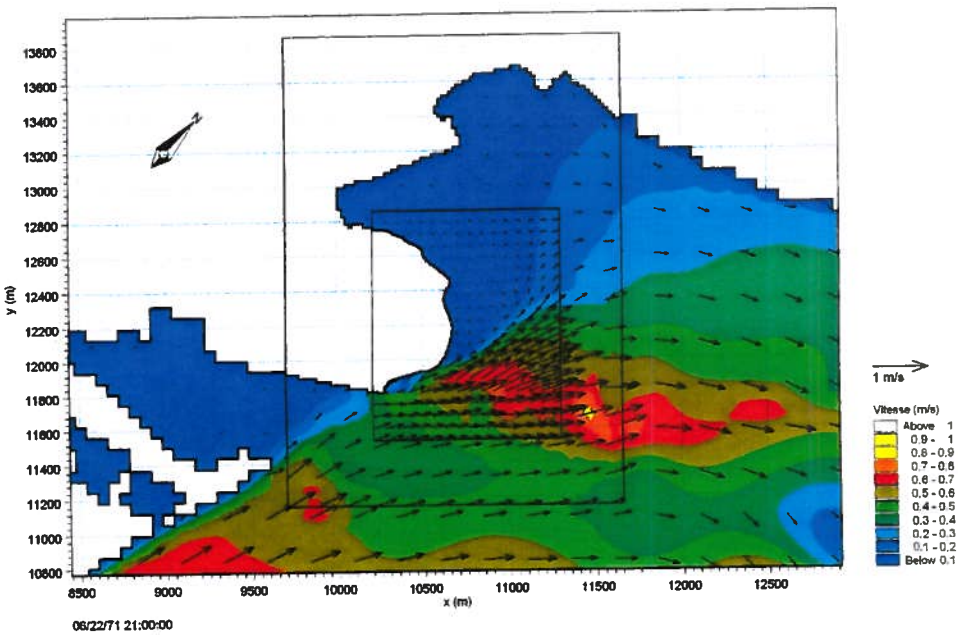
391-101

FIGURE :

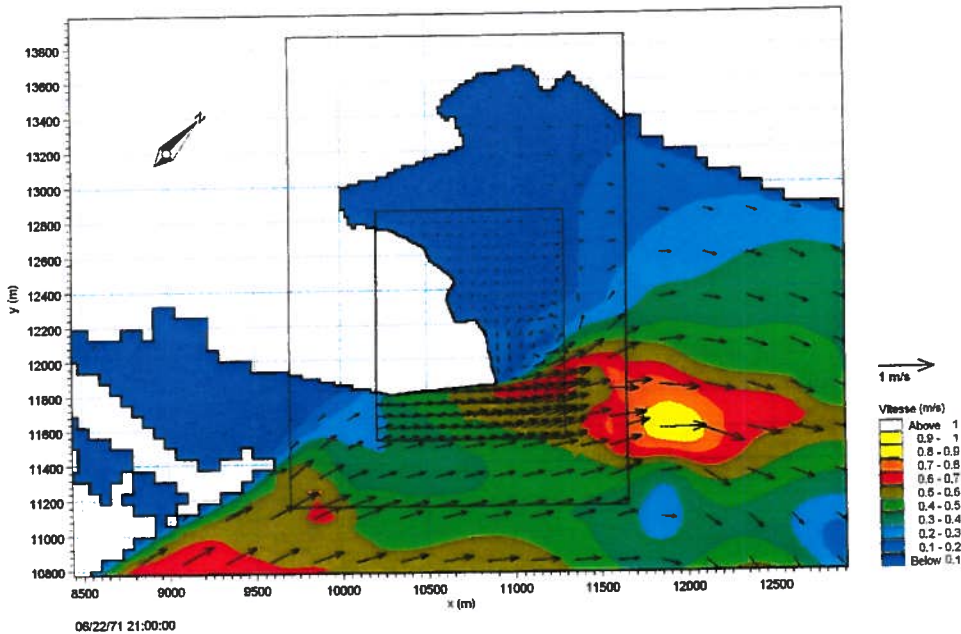
8d

Champs des courants de jusant

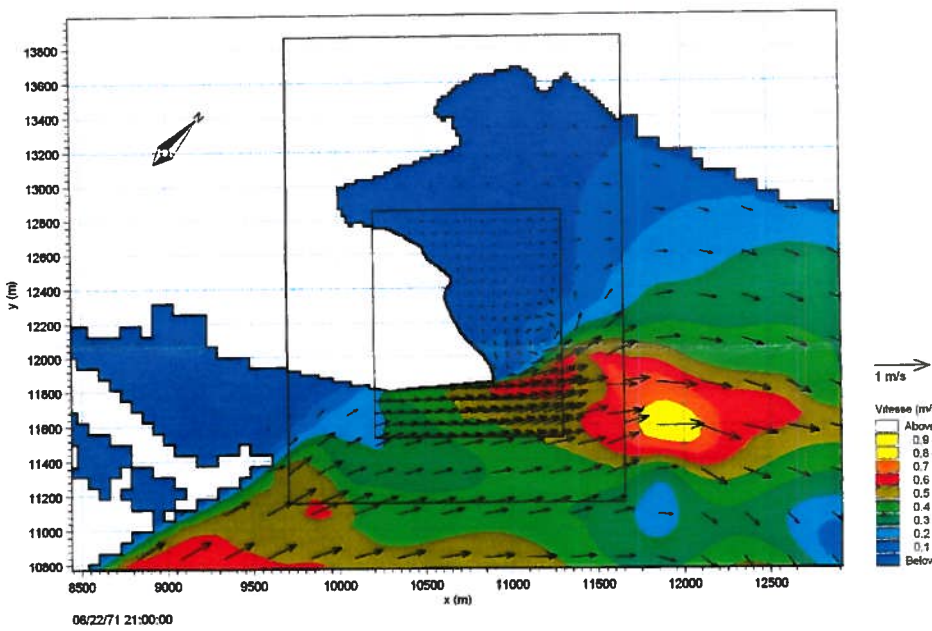
Conditions actuelles



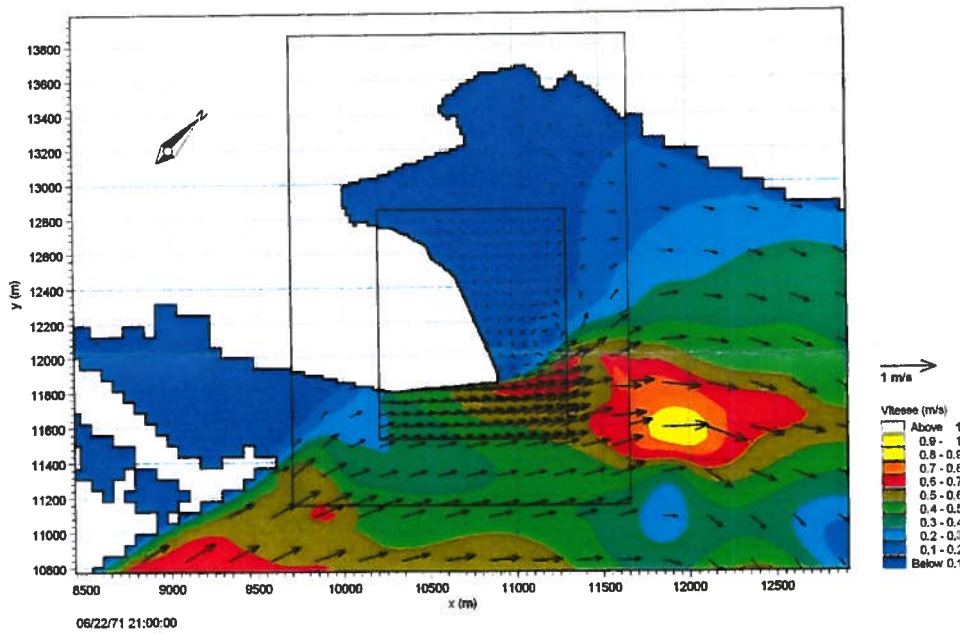
Conditions futures – Variante 1



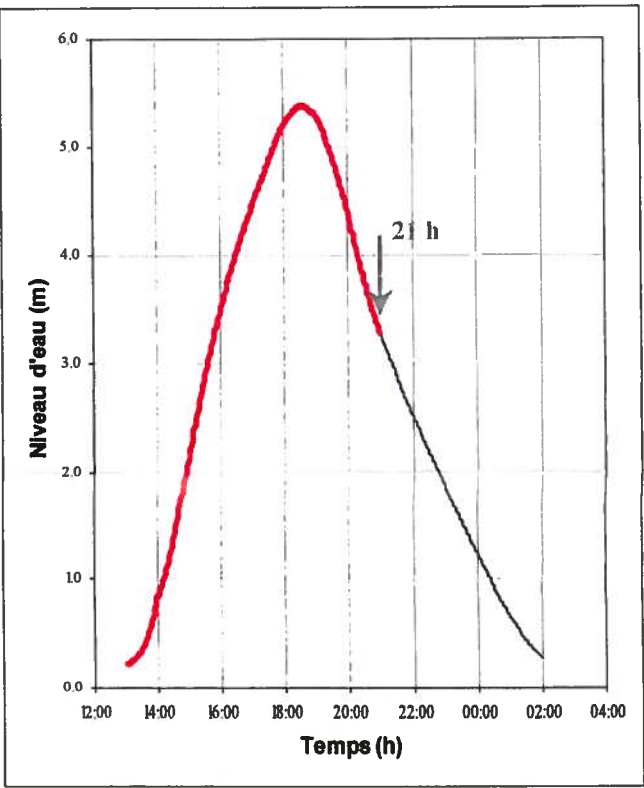
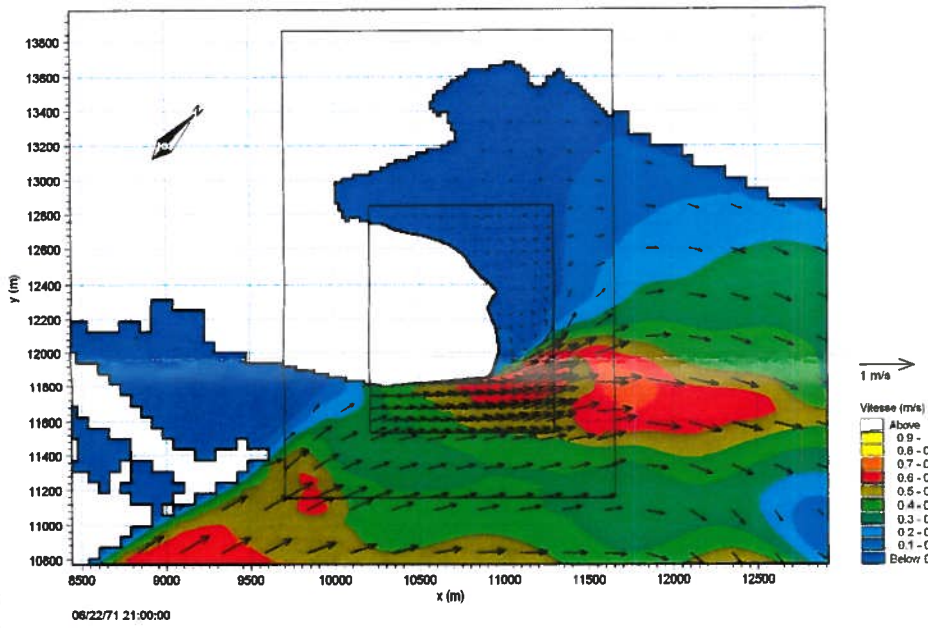
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC
Canada

TITRE :
Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

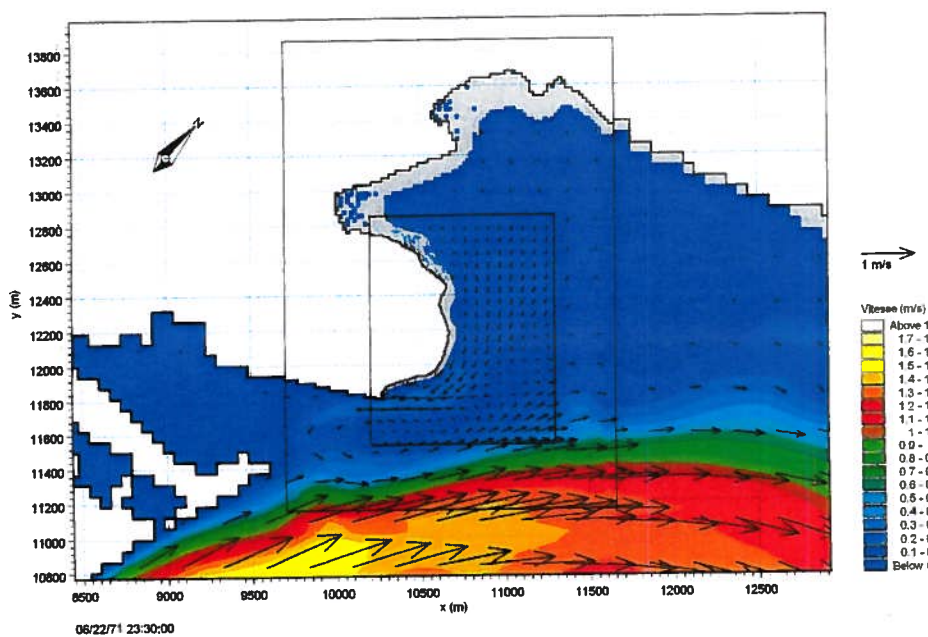
391-101

FIGURE :

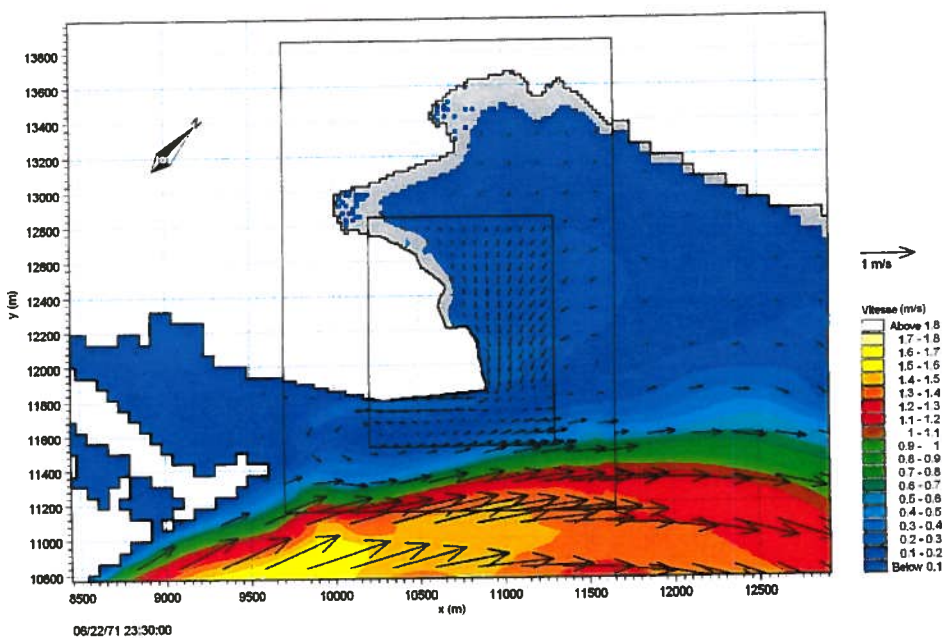
8e

Champs des courants de jusant

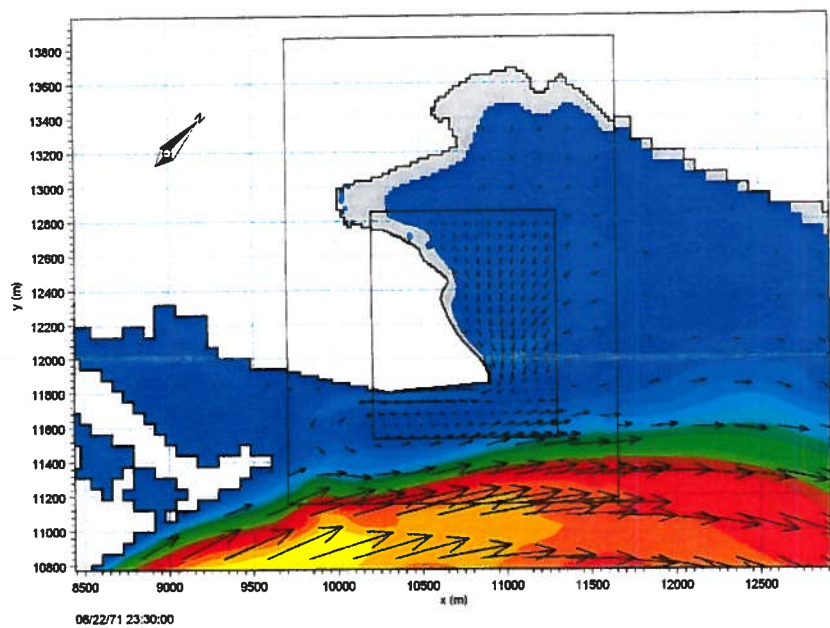
Conditions actuelles



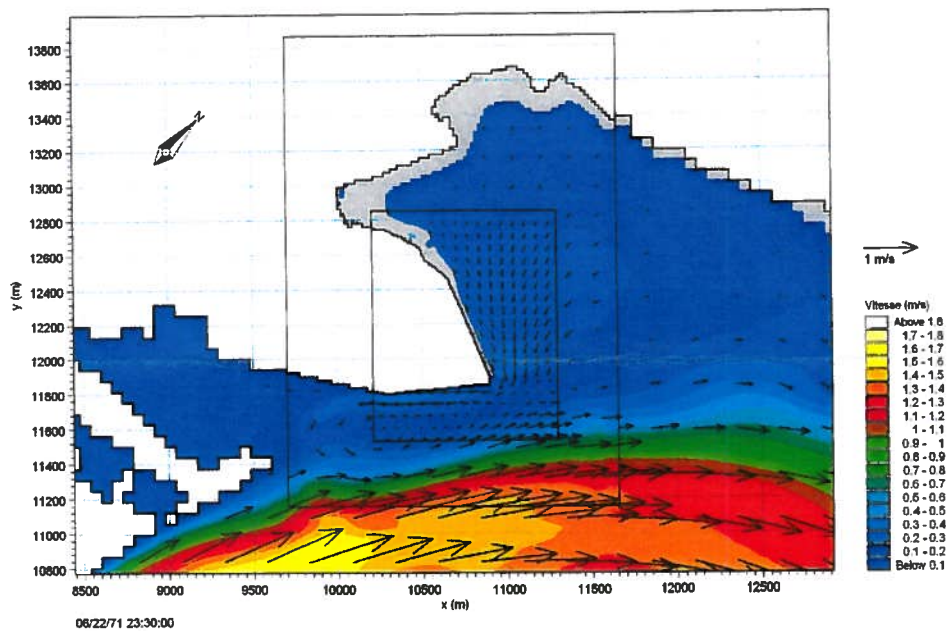
Conditions futures – Variante 1



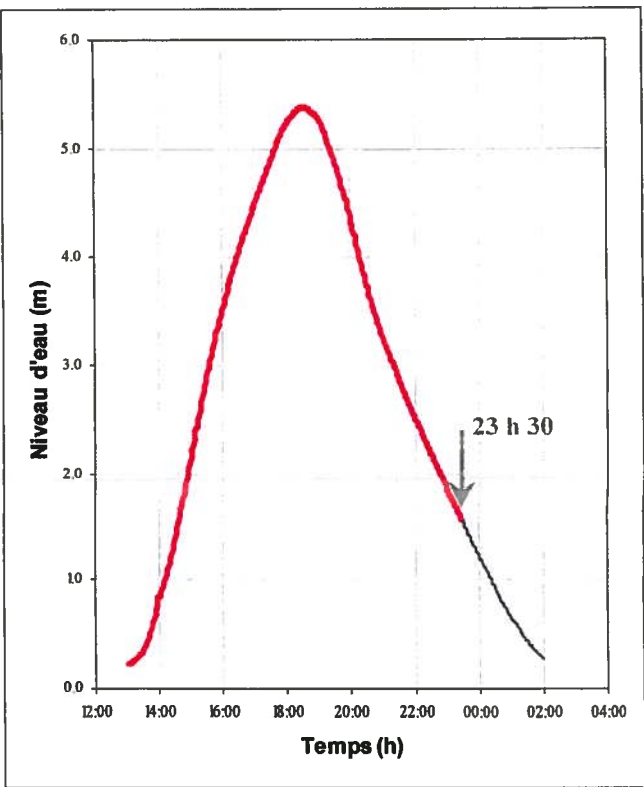
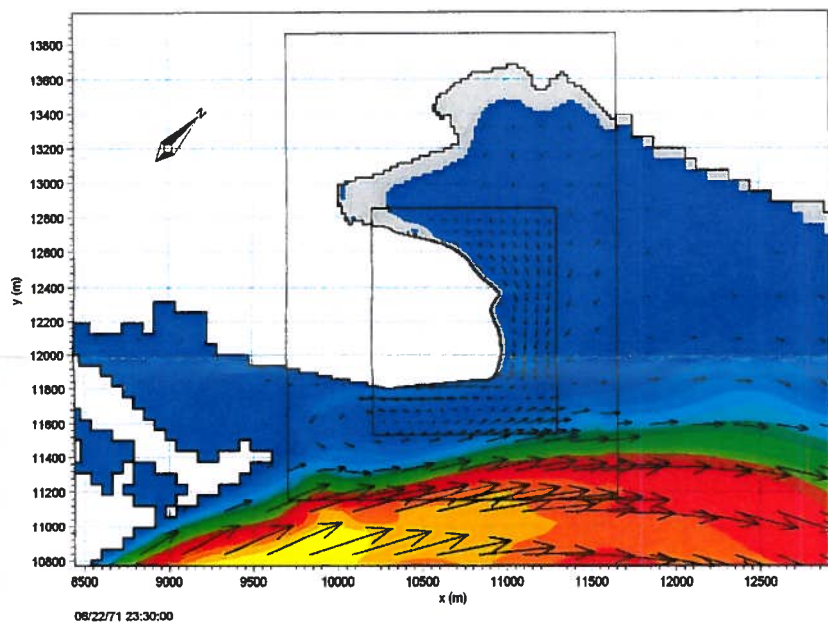
Conditions futures – Variante 2



