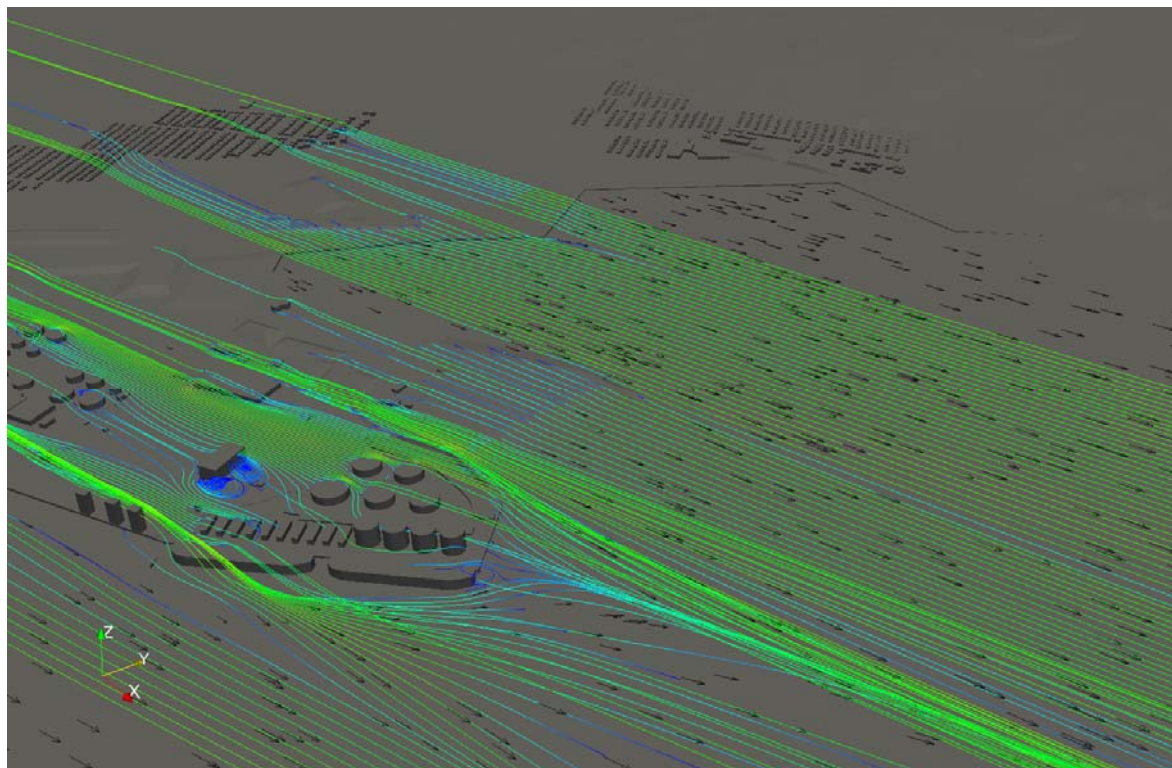




PORT DE QUÉBEC – EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT

Modélisation numérique des impacts éoliens



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

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

Site internet : www.lasallenhc.com

Courrier électronique : info@lasallenhc.com

Rapport présenté à

ADMINISTRATION PORTUAIRE DE QUÉBEC

PORT DE QUÉBEC – EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT

Modélisation numérique des impacts éoliens

Rapport no R.0007

Novembre 2014

<Original signé
par>

Préparé par :

Tristan Aubel, ing.