Conditions futures – Variante 3



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :

Courants de marée de vive-eau dans les conditions actuelles et futures



PORT DE QUÉBEC

Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

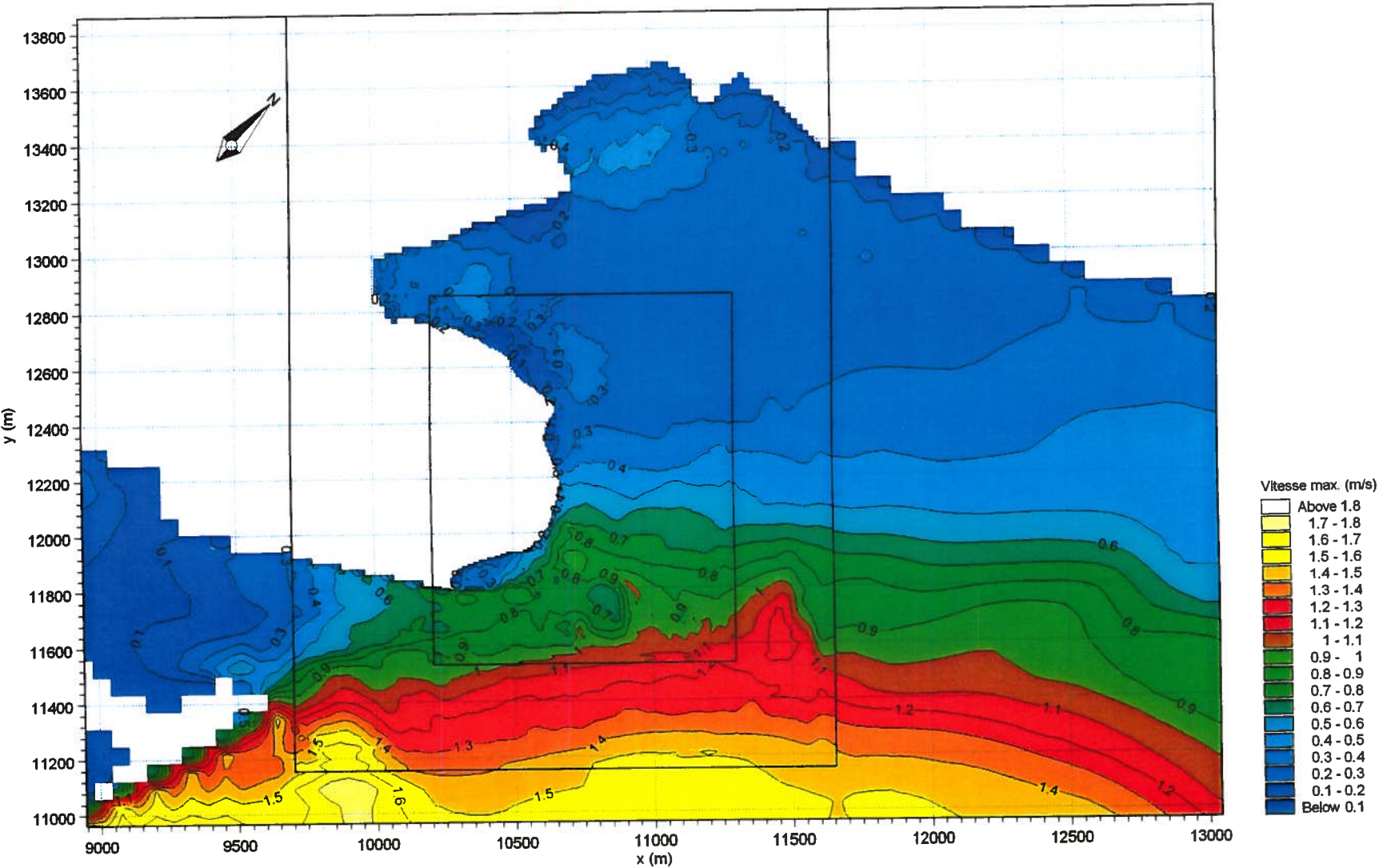
REF. LASALLE :

391-101

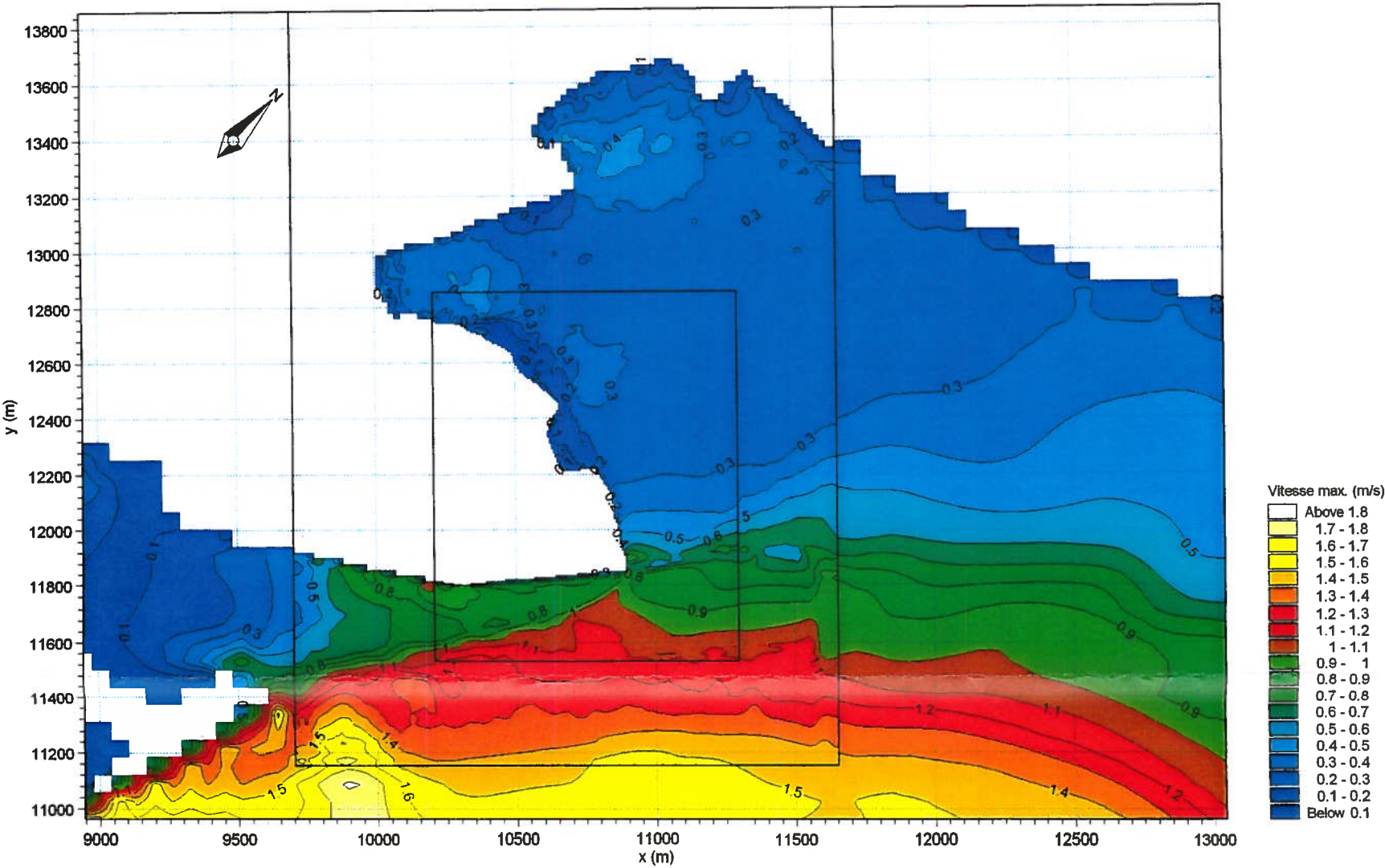
FIGURE :

8f

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 1



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :
Vitesses maximales atteintes en vive-eau dans les conditions actuelles et futures (Variante 1)



PORT DE QUÉBEC
Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

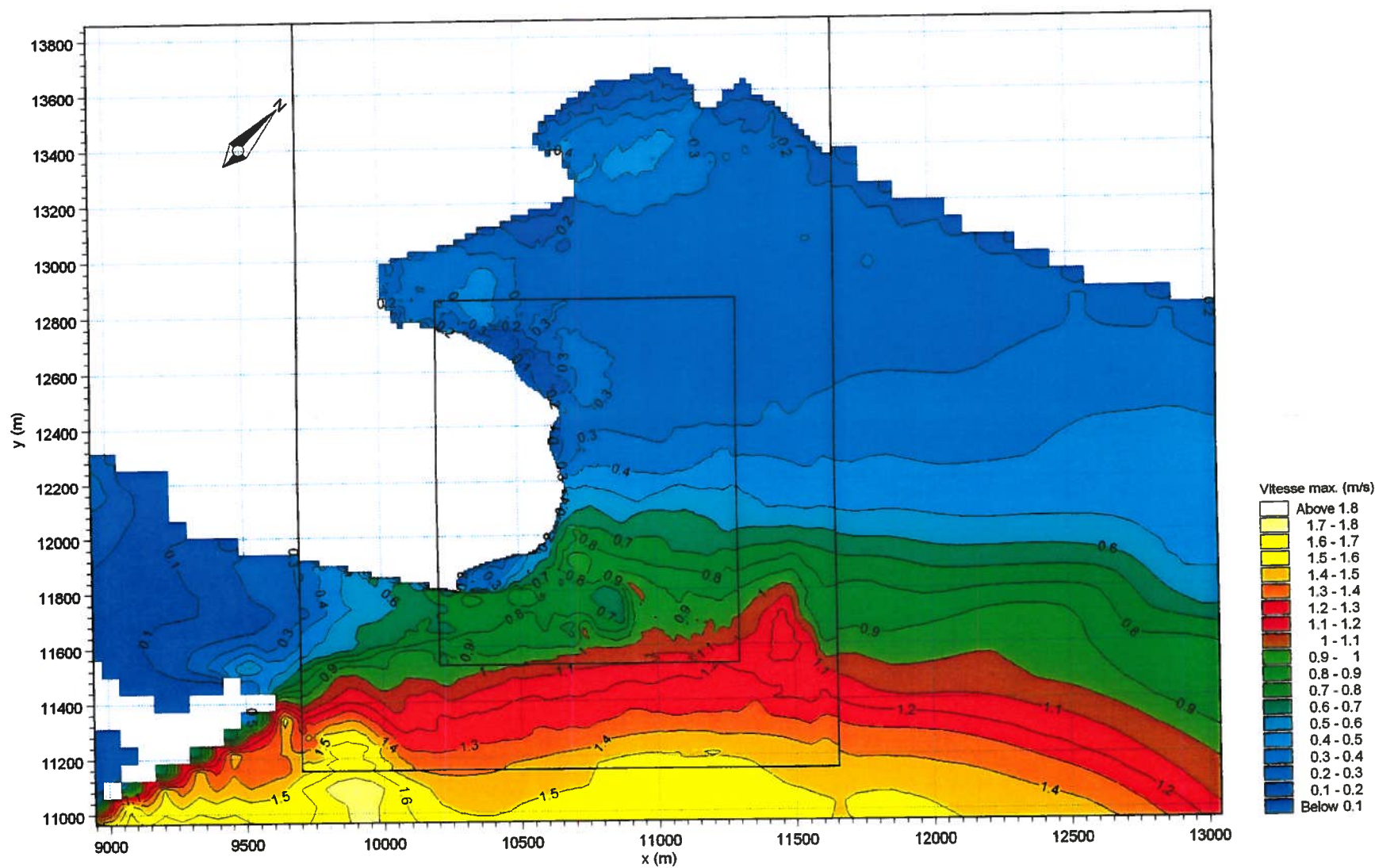
REF. LASALLE :

391-101

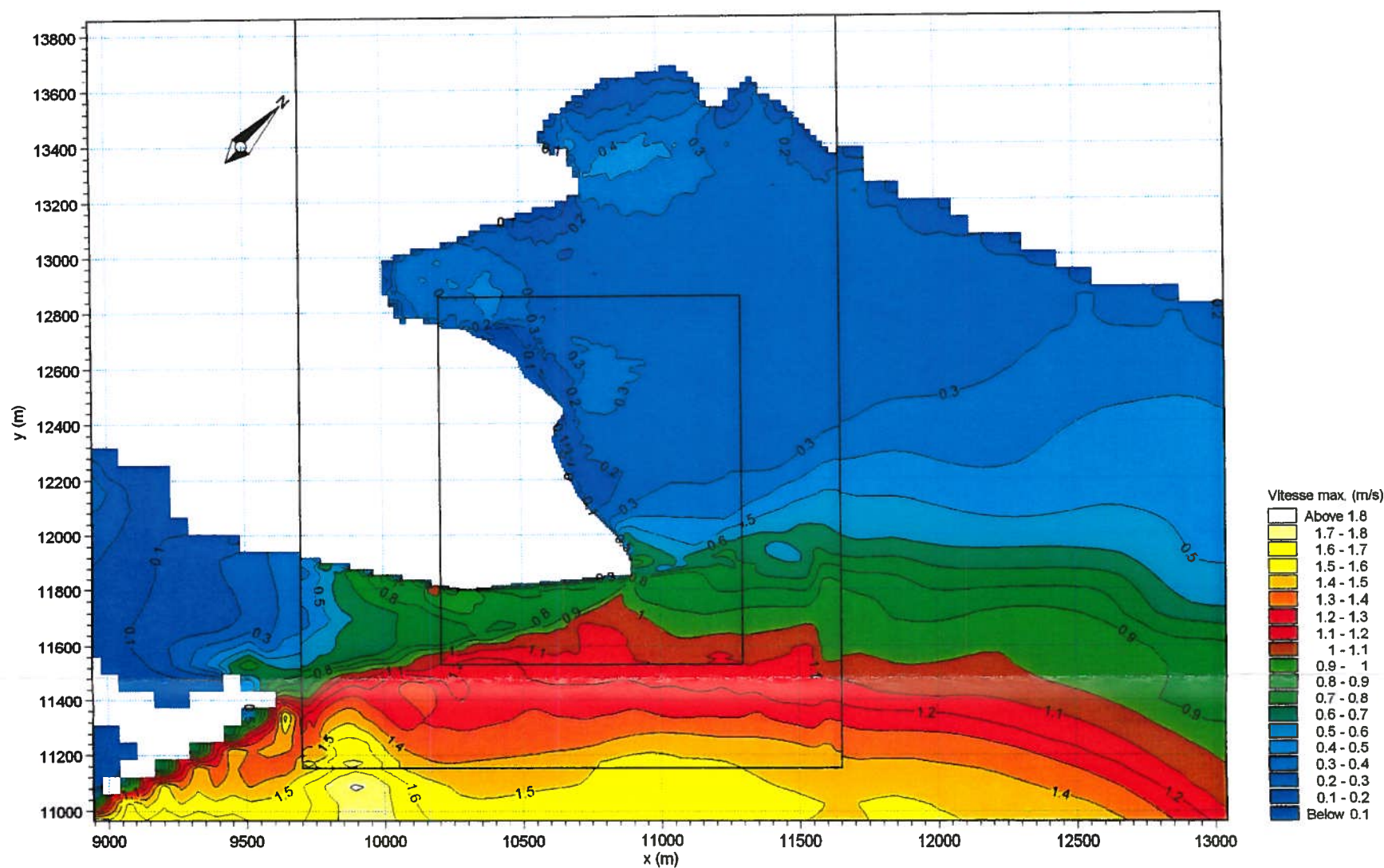
FIGURE :

9a

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 2



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :
Vitesses maximales atteintes en vive-eau dans les conditions actuelles et futures (Variante 2)



PORT DE QUÉBEC
Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

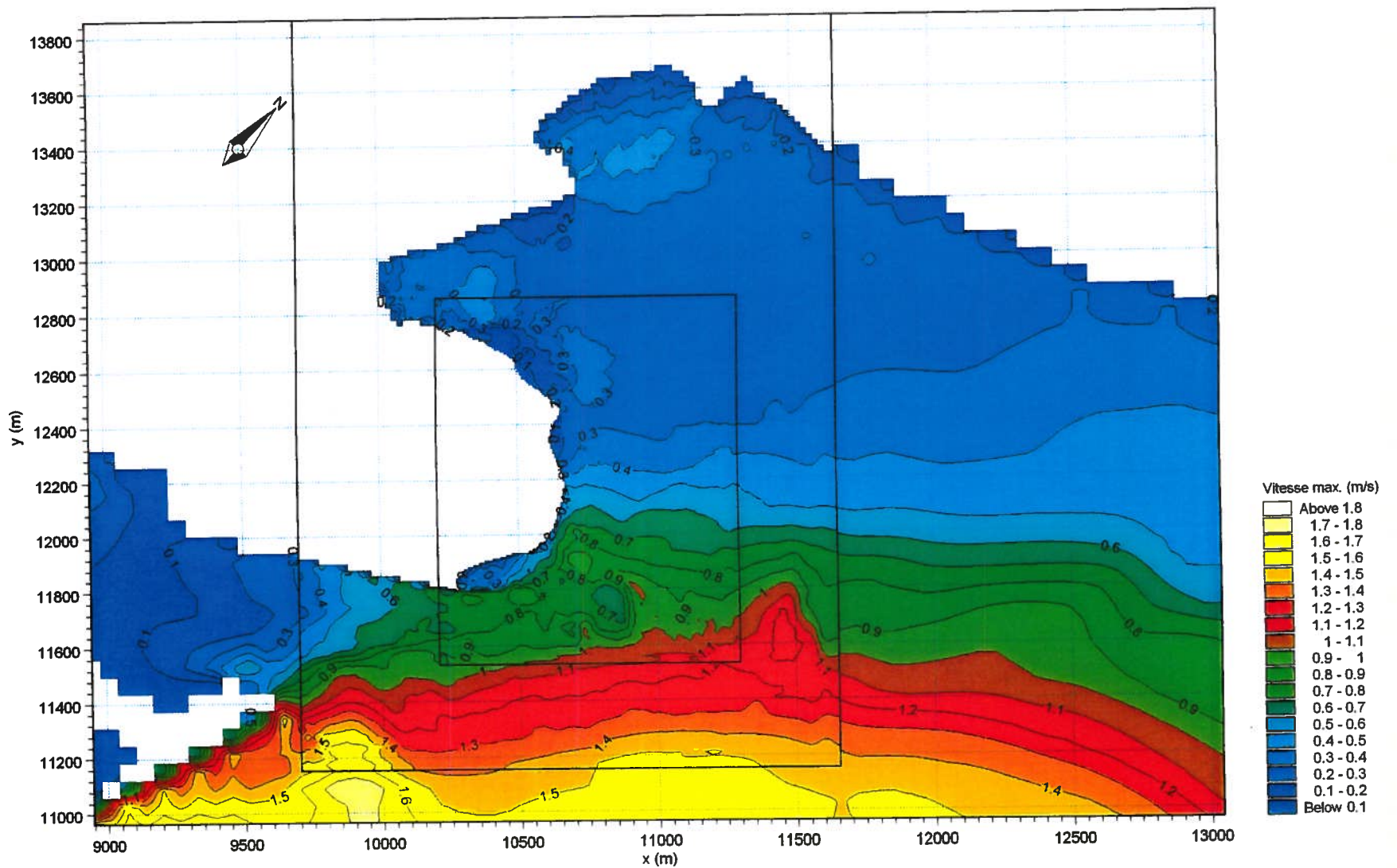
REF. LASALLE :

391-101

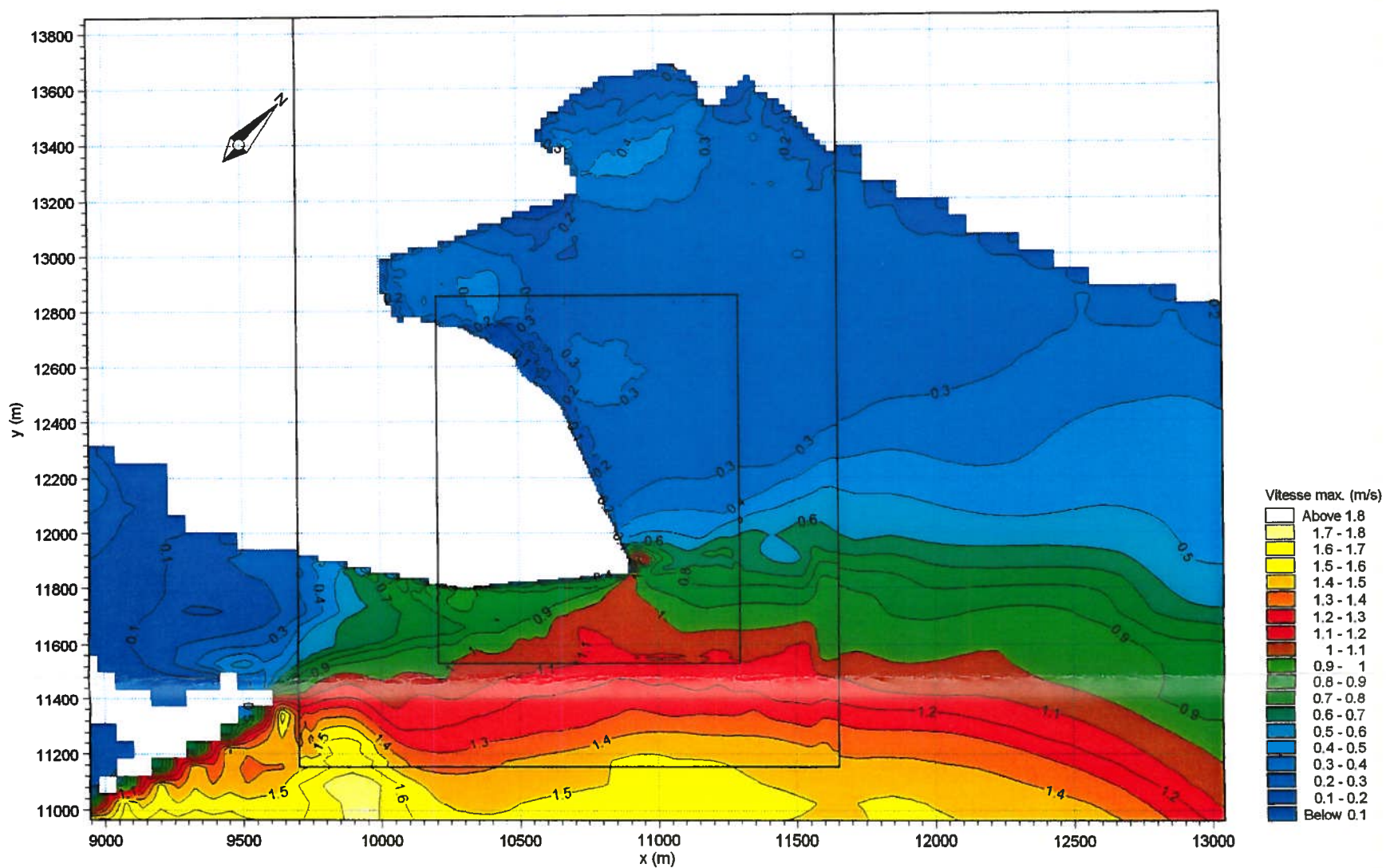
FIGURE :

9b

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 3



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :

Vitesses maximales atteintes en vive-eau dans les conditions actuelles et futures (Variante 3)



PORT DE QUÉBEC

Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

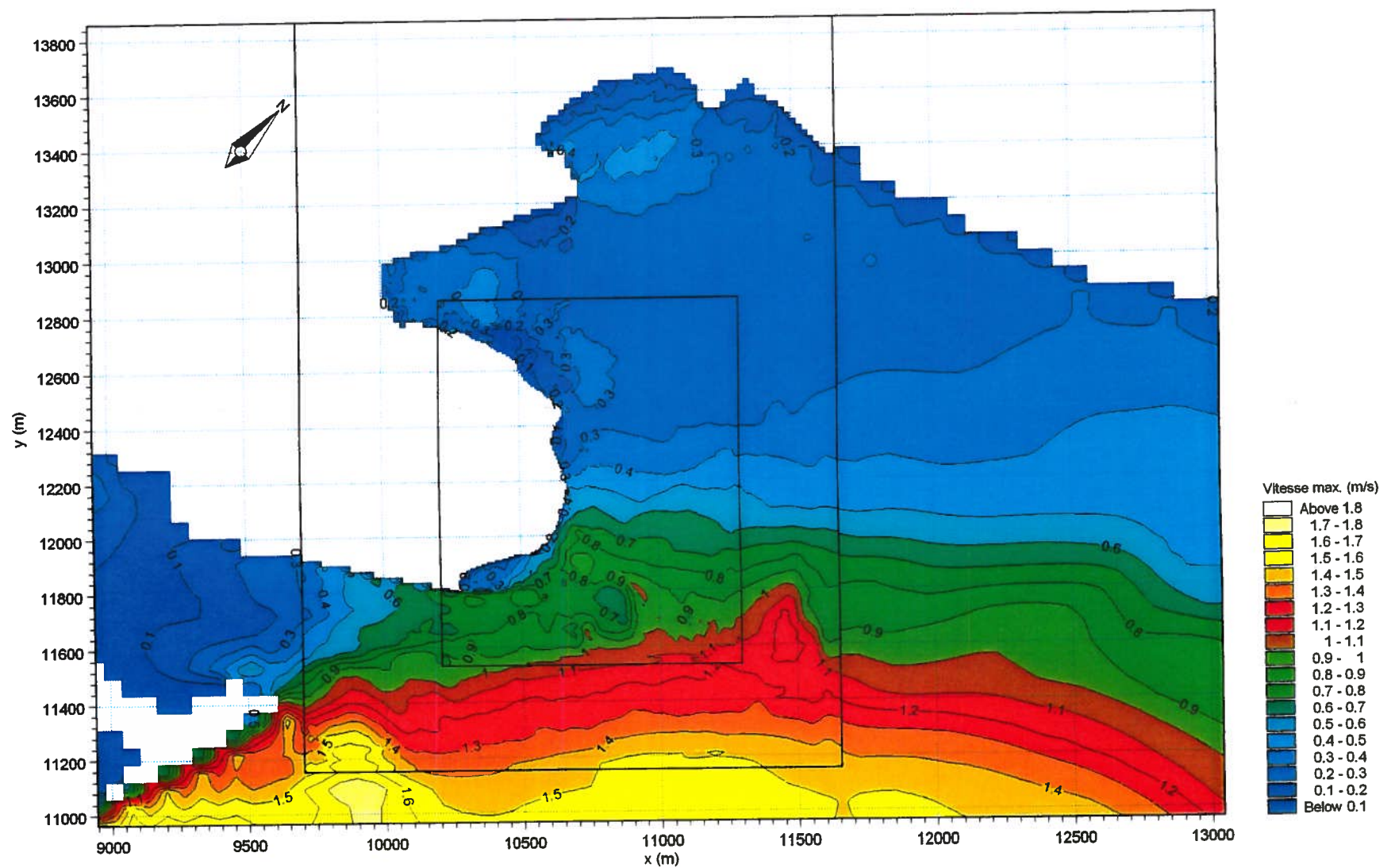
REF. LASALLE :

391-101

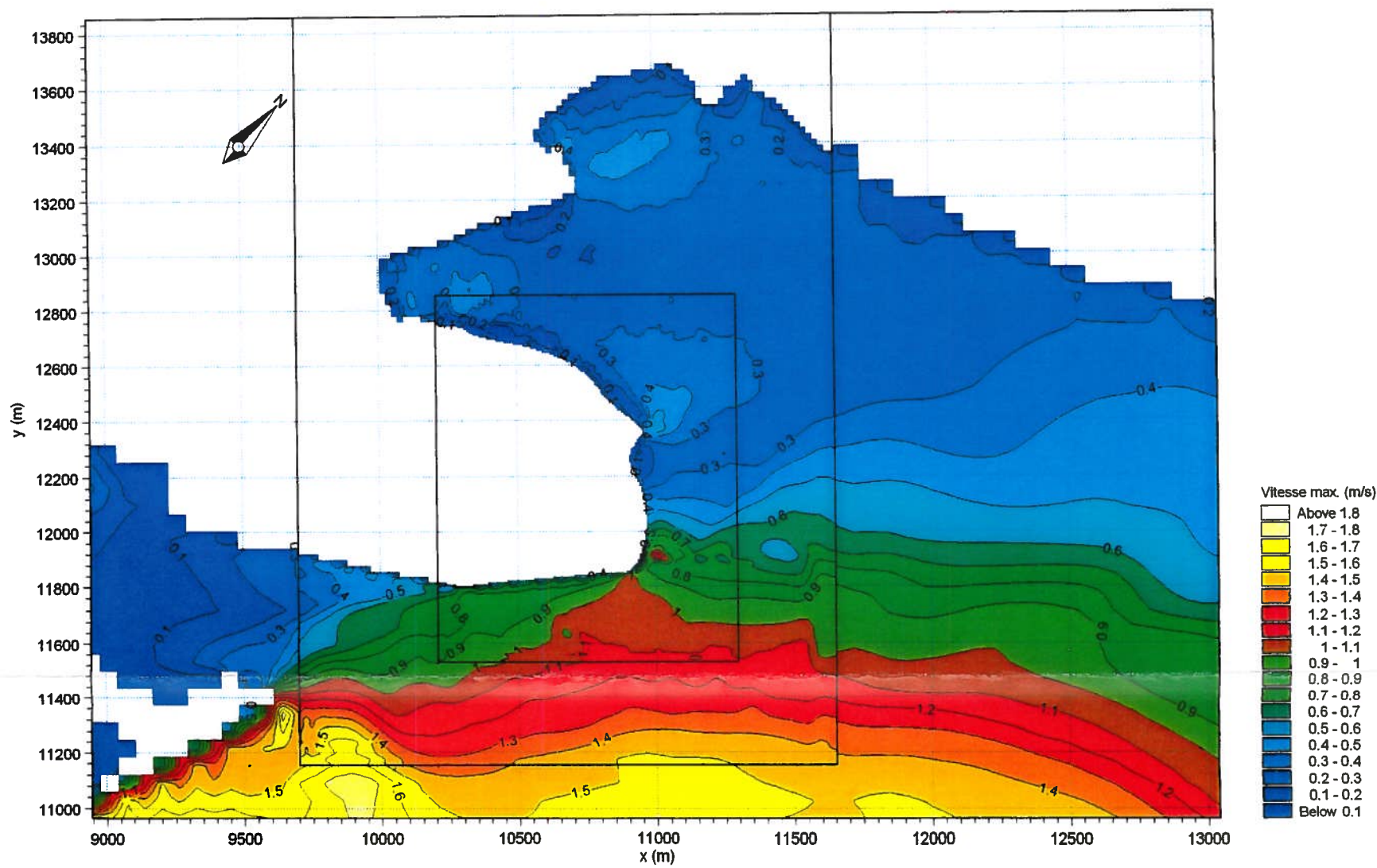
FIGURE :

9c

Conditions actuelles



Conditions futures – Variante 4



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE
DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

TITRE :
Vitesses maximales atteintes en vive-eau dans les conditions actuelles et futures (Variante 4)

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

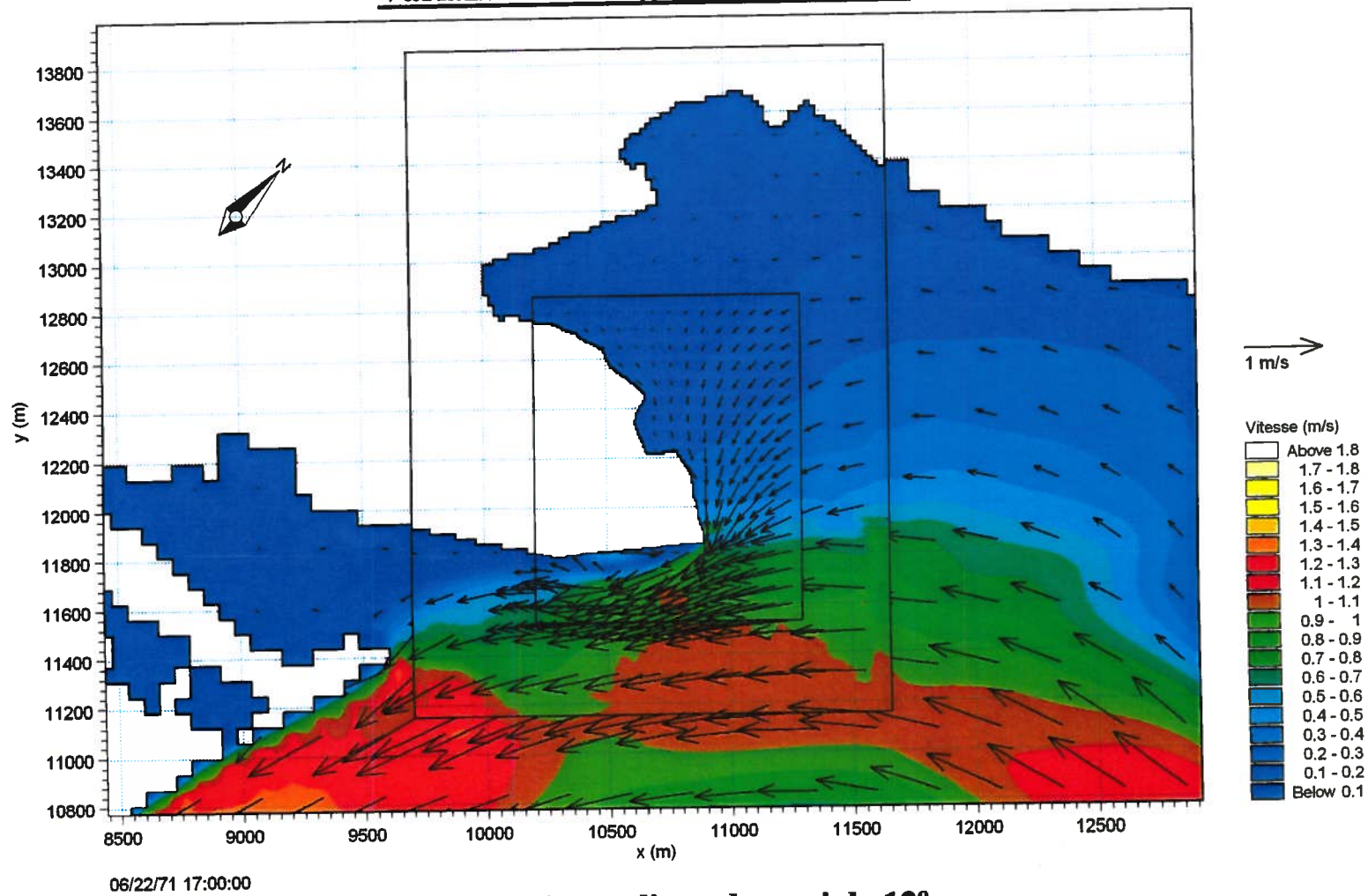
REF. LASALLE :

391-101

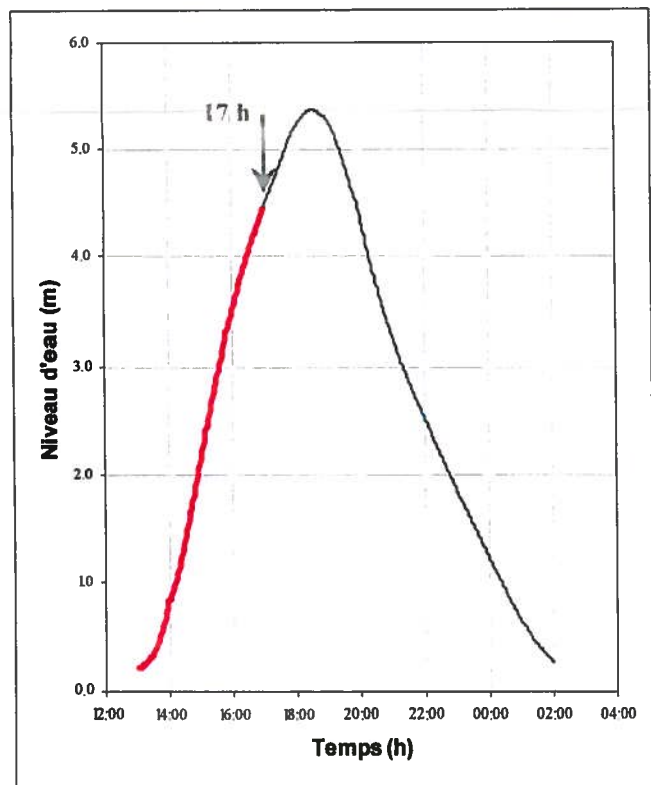
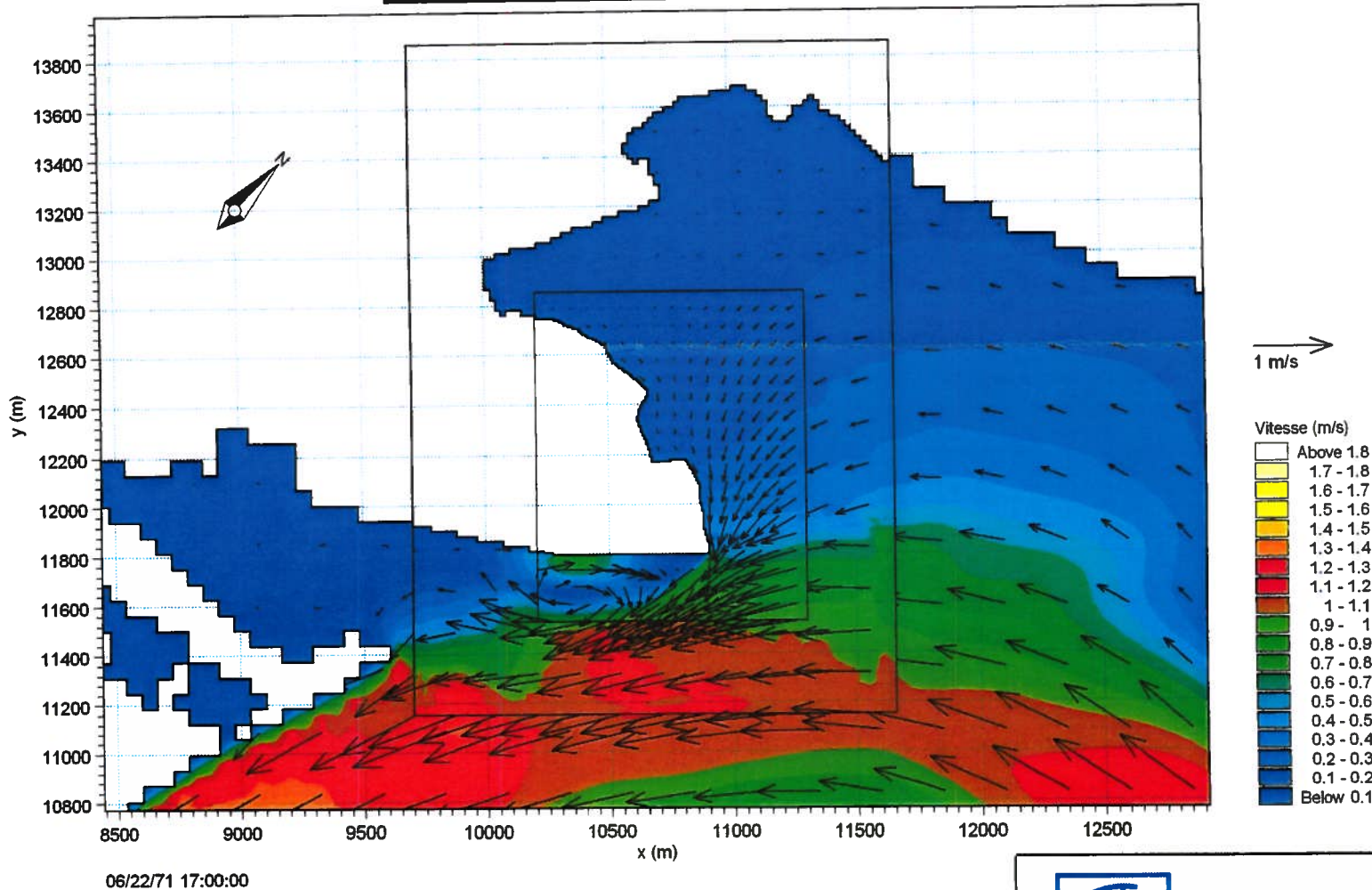
FIGURE :