414-107 (1261)

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	II
1.0 INTRODUCTION.....	1
2.0 DESCRIPTION DU SITE ET DU PROJET	2
2.1 Site de la baie de Beauport	2
2.2 Projet d'extension portuaire – secteur Beauport	3
3.0 RÉGIME DES VENTS.....	4
3.1 Station météorologique de référence	4
3.2 Vents favorables à la pratique de la planche à voile et du Kitesurf	5
4.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE.....	6
4.1 Le modèle numérique.....	6
4.2 Domaine de calcul	6
4.3 Conditions aux limites.....	7
5.0 IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET.....	9
5.1 Vent de secteur ENE	9
5.2 Vent de secteur ONO	10
5.3 Vent de secteur OSO	11
6.0 CONCLUSIONS.....	12
7.0 RÉFÉRENCES.....	13

FIGURES

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 :	Localisation du site
FIGURE 2 :	Topographie
FIGURE 3 :	Description du projet
FIGURE 4 :	Régime des vents
FIGURE 5 :	Domaine de calcul
FIGURE 6 :	Résultats par vent de secteur ENE
FIGURE 7 :	Résultats par vent de secteur ONO
FIGURE 8 :	Résultats par vent de secteur OSO

1.0 INTRODUCTION

L'Administration portuaire de Québec (APQ) poursuit actuellement son projet d'extension du secteur Beauport, avec la mise en place de deux nouveaux quais (54 et 55). Outre les enjeux touchant directement les besoins et objectifs du port de Québec, ce projet comporte un important volet récréotouristique, avec l'aménagement dans la portion nord de l'extension d'un parc et de plages destinées à la baignade et aux sports nautiques.

L'APQ désire aujourd'hui finaliser la configuration de l'extension portuaire dans le secteur des plages, en vue de passer aux phases avant-projet et projet. Parmi les études requises, il importe de déterminer quel sera l'impact de l'aménagement projeté sur les conditions de vent s'offrant aux adeptes de planche à voile et de kitesurf fréquentant la baie de Beauport.

En effet, depuis le milieu des années 1980, la baie de Beauport est un site reconnu dans la région de Québec pour la pratique de la planche à voile. Depuis un peu plus d'une dizaine d'années, la pratique du kitesurf y a également connu un essor considérable. Les fonds sableux, l'absence relative de courants de marée et la constance des vents, surtout ceux issus des secteurs Est et Nord-Est, ont fait de ce site un lieu populaire pour la pratique de ces sports.

En vue de répondre aux questions soulevées quant à l'impact du nouvel aménagement portuaire sur les conditions de vent s'offrant aux adeptes de planche à voile et de kitesurf, l'APQ a chargé Lasalle | NHC de réaliser une étude de modélisation numérique tridimensionnelle de la circulation des vents. Cette étude a pour objectif d'évaluer les conditions de vent sur la baie de Beauport en présence des nouveaux aménagements et de comparer ces conditions à celles prévalant actuellement. L'étude porte essentiellement sur trois directions de vent recherchées par les amateurs de voile fréquentant le site.

Le présent rapport rend compte de la méthodologie et des résultats de l'étude selon six sections distinctes. Le site et le projet d'extension est d'abord décrit à la section 2. La section 3 présente ensuite une analyse du régime des vents applicable au site à l'étude. Les caractéristiques du modèle numérique et les conditions de simulation sont présentées à la section 4. La section 5 présente les résultats. La section 6 expose les conclusions.

2.0 DESCRIPTION DU SITE ET DU PROJET

2.1 Site de la baie de Beauport

Les vents étant généralement influencés par le relief qu'ils rencontrent il apparaît essentiel d'analyser la topographie du secteur étudié afin de mieux comprendre le comportement des vents ainsi que les éventuels effets horographiques de la région. Ce qui suit met donc en évidence les particularités topographiques du site.

La baie de Beauport se situe entre Québec et Beauport et est bordée au sud par la pointe de Beauport et au nord par la rive nord du fleuve Saint-Laurent. La pointe de Beauport fait pratiquement face à la pointe sud-ouest de l'île d'Orléans. La figure 1 illustre la localisation du site à l'étude.

La pointe de Beauport est située à l'embouchure de la rivière Saint-Charles. Cette dernière coule de l'ouest vers l'est sur ses 10 derniers km dans le fond d'une large vallée peu encaissée bordée par la Colline de Québec au sud, avec une centaine de mètres d'altitude, et la zone vallonnée de Charlesbourg au nord (également 100 m d'altitude environ). Sur une distance de 5 km en amont de l'embouchure, l'altitude du fond de la vallée est inférieure à 20 m sur une largeur d'environ 4 km. La figure 2 illustre la topographie du secteur.