9d

Variante 1 avec ligne de quai de 17°



Variante 1 avec ligne de quai de 12°



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET : **PORT DE QUÉBEC**
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE : **Influence de l'orientation de la ligne des nouveaux quais – Champs de vitesses au flot**

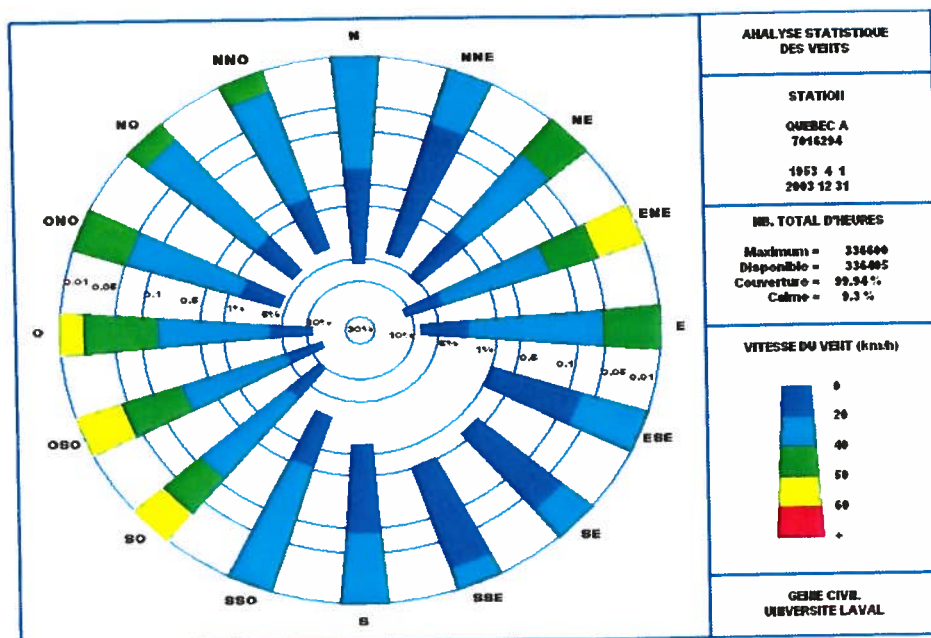
PRÉPARÉ PAR : **NH - MV**

REF. CLIENT : **J-4512**

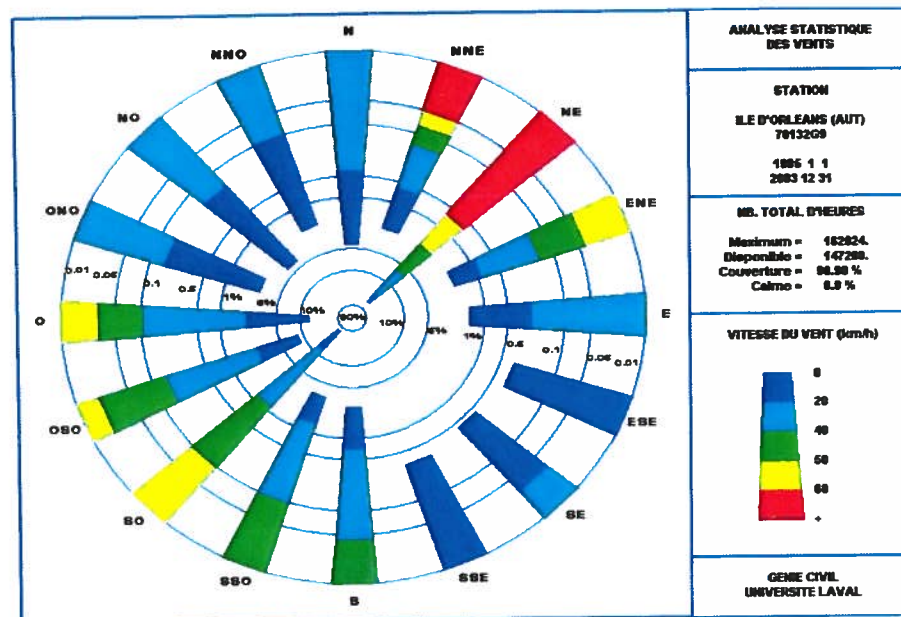
REF. LASALLE : **391-101**

DATE : **Avril 2006**

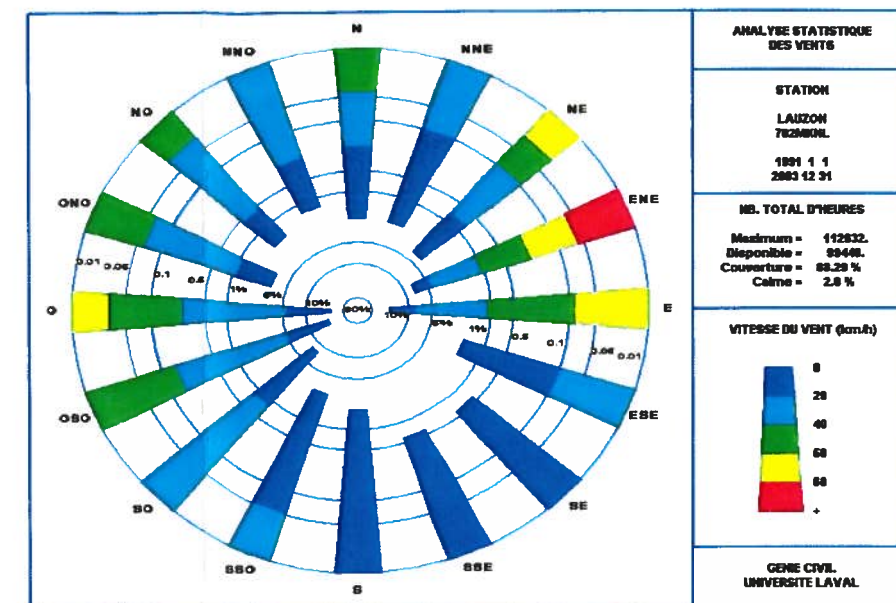
FIGURE : **10**



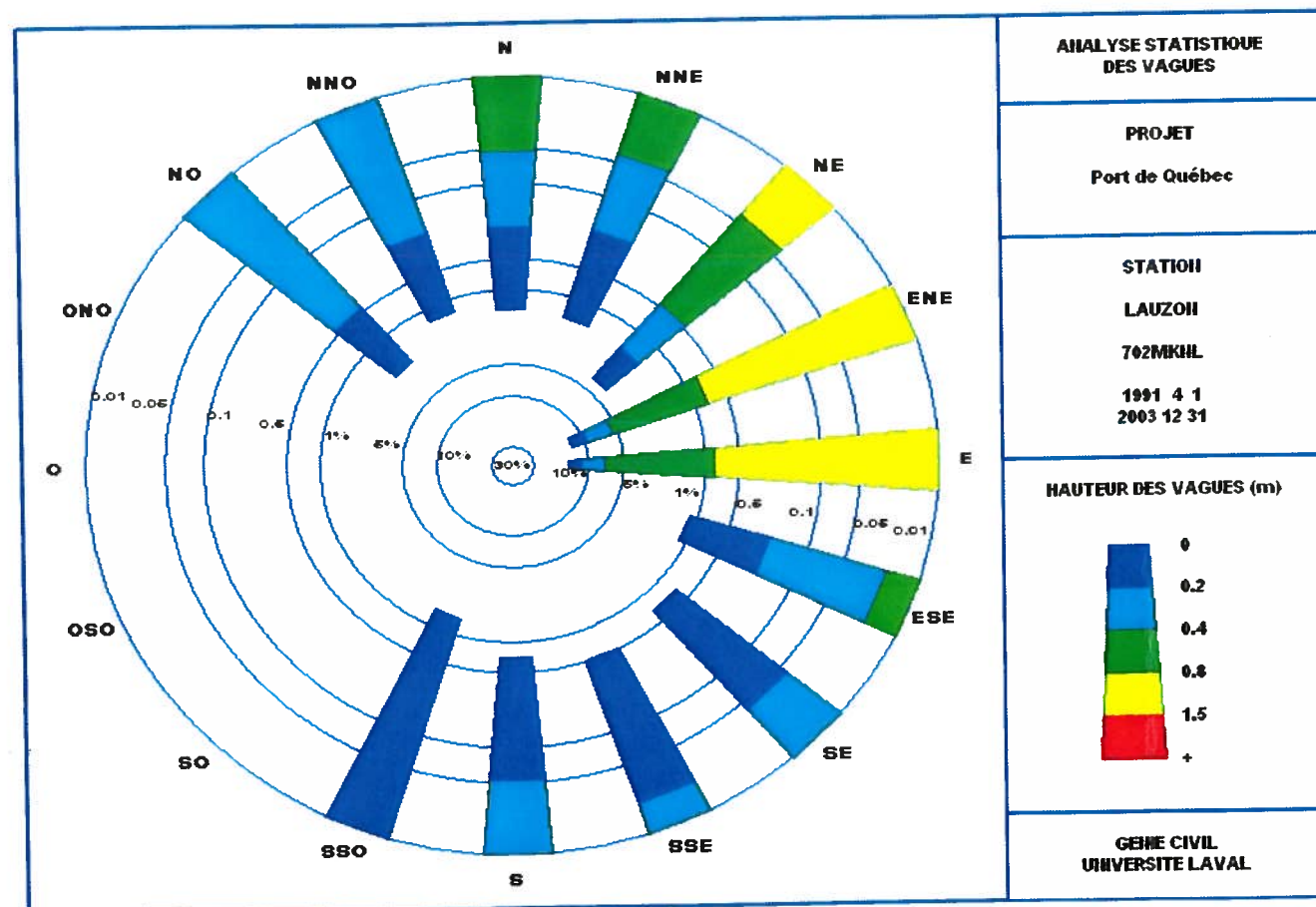
a) Vents - Aéroport de Québec (1953-2003)



b) Vents - Saint-François – île d'Orléans (1985-2003)



c) Vents - Lauzon (1991-2003)



c) Vagues sur la pointe de Beauport d'après vents de la station Lauzon

NOTE:

Les résultats correspondent à la période d'eau libre du Saint-Laurent, soit du 1er avril au 31 décembre



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

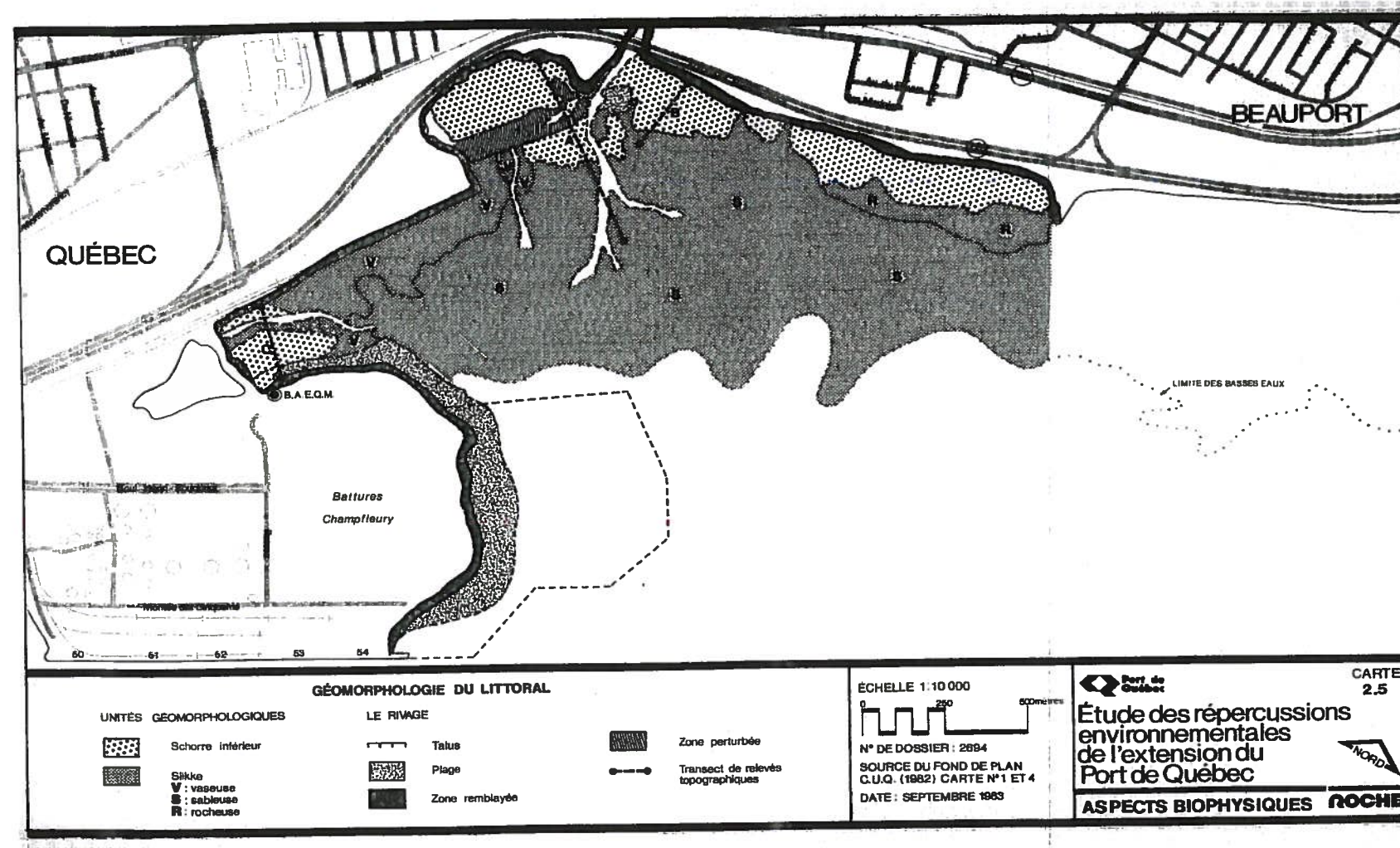


PROJET: PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

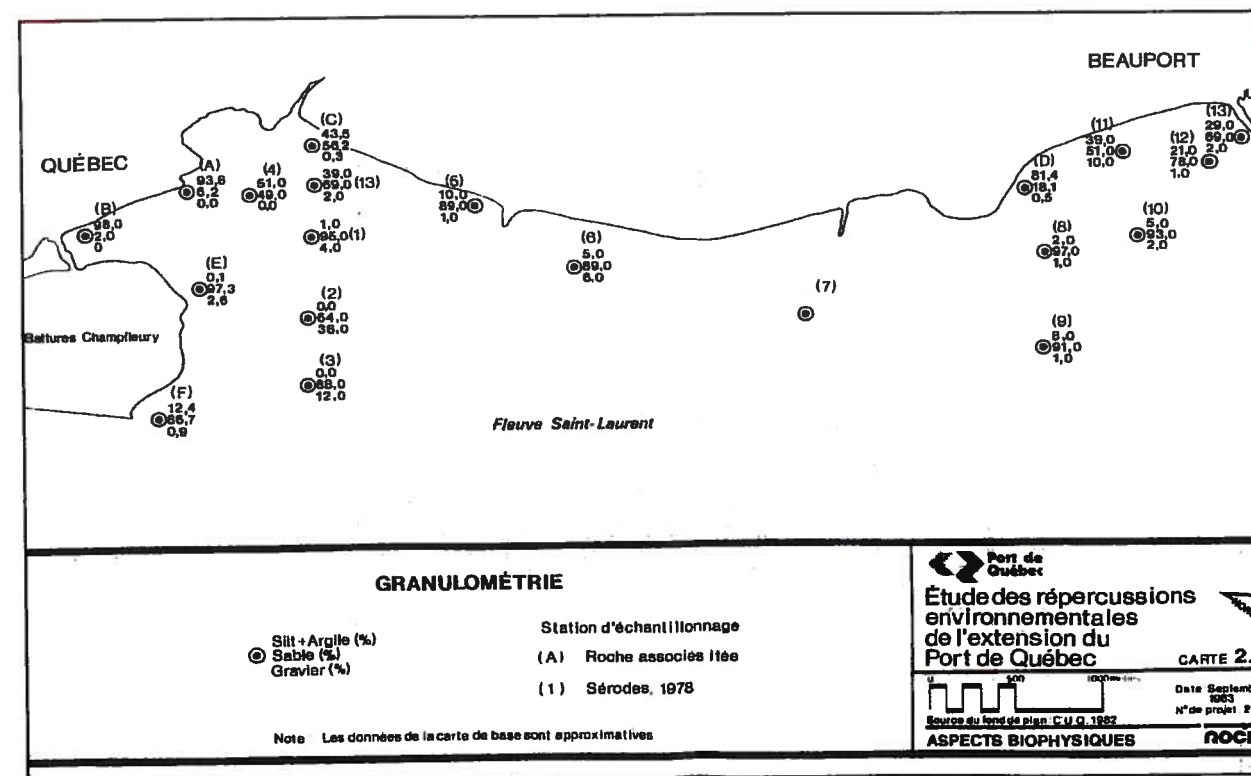
TITRE : Régime des vents et des vagues applicable au site