Dans l'arrondissement Beauport, soit au nord immédiat de la baie, l'altitude du terrain augmente progressivement sur 2 km, du fleuve Saint-Laurent jusqu'à l'autoroute Felix Leclerc (altitude de 100 m). Au nord de l'autoroute on relève la présence d'un plateau à une centaine de mètre d'altitude sur environ 3 km vers le nord. Plus loin, au nord de Beauport (soit à une douzaine de kilomètres de la baie), la région est plus montagneuse avec des points culminant à plus de 500 m d'altitude (Mont-Saint-Louis, Montagne-des-Trois-Sommets).

À l'est de Montmorency le chenal nord de l'île d'Orléans est encaissé entre la rive nord du Saint-Laurent et la côte nord de l'île, toutes deux présentant un versant abrupt jusqu'à 100 m d'altitude.

Au sud de la baie les points culminants sont la colline de Québec (100 m), avec le Cap Diamant à l'extrémité est, et le secteur Lauzon à Lévis (environ 100 m également).

D'une manière générale la baie de Beauport est donc dans une zone relativement dégagée dans l'axe est-ouest (fleuve Saint-Laurent et vallée de la Saint-Charles) alors que le relief est plus significatif sur l'axe nord-sud avec des altitudes caractéristiques de l'ordre de 100 m (Québec-Lévis, hauteur de Beauport).

2.2 Projet d'extension portuaire – secteur Beauport

Les installations portuaires occupent actuellement la majeure partie de la pointe de Beauport. Les quais sont aménagés sur la berge sud de la pointe. La plage actuelle est située à l'extrémité nord-est de la pointe de Beauport alors que le long de la berge nord, un petit parc est aménagé. Les figures 1 et 3 illustrent les installations portuaires actuelles.

Le projet d'extension consiste à prolonger l'extrémité nord-est de la pointe de Beauport. D'une part la moitié sud de ce prolongement accueillera deux nouveaux quais industriels (610 m de longueur) ainsi que de nouvelles installations telles que des réservoirs cylindriques, des grues, un terminal ferroviaire et une zone de stockage de conteneurs. Les éléments des nouvelles installations présentent diverses hauteurs (voir figure 3) :

- La ligne des nouveaux quais fait un angle de 17 degrés avec la ligne actuelle de quai, le niveau du quai est conservé (5,36 m).
- Le projet prévoit la construction d'une série de quatre réservoirs de 48 m de diamètre et d'une hauteur de 43,3 m au-dessus du niveau du quai, à proximité de la bordure du quai (figure 3);
- Cinq réservoirs de 18,3 m de hauteur seront construits dans la partie centrale de l'extension portuaire;
- La hauteur de l'empilement de conteneurs en bordure de quai a été estimée à 12 m;
- La hauteur des wagons est de 4,65 m.

D'autre part, deux plages et un parc seront aménagés sur la moitié nord du prolongement de la pointe de Beauport. Tel qu'illustré à la figure 3, la plage principale aura une longueur d'environ 300 m (nord-sud) et une largeur de 80 m (est-ouest). La plage secondaire, essentiellement dédiée à la mise à l'eau des kitesurf, sera aménagée sur la berge nord de la pointe. Un brise lame dont la crête d'élève à 5,36 m séparera les deux plages et assurera leur stabilité.

3.0 RÉGIME DES VENTS

3.1 Station météorologique de référence

Les données horaires de vent sont enregistrées de manière systématique à la station d'Environnement Canada à l'Aéroport international Jean-Lesage de Québec. Ce dernier est situé à environ 15 km au sud-ouest de la pointe de Beauport dans une zone rurale dégagée à la topographie relativement plane. De plus, l'axe reliant l'aéroport et la pointe de Beauport est lui aussi dégagé puisqu'il passe dans la vallée de la rivière Saint-Charles (voir section 2.2).