PRÉPARÉ PAR : NH - MV REF. CLIENT : J-4512 REF. LASALLE : 391-101

DATE : Avril 2006 FIGURE : 11



a) Géomorphologie



b) Granulométrie



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

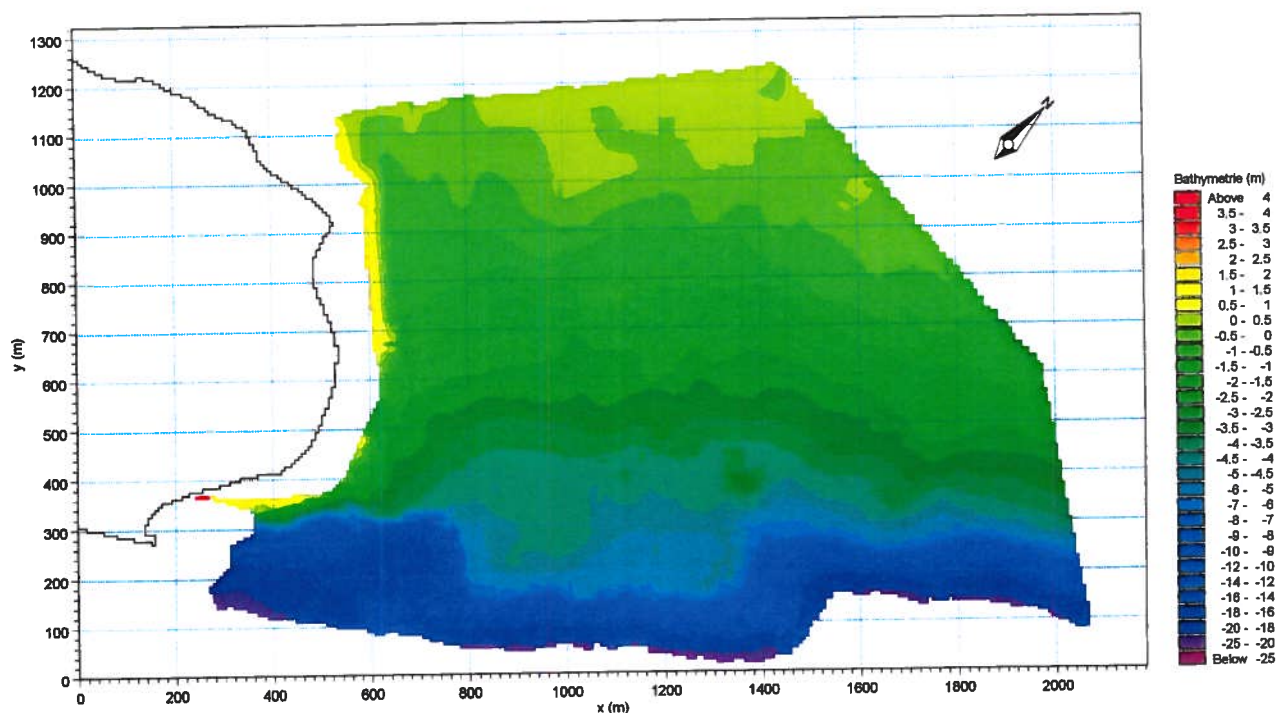
Canada

PROJET : PORT DE QUÉBEC
Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

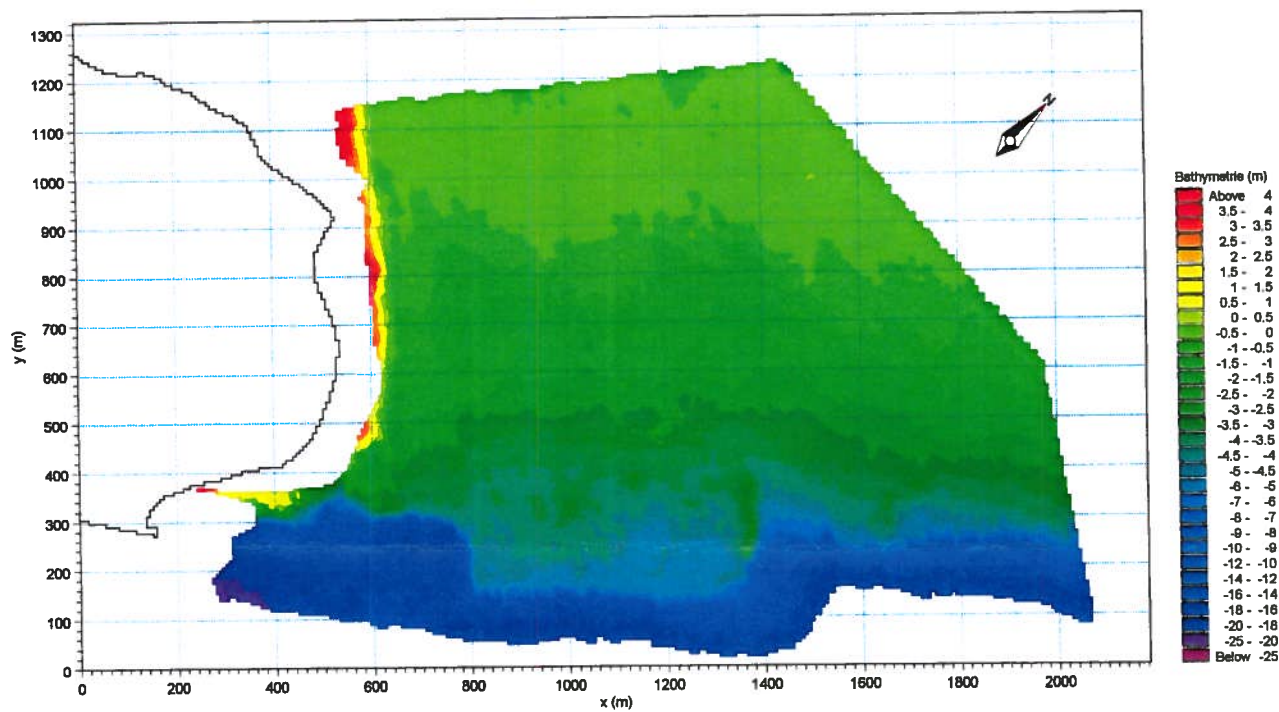
TITRE : Figures tirées de l'étude d'impact de 1983 (Groupe-Conseil Roche [7])

PRÉPARÉ PAR : NH - MV REF. CLIENT : J-4512 REF. LASALLE : 391-101

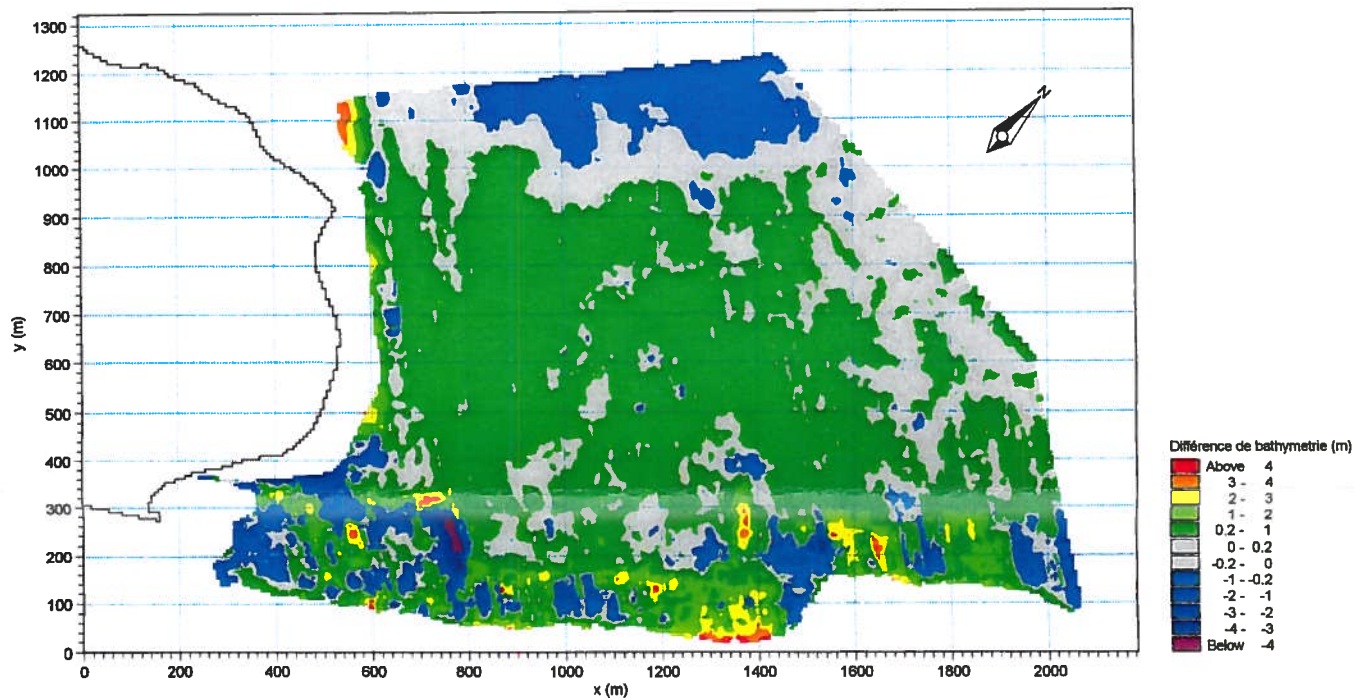
DATE : Avril 2006 FIGURE : 12



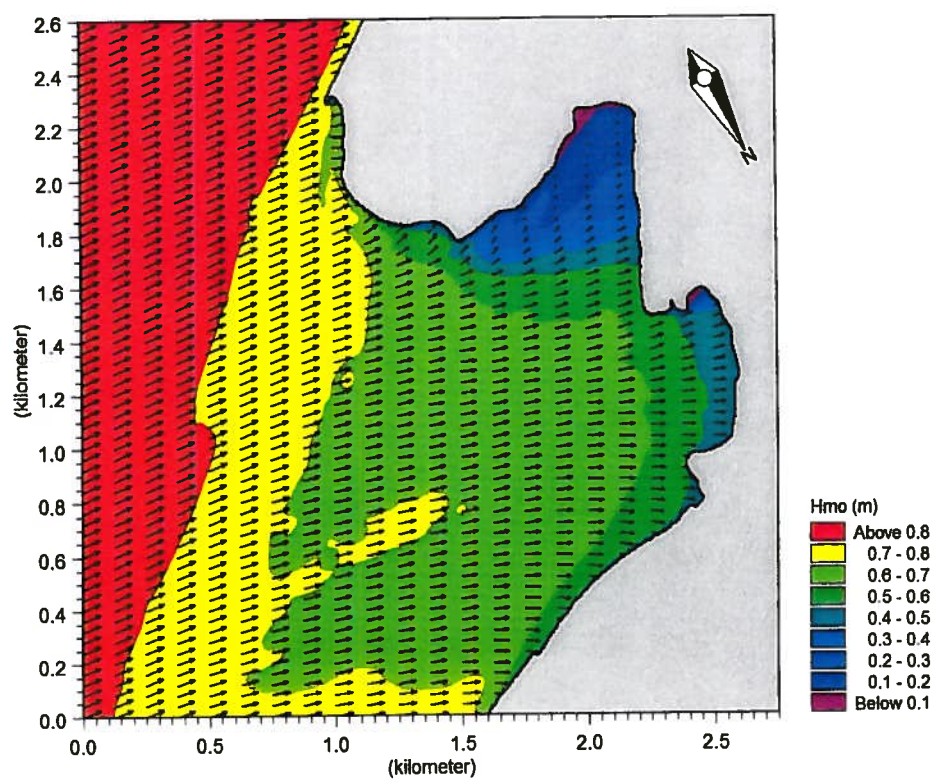
a) Relevés bathymétriques de 1982



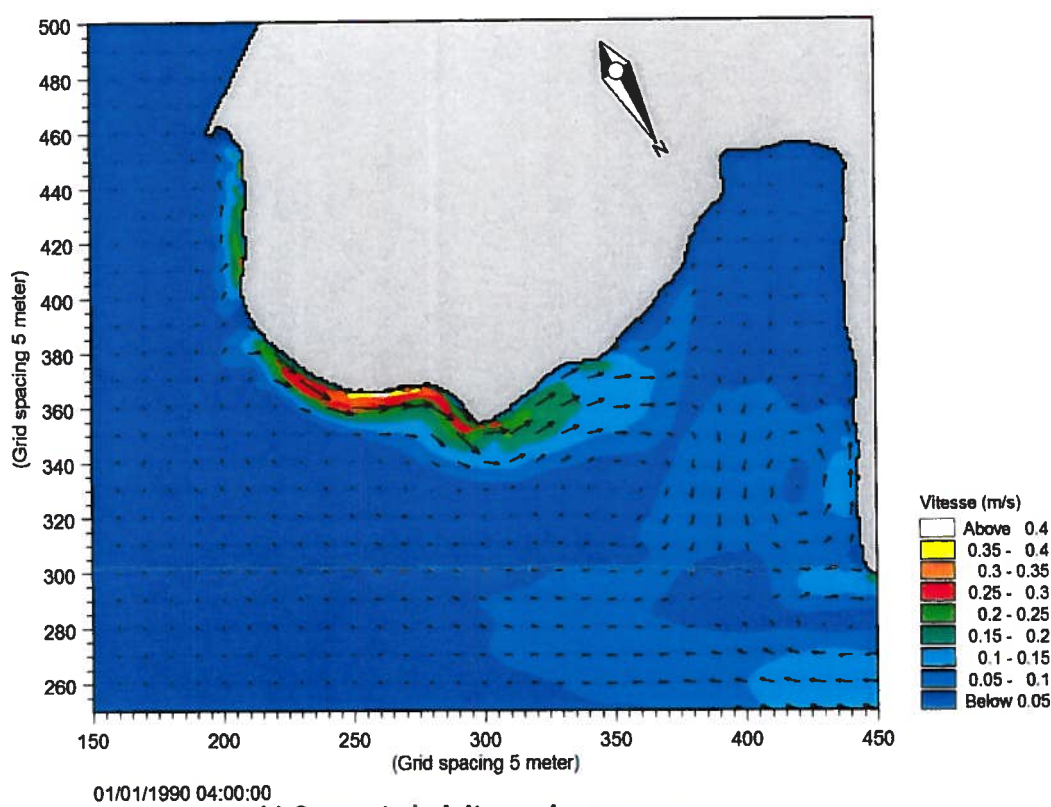
b) Relevés bathymétriques de 1989



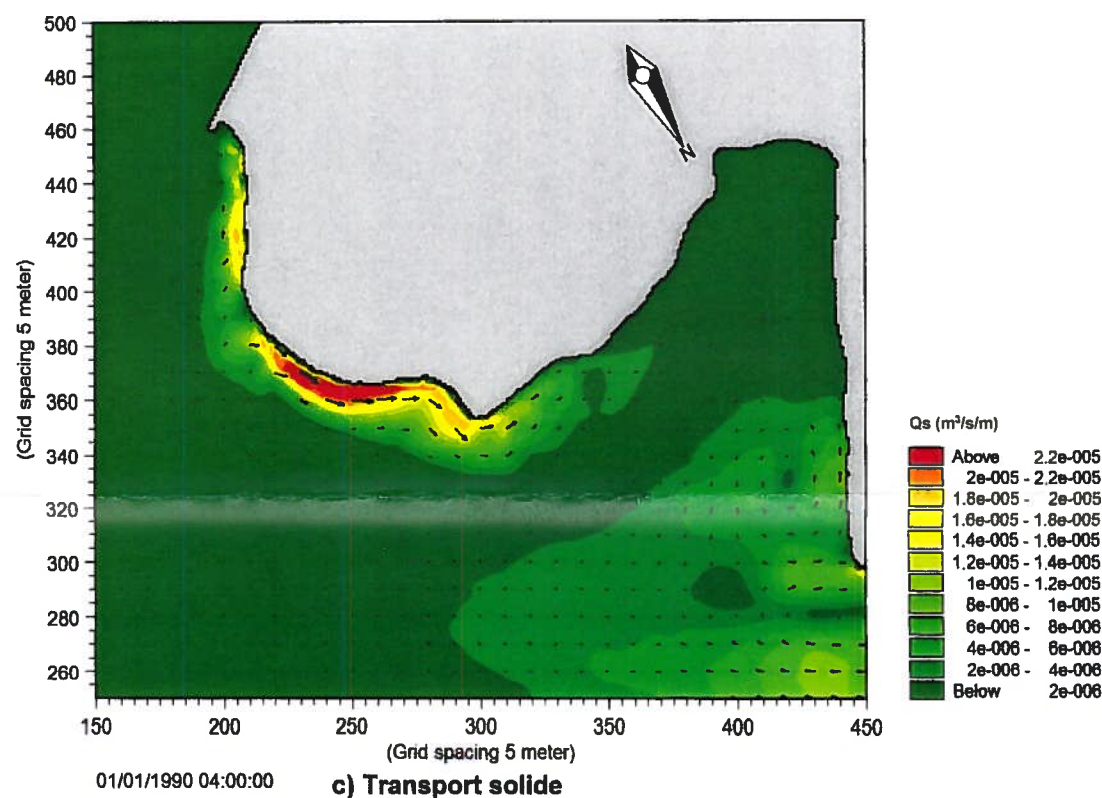
c) Différence entre les relevés bathymétriques de 1982 et 1989



a) Vagues - $H_o = 0,8$ m - $T = 3,5$ s - Dir. = 78,8 deg.



b) Courants induits par les vagues



c) Transport solide



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

TITRE :
Vagues et transport sédimentaire en conditions actuelles

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

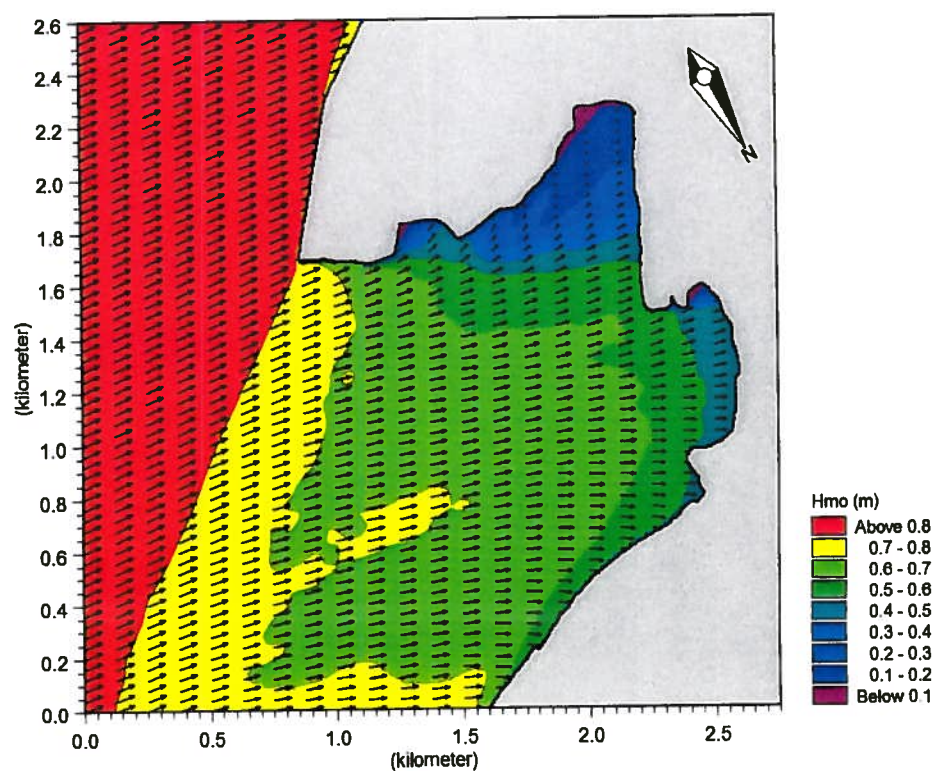
J-4512

REF. LASALLE :