La figure 4 présente la rose des vents obtenue pour la période de 1980 à 2013. Les données mettent en évidence deux secteurs prédominants : le premier, centré sur l'ouest-sud-ouest (OSO) prévaut 54% du temps alors que le secteur est-nord-est (ENE) compte pour 37% des observations. Les secteurs dominants de l'OSO et de l'ENE, qui représentent ainsi près de 90% des épisodes de vent, correspondent à l'orientation de la vallée du Saint-Laurent.

Par ailleurs une station météorologique est exploitée par Environnement Canada sur la pointe de Beauport (station 7010566). Les données de cette station entre 2009 et 2014 permettent d'établir que les vents dominants sont également de l'OSO et de l'ENE avec des fréquences similaires, soit environ 50% pour le secteur OSO et 35% pour le secteur ENE.

La comparaison de ces deux stations montre que les vents enregistrés à l'aéroport Jean-Lesage de Québec sont à la fois bien représentatif du site élargi et du secteur à l'étude. Les

données de vents y étant aisément disponibles sur une très longue période, cette station est alors retenue comme station de référence.

3.2 Vents favorables à la pratique de la planche à voile et du Kitesurf

Les informations recueillies sur les sites spécialisés de planche à voile et de kitesurf permettent de d'établir que les vents les plus intéressants pour la pratique de ces sports sont les vents dominants du secteur ENE en premier lieu, puis les vents du secteur ONO. En revanche, les vents dominants du secteur OSO ne semblent pas être très prisés par les planchistes et kitesurfeurs.

Les vents du secteur ENE sont réputés pour être relativement stables et pour être souvent associés à la présence de vagues consistantes, conditions recherchées par nombre de pratiquants. De plus, d'un point de vue de la sécurité ces vents sont intéressants puisqu'ils soufflent vers la pointe de Beauport et le fond de la Baie.

Les vents du secteur ONO sont plus rares et connus pour être moins stables, caractérisés par de nombreuses rafales, mais offrent un plan d'eau plus lisse dans la baie et à proximité de la pointe de Beauport. Ces vents soufflant vers le large peuvent être plus risqués pour les usagers les moins expérimentés.

4.0 MODÉLISATION NUMÉRIQUE

4.1 Le modèle numérique

La modélisation des écoulements de vent dans le secteur de Québec et de la baie de Beauport a été effectuée à l'aide d'un modèle numérique tridimensionnel de la suite OpenFoam, qui résout par la méthode des volumes finis les équations de base de la dynamique des fluides (équations de Navier-Stokes).

La turbulence de l'écoulement est modélisée à l'aide de la formulation Spalart-Almaras (SA), en régime stationnaire. Ce modèle est largement utilisé en aérodynamique et dans les cas de figure faisant intervenir un écoulement non confiné. La prise en compte de la turbulence permet non seulement d'aboutir à une solution réaliste du champ moyen d'un écoulement turbulent, mais aussi d'évaluer l'intensité turbulente en chacun des points du domaine de calcul.

4.2 Domaine de calcul

La figure 5 présente le domaine modélisé qui englobe un quadrilatère d'environ 12 km de côté centré sur la pointe de Beauport.

La maquette tridimensionnelle de la topographie a été réalisée à partir des cartes numériques au 1/20 000 du Ministère des Ressources Naturelles du Québec (MRN). Ces cartes présentent des courbes de niveaux séparées d'un intervalle de 10 m.

La topographie plus fine de la pointe de Beauport ainsi que les bâtiments des zones urbaines ou industrielles adjacentes proviennent de plans numériques obtenus auprès de la division de l'arpentage et de la cartographie du service de l'ingénierie de la Ville de Québec. Seuls les bâtiments les plus imposants bordant l'estuaire de la rivière Saint-Charles et l'autoroute 440 ont été représentés. Le secteur résidentiel situé entre l'autoroute 440 et la route 138 a été représenté de manière schématique afin de reproduire la rugosité caractéristique du tissu urbain (figure 5).

Les installations portuaires et les bâtiments de la pointe de Beauport ont été reproduits de manière plus détaillée puisque situés dans le voisinage immédiat de la baie et de la plage. Les nouvelles installations portuaires ainsi de les nouvelles plages, incluant le brise lame, ont été reproduites d'après les données fournies par l'APQ.

Les simulations ont été effectuées en considérant le niveau moyen de la marée à Québec soit 0,6 m dans le système géodésique (ou niveau moyen des mers).

Le volume défini par le domaine de calcul a été discrétisé à l'aide d'un maillage hexaédrique comptant environ 5 000 000 d'éléments, permettant de prendre en compte la topographie ainsi que la géométrie des bâtiments. La taille des mailles est variable selon l'importance des détails de l'écoulement que l'on recherche. Ainsi le maillage est raffiné près des surfaces et est plus grossier en altitude.

4.3 Conditions aux limites

Les directions du vent modélisées correspondent aux vents issus des secteurs ENE, ONO et OSO. Compte tenu de l'orientation du domaine de calcul, pour chaque direction de vent, une condition de vitesse est imposée sur deux frontières.

La condition de vitesse se traduit par un profil de vitesses logarithmique caractéristique de la couche limite atmosphérique développée au dessus du secteur d'étude. L'équation suivante décrit ce profil :

$$\frac{U}{U_{ref}} = \frac{\ln\left(\frac{z + Z_0}{Z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref} + Z_0}{Z_0}\right)}$$

Où U est la vitesse, $U_{ref} = 17,1$ m/s est la vitesse de référence à la fin du profil logarithmique (m/s), z est la coordonnée verticale, $z_{ref} = 270$ m est l'altitude de référence à la fin du profil logarithmique et $Z_0 = 0,1$ m est le facteur de rugosité typique d'une zone dégagée. Le profil

ainsi établi présente une vitesse de 10 m/s à 10 m du sol, soit à la hauteur de la station de référence.

Les frontières du modèle sont relativement éloignées de la zone d'intérêt et situées dans des secteurs caractérisés par des constructions de faible hauteur et relativement dégagés, des valeurs typiques des paramètres ont donc été choisies tel que présenté précédemment. Il est important de souligner que la présence des bâtiments dans le secteur de la pointe de Beauport permettra au profil de se développer afin de refléter les conditions du site.

Les résultats seront essentiellement présentés sous la forme d'une vitesse relative définie par le rapport entre la vitesse obtenue en un point et la vitesse du profil de vitesse à l'entrée du modèle à 10 m de hauteur, soit 10 m/s. La vitesse absolue imposée au modèle peut donc être arbitraire.

Les paramètres caractérisant la turbulence ont été réglés de manière à ce que l'intensité turbulente de l'écoulement incident imposé aux frontières du modèle soit représentative de celle d'un vent non perturbé soufflant au-dessus d'une zone à la topographie variable incluant des secteurs construits, soit une valeur typique de $I=0,25$.

L'écoulement aux parois (sol et murs des bâtiments) a été traité par des fonctions de paroi qui permettent de s'affranchir de résoudre les couches limites et donc de réduire les temps de calculs.

Les autres frontières du modèle correspondent à des sorties libres où la pression atmosphérique a été imposée, cette dernière étant définie comme pression de référence dans tout le domaine de calcul.

5.0 IMPACTS ÉOLIENS DU PROJET

Tel qu'indiqué aux sections précédentes, les simulations ont été effectuées pour trois directions de vent :

- Secteur ENE, vents dominants et favorables à la pratique de la planche à voile et du kitesurf;
- Secteur ONO, plus rares mais favorables à la pratique de la planche à voile et du kitesurf;
- Secteur OSO, vents dominants mais moins recherchés par les amateurs de planche à voile et de kitesurf

Les figures 6, 7 et 8 illustrent les résultats obtenus pour chacune de ces directions à trois hauteurs différentes, 1,4 m, 4,4 m et 9,4 m au-dessus du plan d'eau (ce qui correspond à 2 m, 5 m et 10 m d'altitude). Ces valeurs représentent les hauteurs typiques auxquelles le vent interagit avec les voiles des planches à voile et kitesurf.