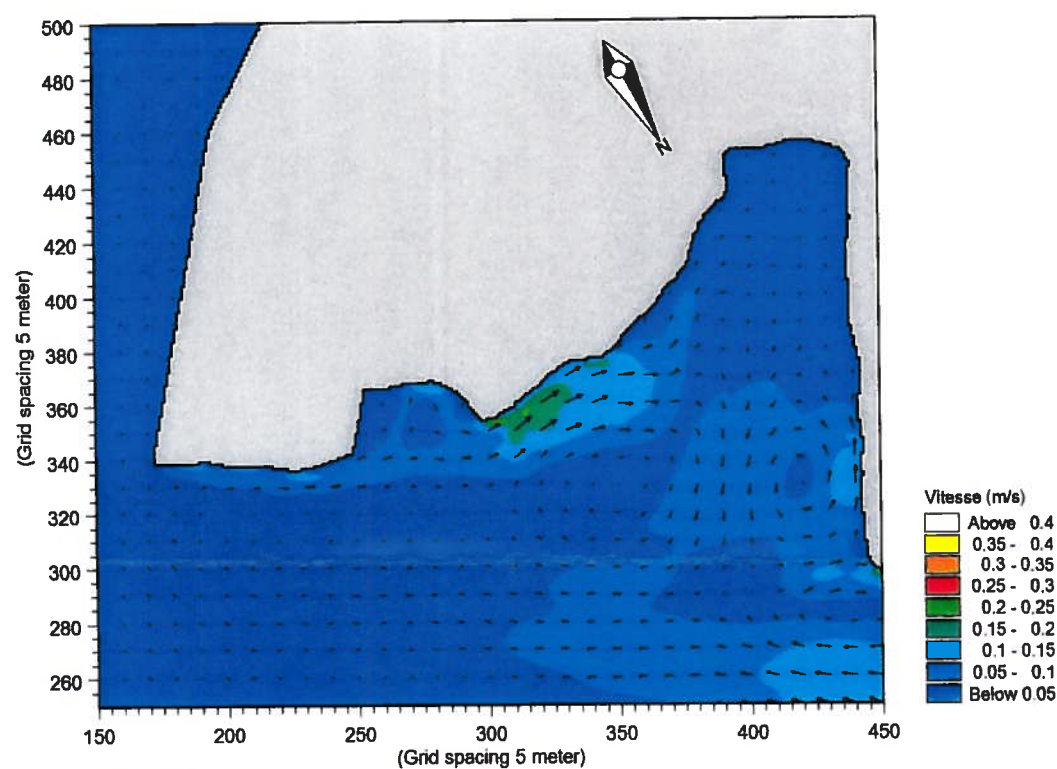
391-101

FIGURE :

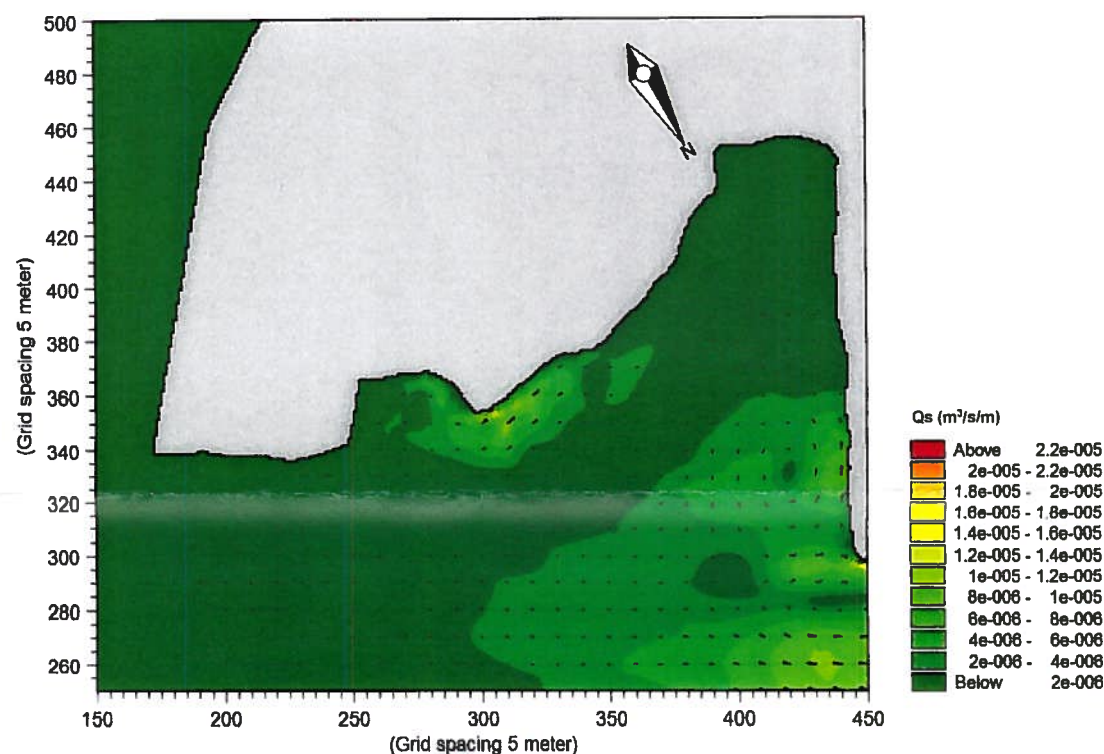
14a



a) Vagues - H_o - 0,8 m - $T = 3,5$ s - Dir. = 78,8 deg.



b) Courants induits par les vagues



c) Transport solide



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE
DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Vagues et transport sédimentaire en conditions futures – Variante 1

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

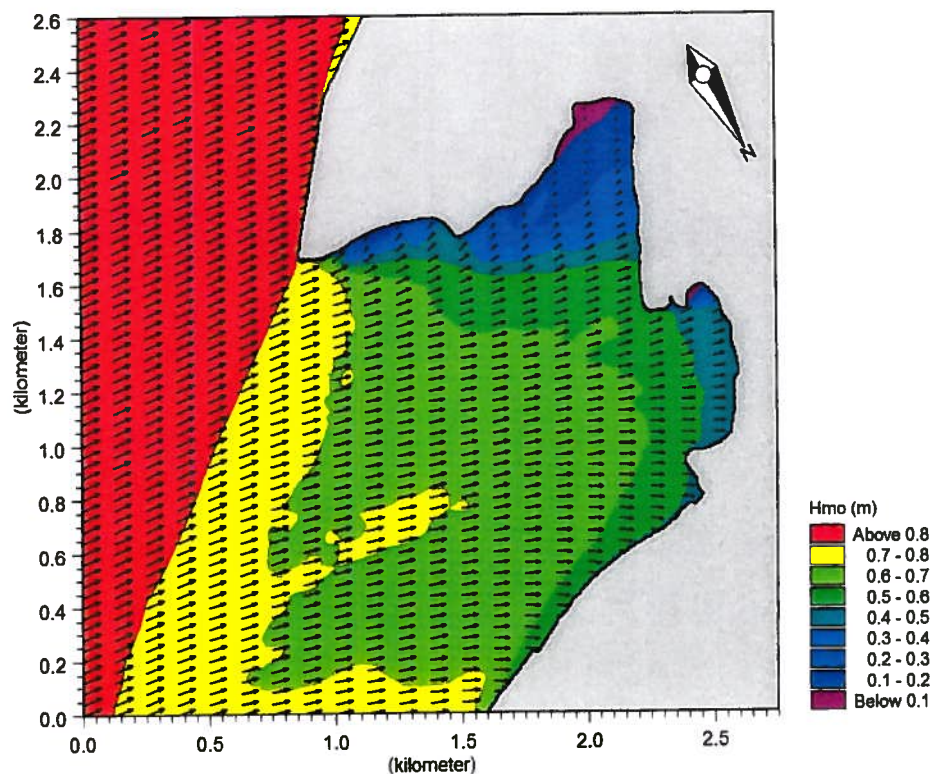
J-4512

REF. LASALLE :

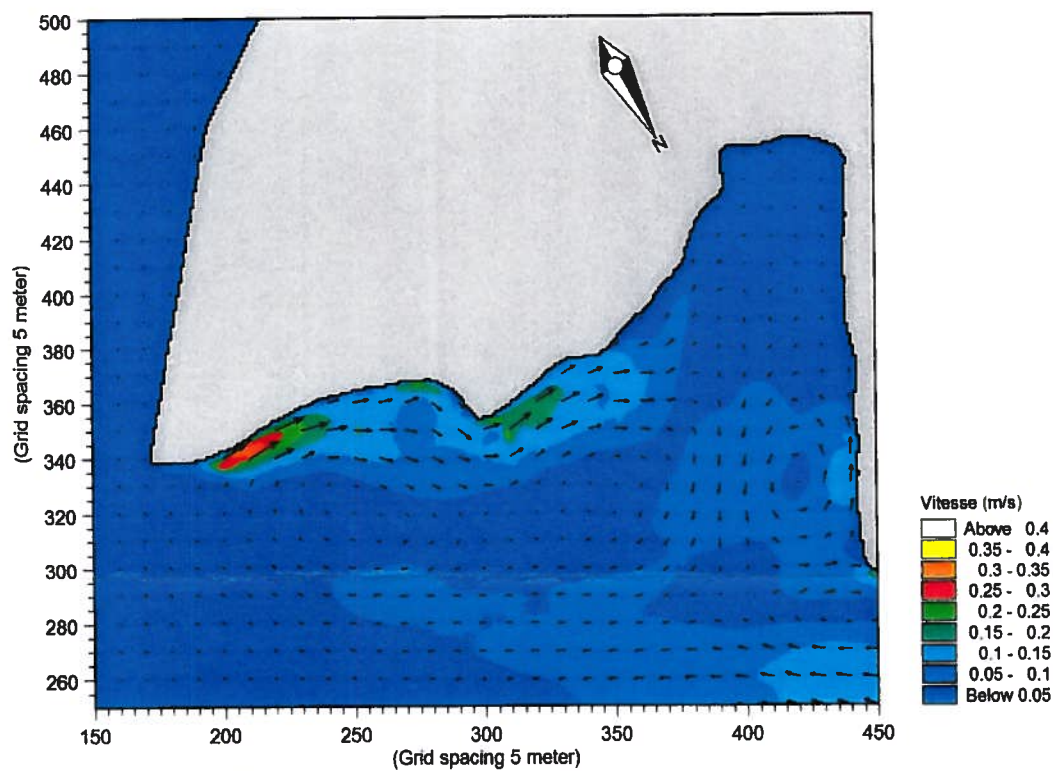
391-101

FIGURE :

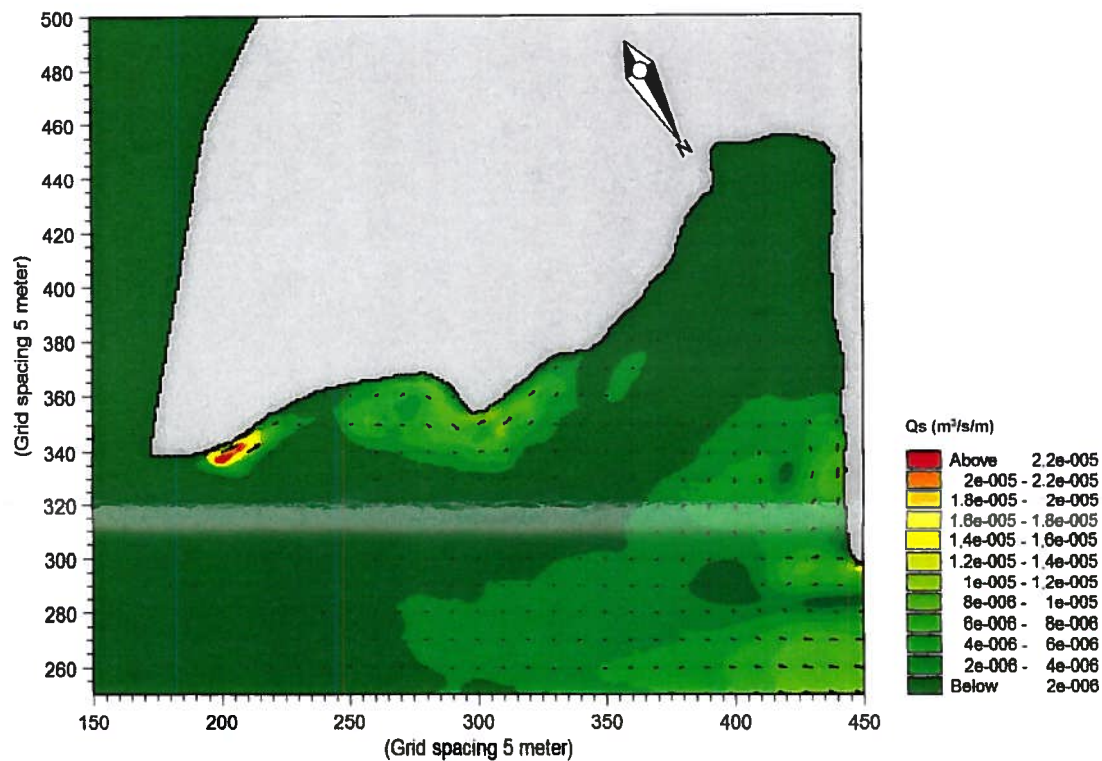
14b



a) Vagues - H_o - 0,8 m - $T = 3,5$ s - Dir. = 78,8 deg.



b) Courants induits par les vagues



c) Transport solide



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :
Vagues et transport sédimentaire en conditions futures – Variante 2



PORT DE QUÉBEC
Canada

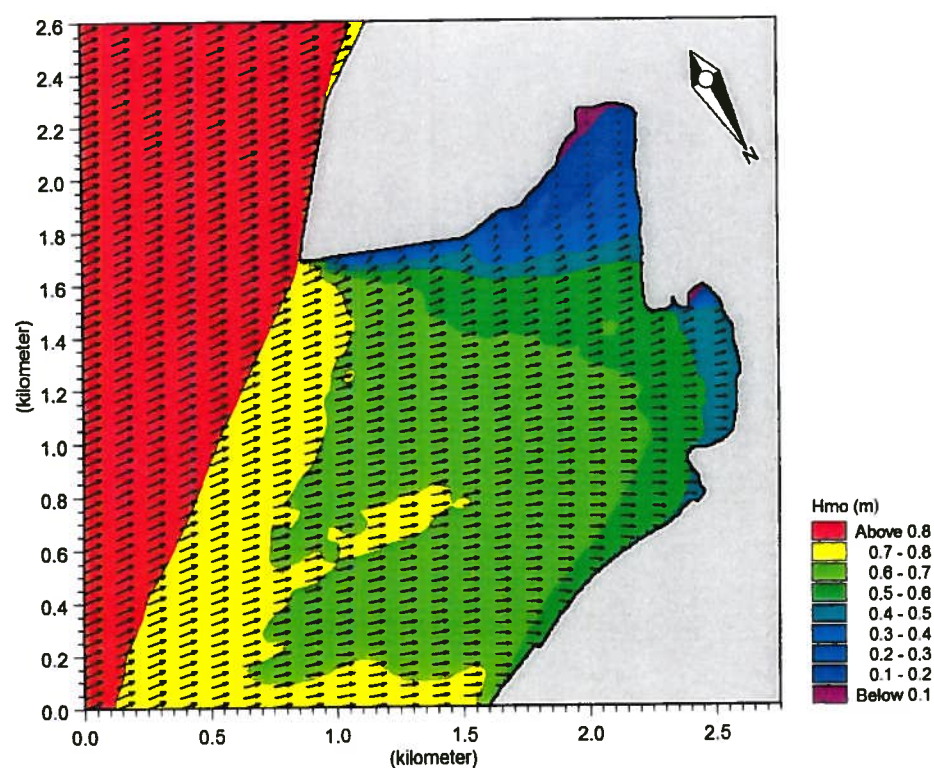
DATE :
Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :
NH - MV

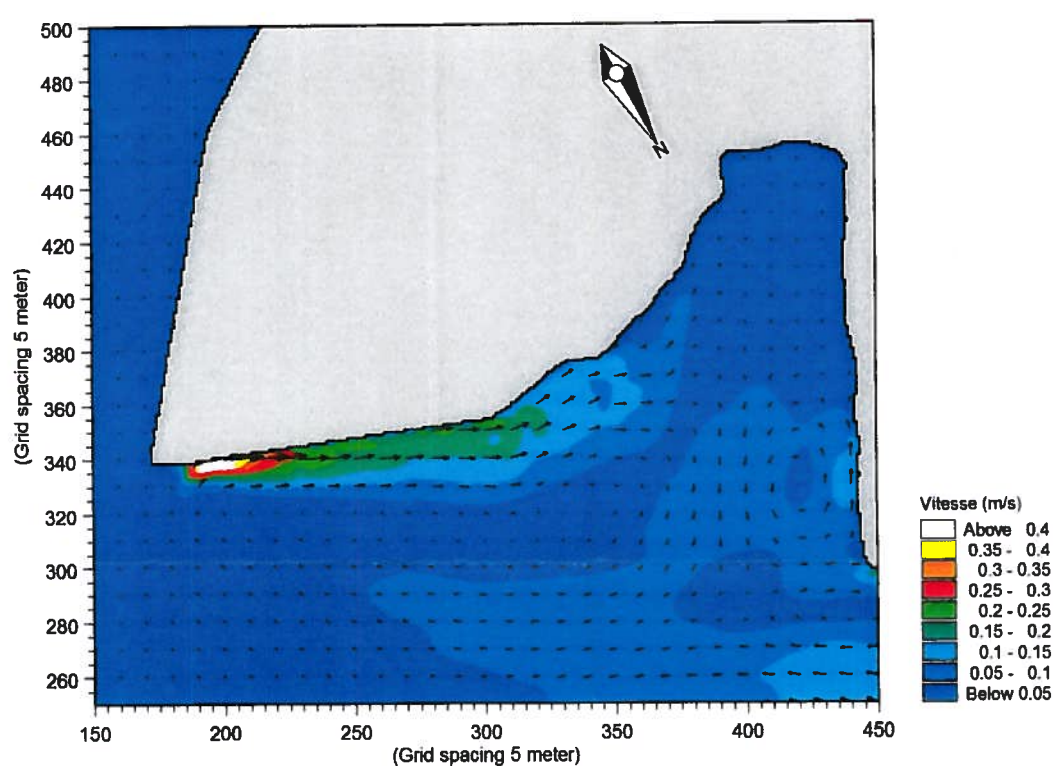
REF. CLIENT :
J-4512

REF. LASALLE :
391-101

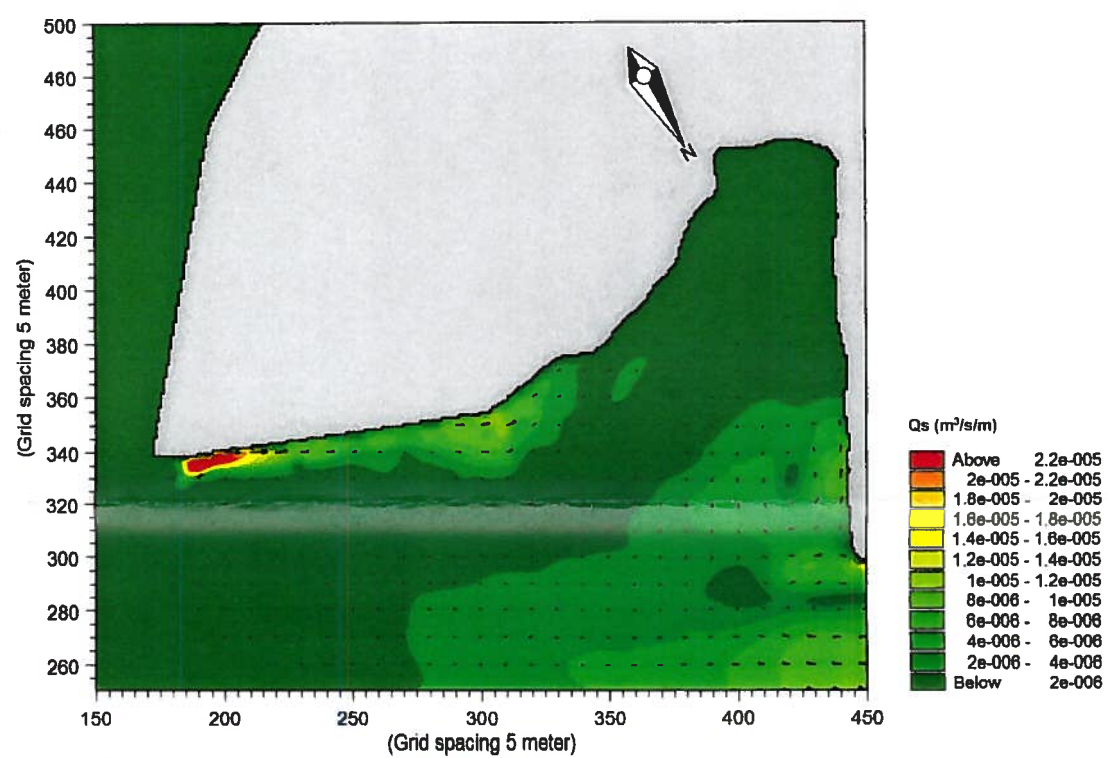
FIGURE :
14c



a) Vagues - H_o - 0,8 m - $T = 3,5$ s - Dir. = 78,8 deg.



b) Courants induits par les vagues



c) Transport solide



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Vagues et transport sédimentaire en conditions futures – Variante 3

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

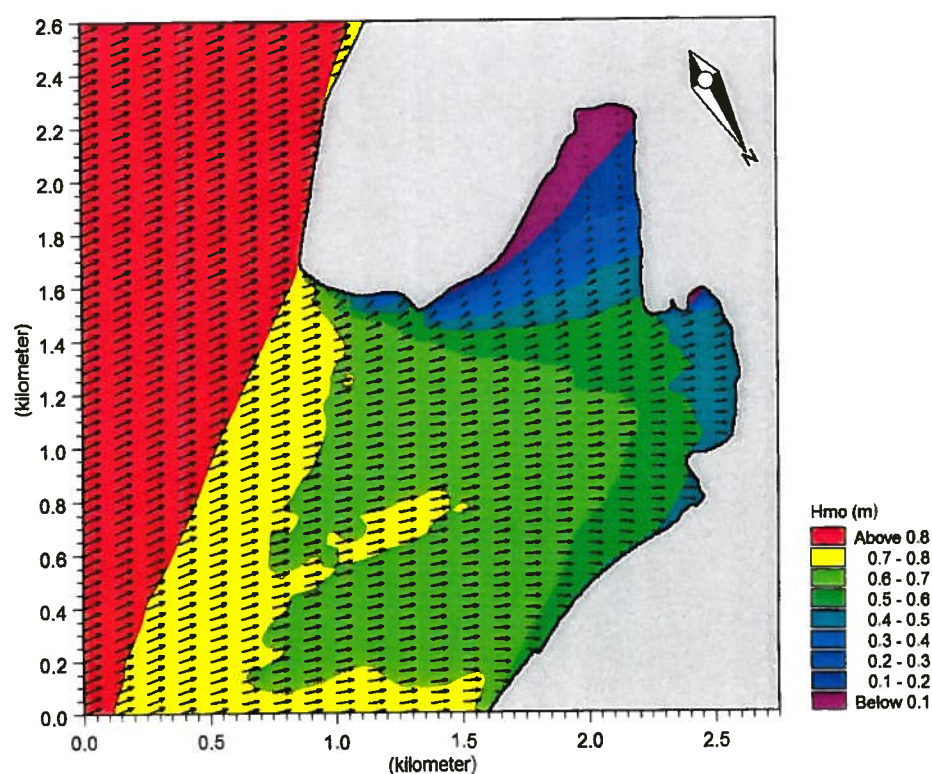
J-4512

REF. LASALLE :

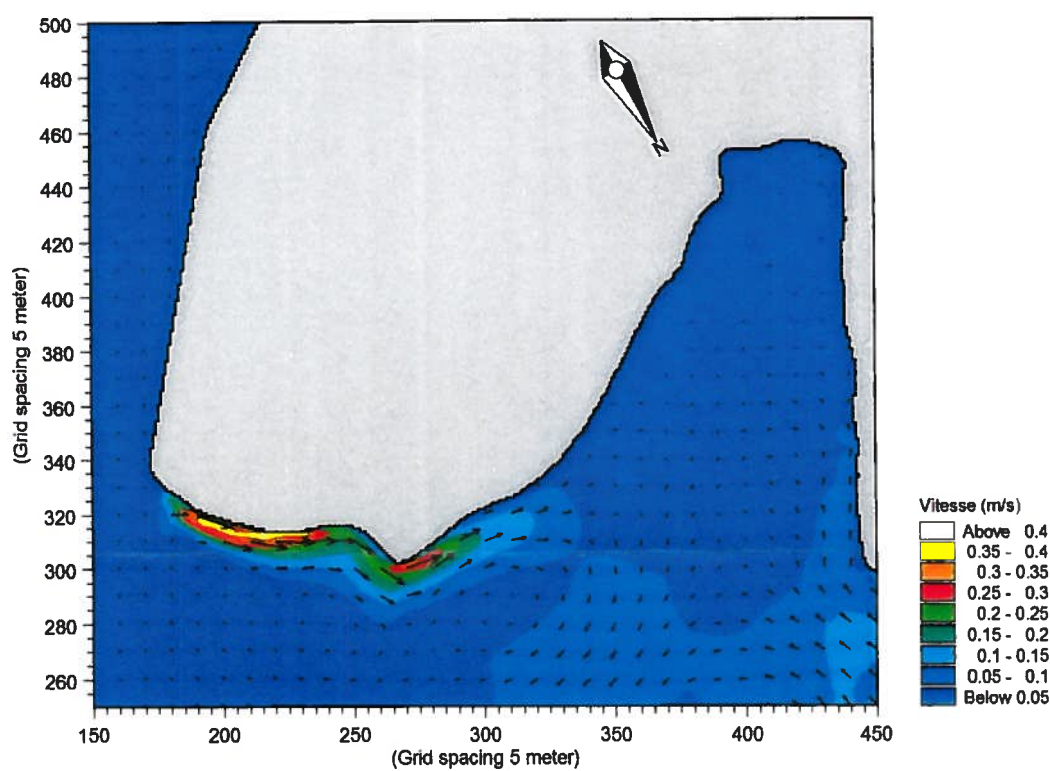
391-101

FIGURE :

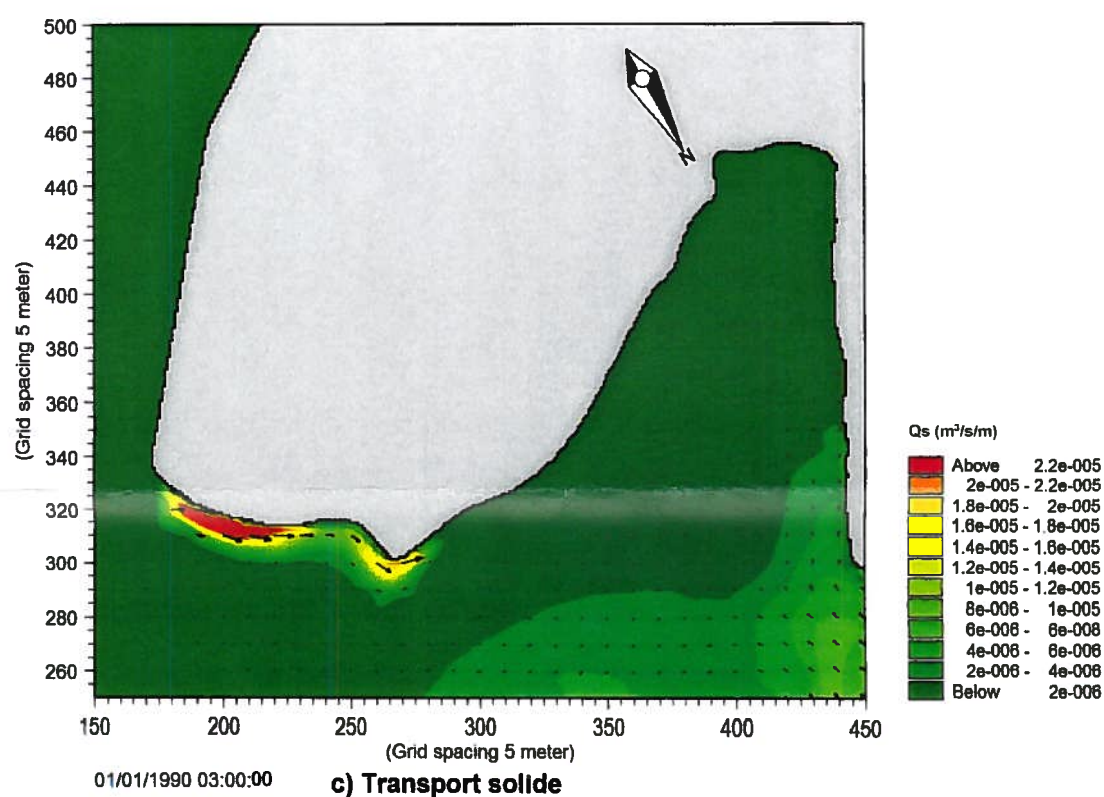
14d



a) Vagues - H_o - 0,8 m - $T = 3,5$ s - Dir. = 78,8 deg.



b) Courants induits par les vagues



c) Transport solide



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : **ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC**

TITRE :

Vagues et transport sédimentaire en conditions futures – Variante 4



PORT DE QUÉBEC

Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

391-101

FIGURE :

14e

ANNEXE A :

Validation de la modélisation hydrodynamique

La présente annexe décrit les simulations effectuées en vue de valider les résultats du modèle hydrodynamique. Les résultats prédits par le module NHD de MIKE 21 dans les conditions d'aménagement actuelles sont comparés à des données relevées sur le terrain ou obtenues sur le modèle réduit du port dans trois secteurs :

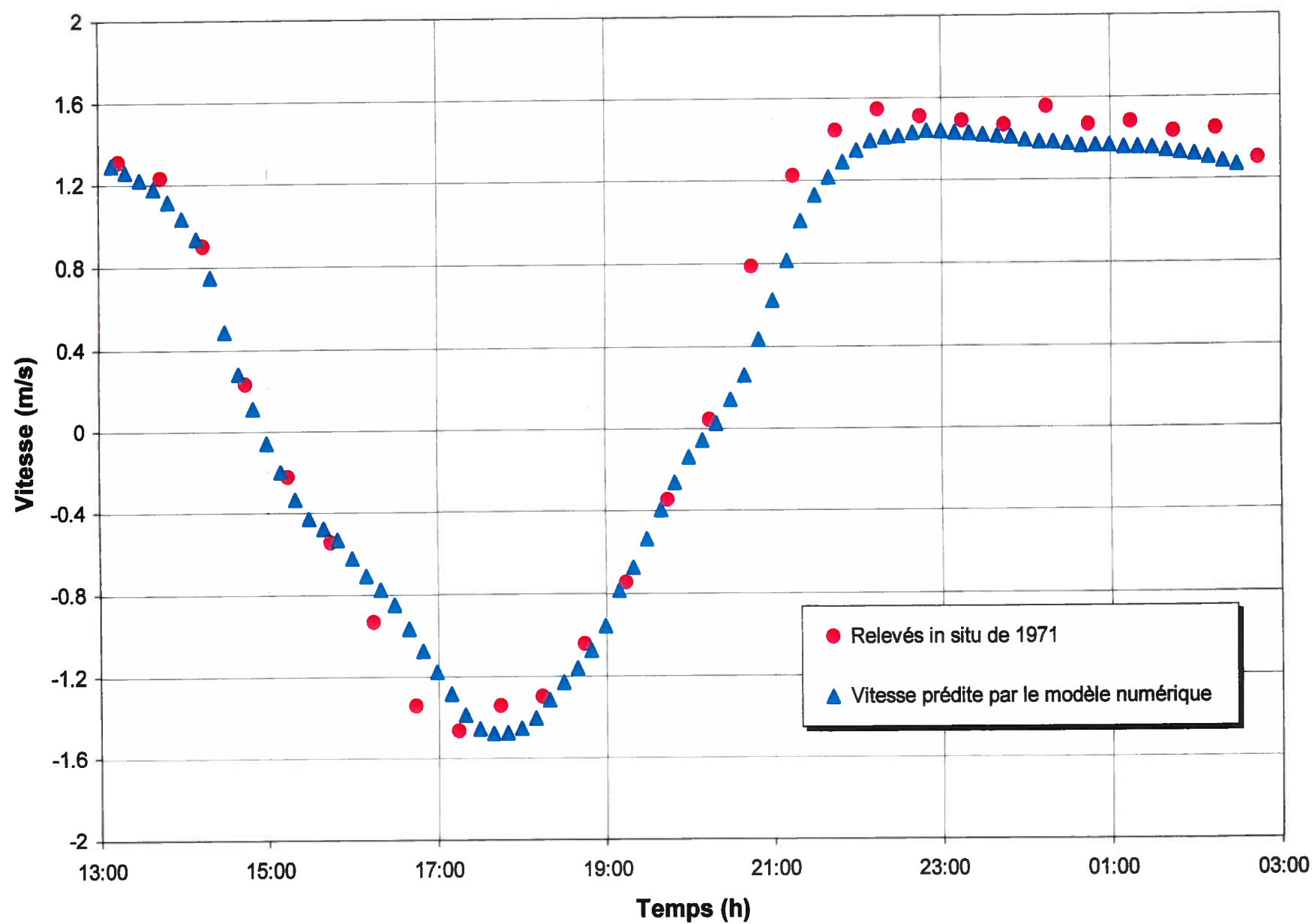
- dans la section « Abraham » [4], située en aval du secteur de l'anse au Foulon (figure A1);
- au droit du quai no 21 (pointe à Carcy) (figure A2);
- aux abords de la pointe de Beauport (figures A3 et A4).

La figure A1 compare les courants prédits par le modèle numérique avec les relevés effectués lors de la marée de vive-eau du 22 juin 1971, en un point situé dans la section « Abraham », près de la rive sud du fleuve. La vitesse est exprimée selon sa composante perpendiculaire à la section-en-travers, avec une valeur positive pour les courants dirigés vers l'aval. La concordance entre les résultats du modèle numérique et les valeurs mesurées est excellente.

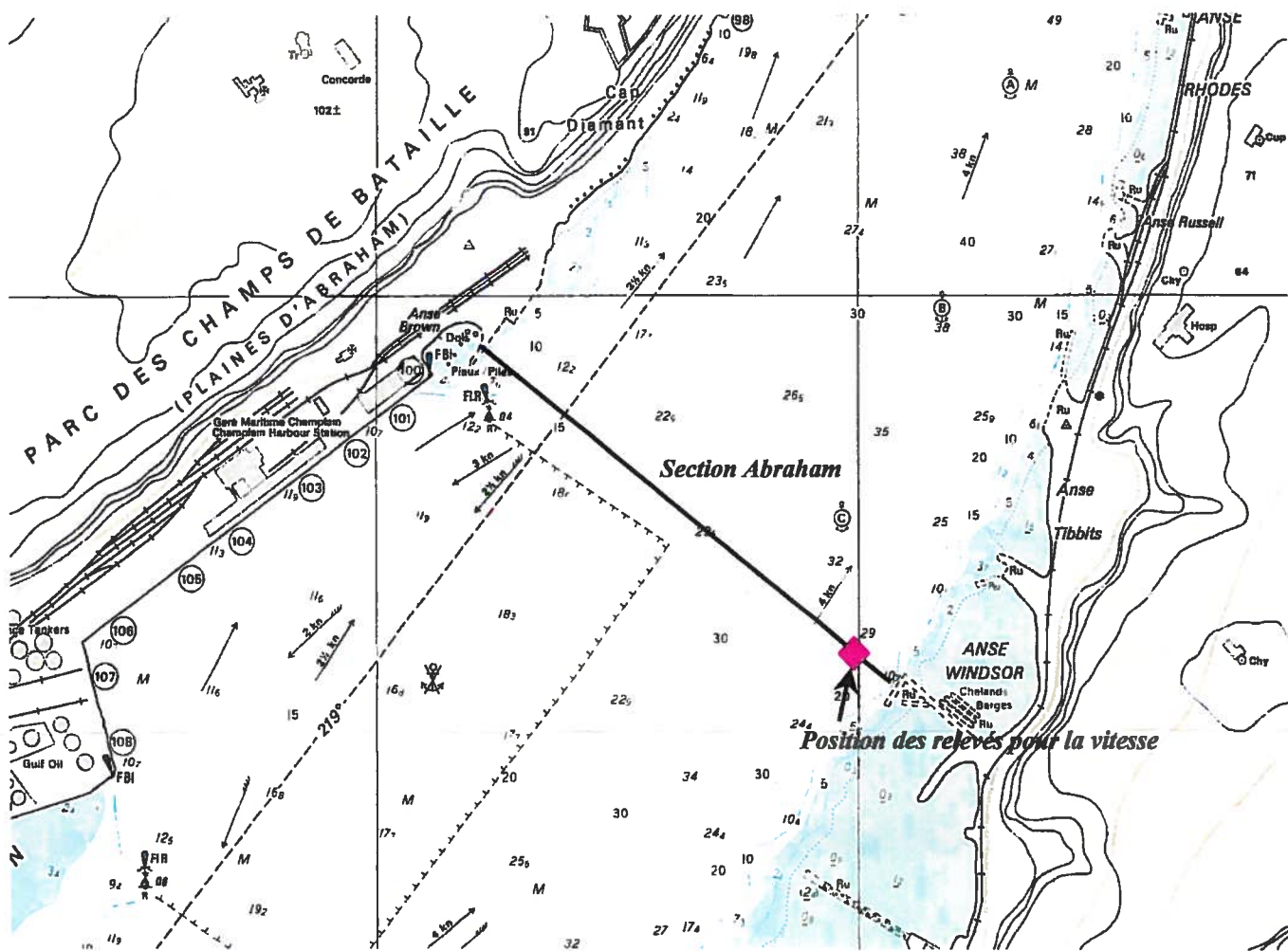
La figure A2 présente une comparaison des vitesses maximales des courants du fleuve, au flot et au jusant, au droit du quai no 21 (pointe à Carcy). Les données du modèle réduit de 1972 [4] constituent les données de référence pour cette validation. Les résultats du modèle numérique et du modèle réduit montre une très bonne similarité.

La validation de la modélisation numérique dans le secteur de Beauport repose sur les résultats de l'étude sur modèle réduit de 1983 [3]. Les figures A3 et A4 illustrent les champs de courants prédits par les deux modèles à divers instants du flot et du jusant de la marée de vive-eau du 22 juin 1971. Au flot (figure A3), le modèle numérique reproduit bien le contournement de la pointe de Beauport par les courants issus de la batture. Les deux modèles montrent également une bonne concordance dans la prédiction du patron général des courants agissant sur la batture. Au jusant (figure A4), le modèle numérique offre une bonne représentation des courants de retour observés au modèle réduit sur la batture, un peu avant la basse mer.

Vitesse ponctuelle du courant dans la section ‘Abraham’



Section ‘Abraham’



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

TITRE :
Validation du modèle hydrodynamique – Vitesse des courants dans la section ‘Abraham’



PORT DE QUÉBEC
Canada

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

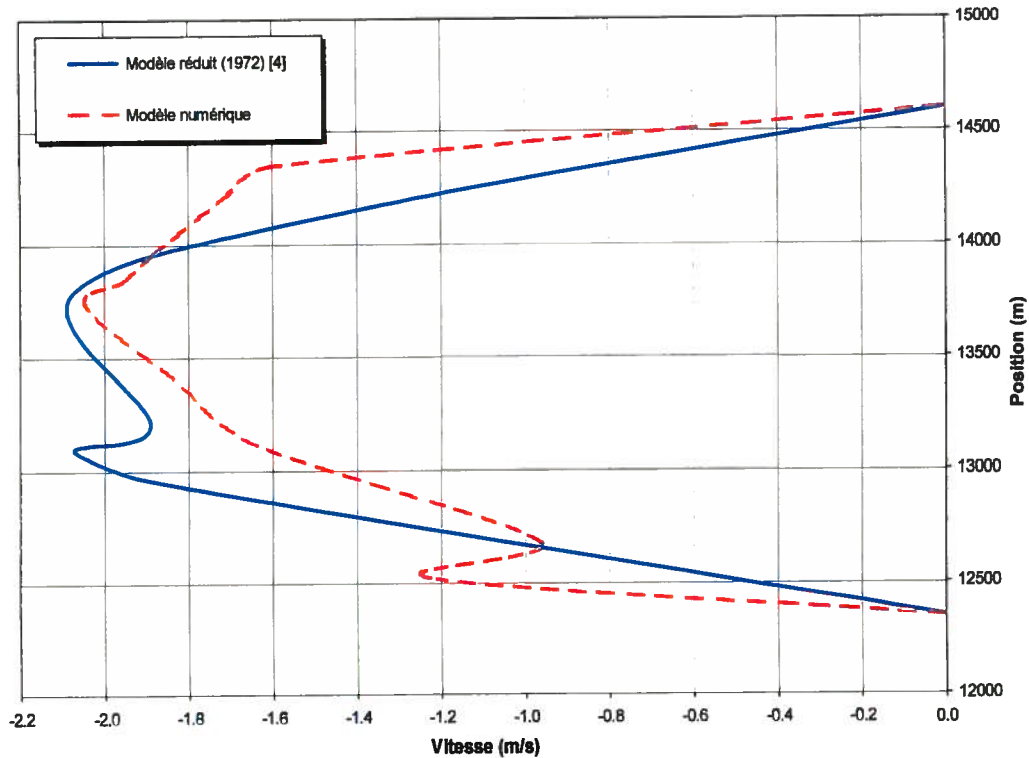
REF. LASALLE :

391-101

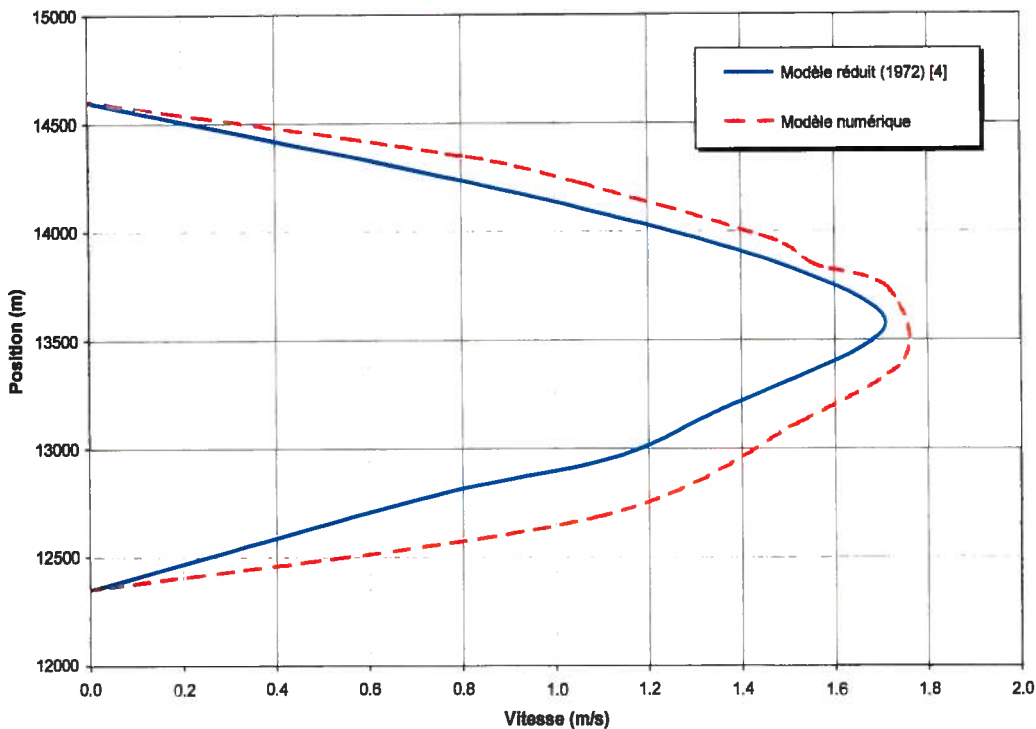
FIGURE :

A1

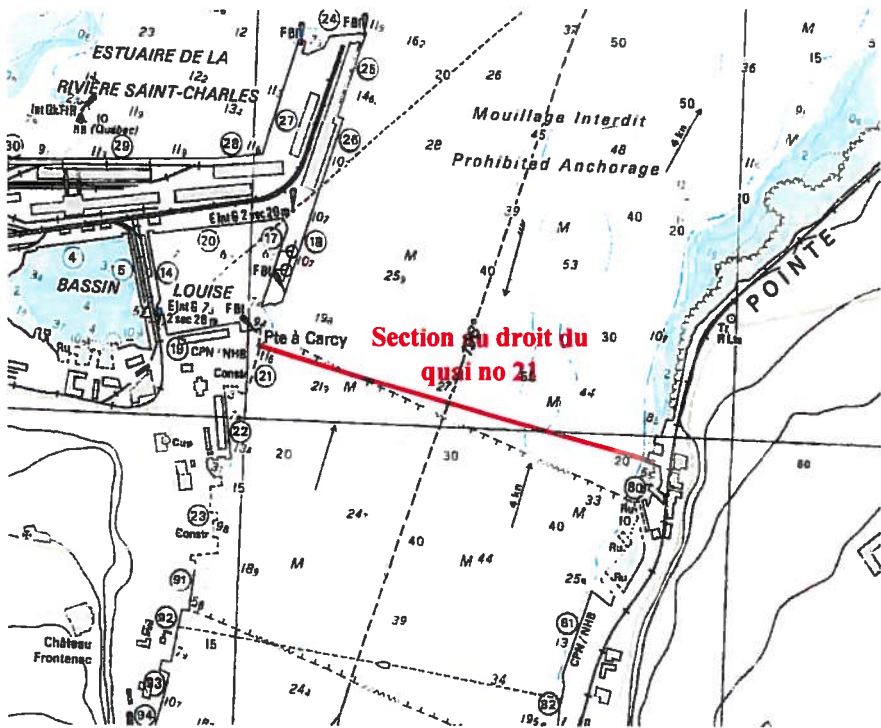
Flot maximum



Jusant maximum



Position de la section au droit du quai no 21



Le Groupe-Conseil LaSalle

PROJET :
PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC
Canada

TITRE :
Validation du modèle hydrodynamique – Vitesses maximales des courants du fleuve au droit du quai no 21 (Pointe à Carcy)

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

391-101

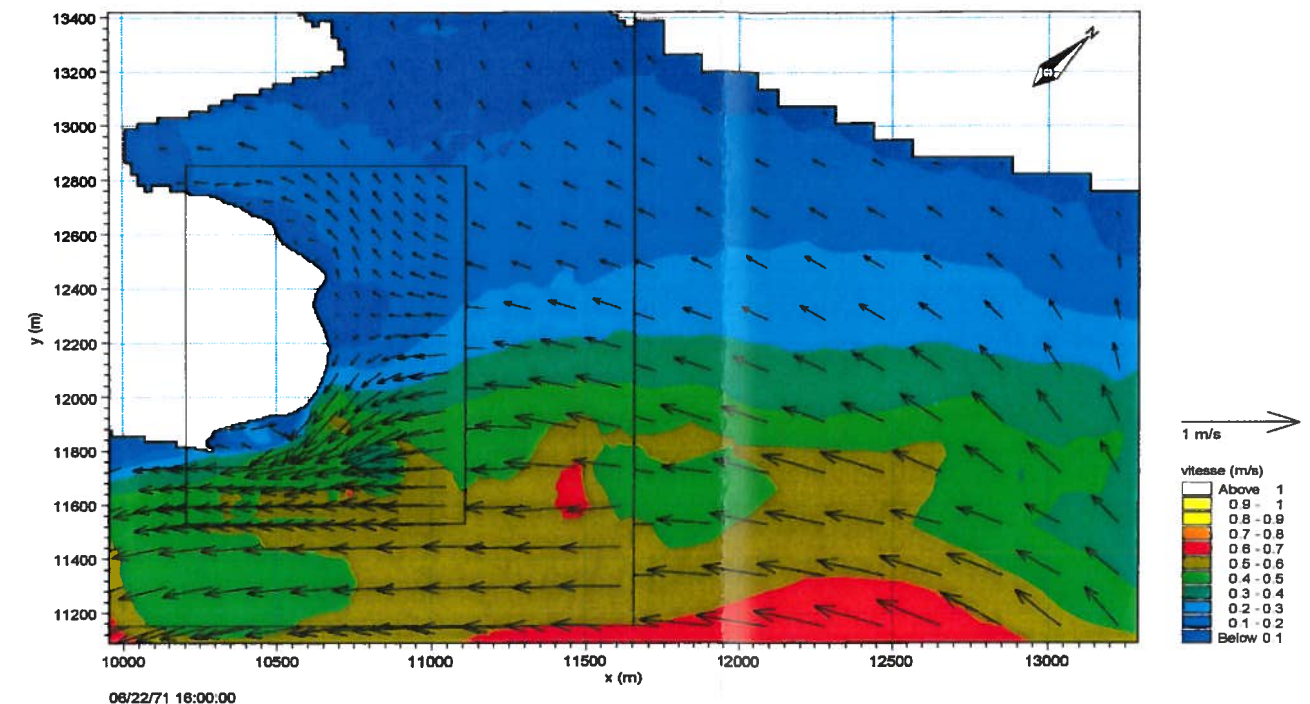
FIGURE :

A2

Trois (3) heures après la basse mer inférieure

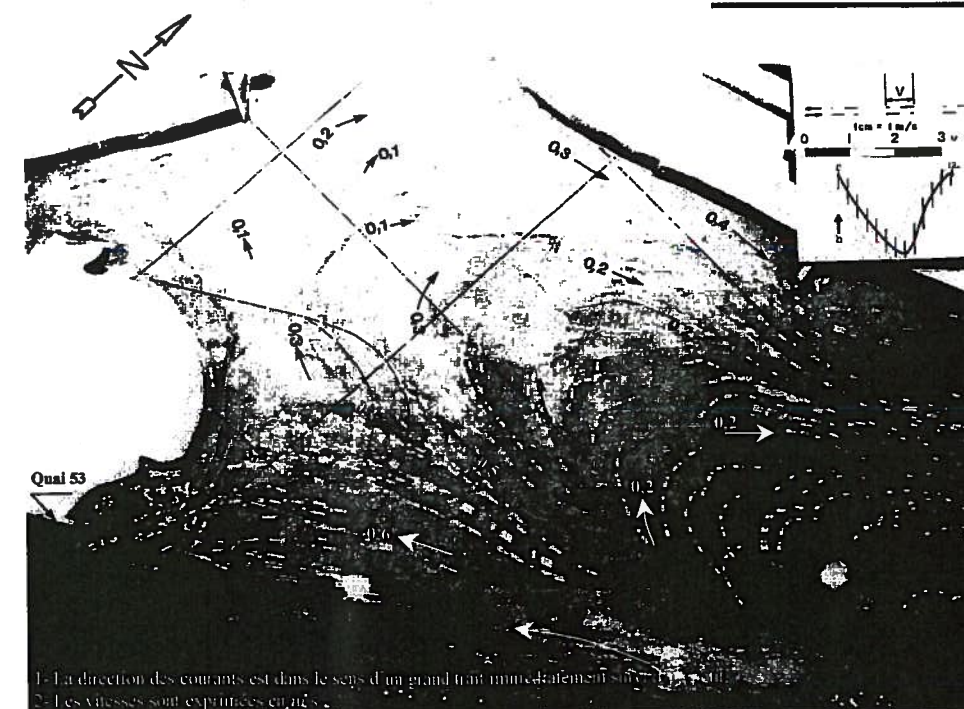


Modèle réduit (1983) [3]

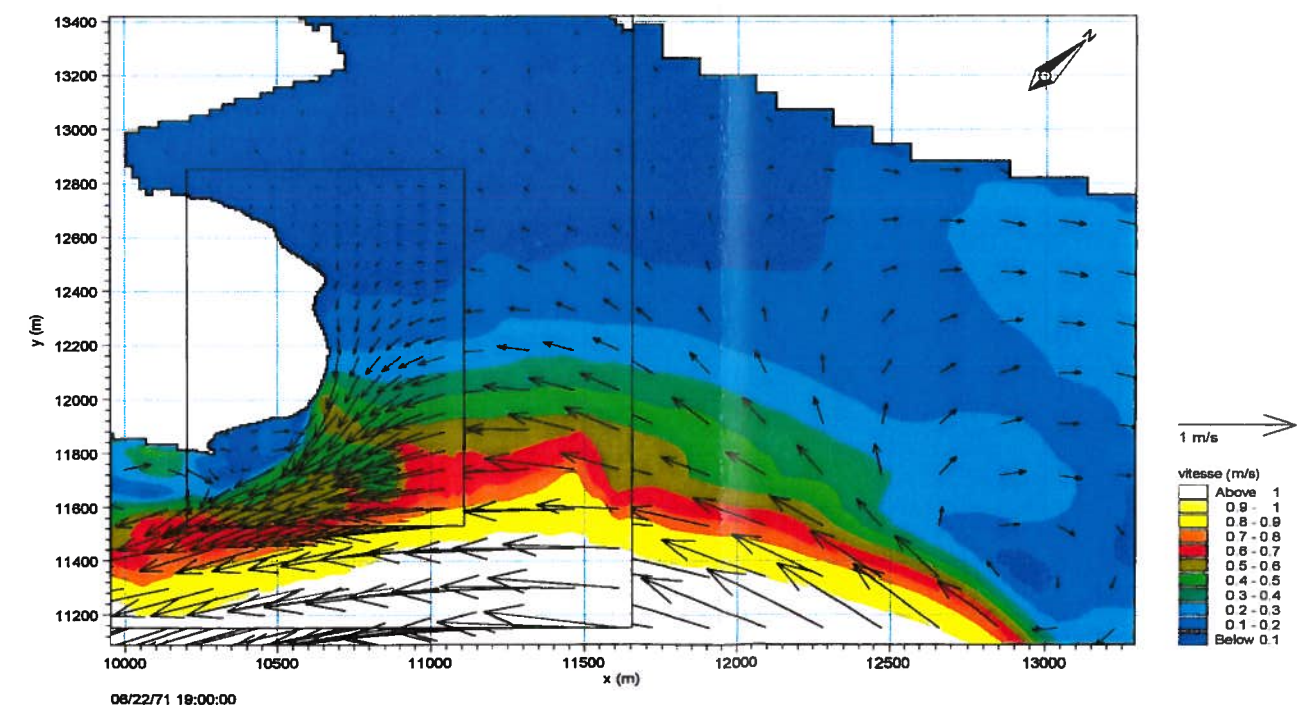


Modèle numérique

Une demi-heure après la pleine mer supérieure



Modèle réduit (1983) [3]



Modèle numérique



Le Groupe-Conseil LaSalle

CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC



PORT DE QUÉBEC

Canada

PROJET :

PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales

TITRE :

Validation du modèle hydrodynamique – Conditions d'écoulement au flot dans le secteur de Beauport

DATE :

Avril 2006

PRÉPARÉ PAR :

NH - MV

REF. CLIENT :

J-4512

REF. LASALLE :

391-101

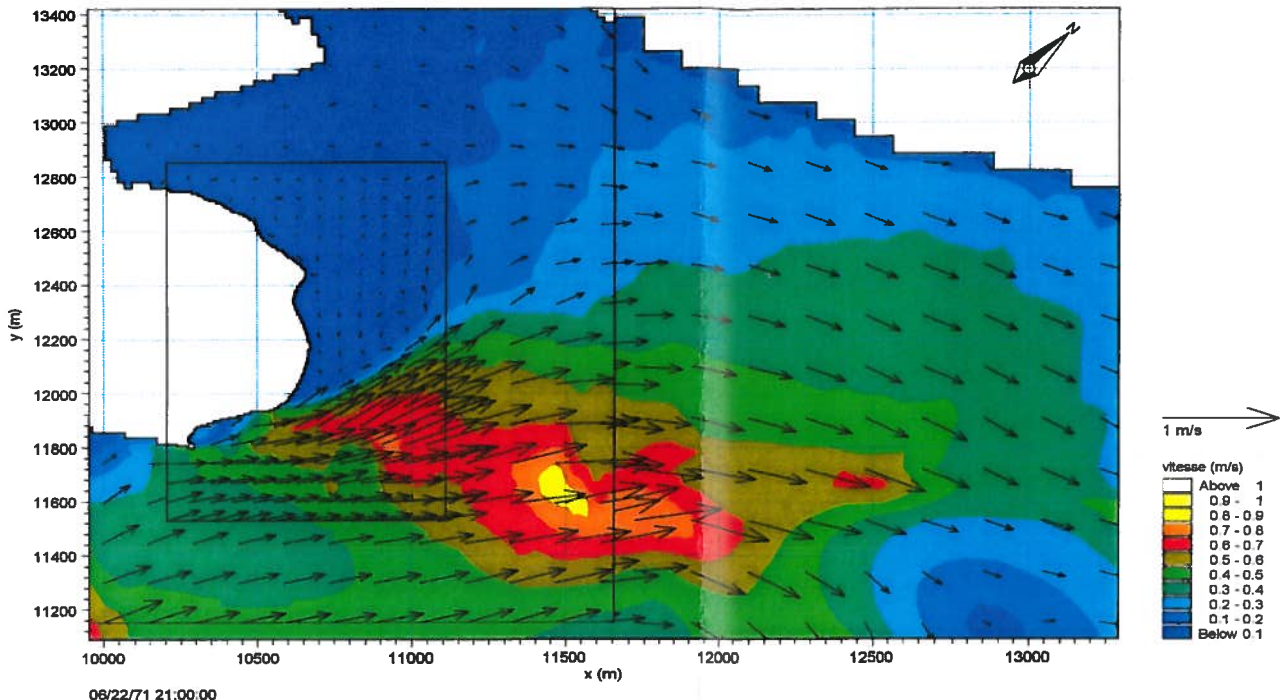
FIGURE :

A3

Trois (3) heures après la basse mer supérieure



Modèle réduit (1983) [3]

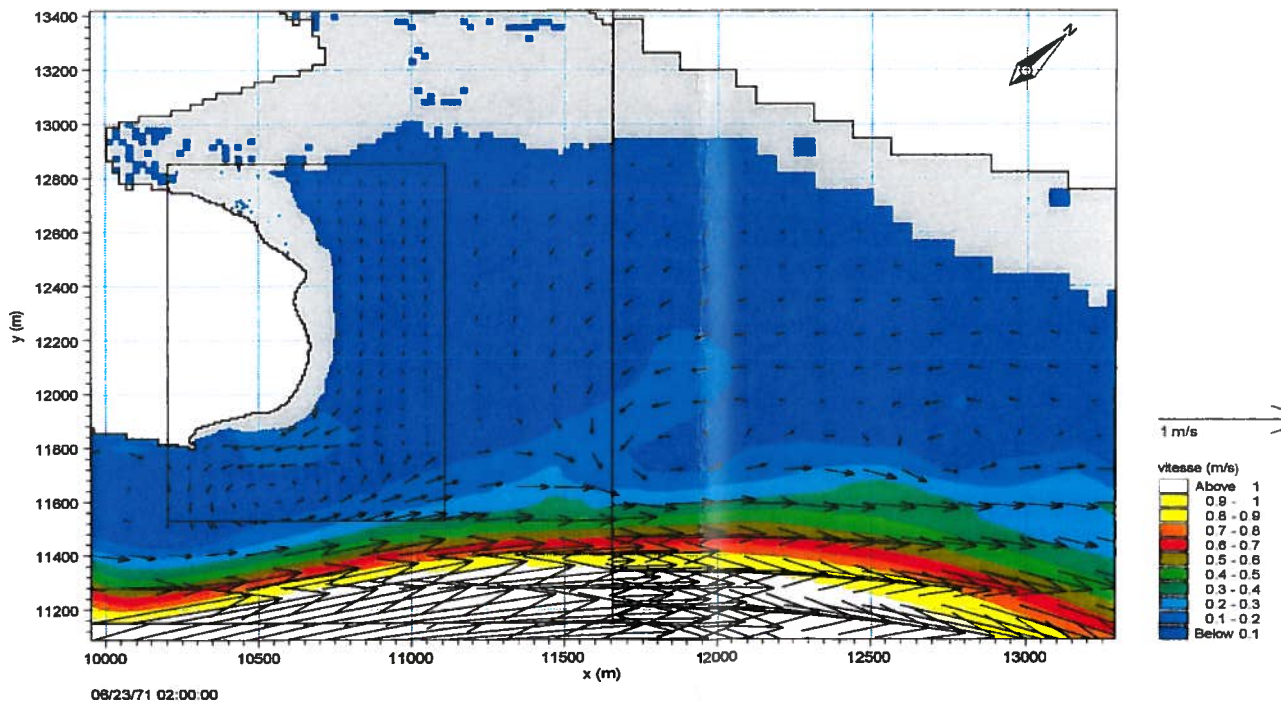


Modèle numérique

Une demi-heure avant la basse mer inférieure



Modèle réduit (1983) [3]



Modèle numérique

 Le Groupe-Conseil LaSalle		PROJET : PORT DE QUÉBEC : Impacts de l'extension du secteur portuaire de Beauport sur les conditions hydrosédimentologiques locales			
CLIENT : ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC 		TITRE : Validation du modèle hydrodynamique – Conditions d'écoulement au jusant dans le secteur de Beauport			
		DATE : Avril 2006	PRÉPARÉ PAR : NH - MV	REF. CLIENT : J-4512	REF. LASALLE : 391-101
		FIGURE : A4			