Les résultats sont présentés sous deux formes :

- Champs de vitesses relatives en conditions actuelles et en conditions futures (rapport entre la vitesse obtenue en un point et la vitesse à 10 m du sol à l'entrée du modèle);
- Champ d'écart relatif de la vitesse permettant d'évaluer l'augmentation ou la diminution de la vitesse en chacun des points de calcul et exprimé en pourcentage.

5.1 Vent de secteur ENE

Les résultats des simulations par vent incident du secteur ENE sont illustrés à la figure 6. L'examen des champs de vitesses permet d'établir que les vents incidents sont légèrement affectés par la topographie de l'île d'Orléans et des chenaux qui la contournent pour donner lieu à une concentration de vitesses au-dessus de la baie de Beauport. En effet, les courants de vents sont canalisés dans les chenaux et se rejoignent dans le secteur de la baie de Beauport avec des vitesses résultantes accrues. Cet aspect est obtenu aussi bien en conditions actuelles qu'après l'extension des installations portuaires et de la plage.

En se référant aux champs d'écart relatif de la vitesse, on constate que l'impact des nouvelles installations portuaires et plages est négligeable sur les vitesses de vent au-dessus de la baie de Beauport, et ce pour les trois hauteurs considérées. Ces résultats concordent bien avec le fait que les obstacles que représentent les nouvelles installations n'interfèrent pas avec les vents incidents du secteur ENE au niveau de la baie.

5.2 Vent de secteur ONO

Les résultats relatifs aux vents de secteur ONO sont présentés à la figure 7. Les champs des vitesses indiquent que les courants de vents sont légèrement perturbés par le relief et les zones construites en bordure de la baie de Beauport. On note la présence de vitesses plus faibles dans la partie nord de la baie, notamment dans le sillage de l'autoroute 440 et de bâtiments adjacents.

En conditions futures par vent de secteur ONO, une zone de vitesses plus faibles se développe dans le sillage du brise lame projeté. On note une réduction importante des vitesses au pied immédiat de la structure, côté sud-est, alors que l'effet s'atténue rapidement après une centaine de mètres la réduction n'est plus que de 10 à 20% sur une étroite bande pour devenir négligeable après 200 m.

Au sud du brise-lame, la présence de la pente de la plage permet d'éviter un décollement au sud-est de la plage. Les courants de vent suivent la topographie de la plage sans diminution significative de vitesse au large.

Au sud des installations du port, on relève également des zones de vitesses faibles caractéristiques du sillage induit par le quai et les bâtiments. En conditions futures cette zone de vitesses faibles s'étend vers l'est du fait de la présence des nouveaux réservoirs et de navires de grandes dimensions.

Au sud-est de la pointe de Beauport le relief du secteur de Lévis (Lauzon) induit une concentration des vitesses vers le chenal sud de l'île d'Orléans.

5.3 Vent de secteur OSO

Par vent de secteur OSO, les résultats présentés à la figure 8 indiquent en premier lieu que la pointe de Beauport conduit à une zone de vitesses plus faibles au nord-est dans l'axe du vent.

Ensuite, on note une veine de vitesses plus importantes dans l'axe de l'estuaire de la rivière Saint-Charles (plus perceptible à 9,4 m) qui s'explique par la concentration des courants issus du chenal du Saint-Laurent entre Québec et Lévis et de la vallée de la Saint-Charles (rencontre des courants après contournement de la colline de Québec). L'obstacle de la pointe de Beauport tend à accentuer cette concentration de vitesses au sud.

La présence des nouvelles installations du port (quai, réservoirs et navires) conduit à accentuer l'effet de sillage avec une diminution marquée des vitesses entre l'état actuel et l'état futur au nord-est. La restriction accrue due aux nouveaux aménagements conduit également à une augmentation des vitesses en bordure de la zone de sillage. Les effets notables demeurent locaux à proximité du port et sur une étroite bande s'étendant au large dans l'axe du vent (vers le nord-est). À toute fin pratique, la baie de Beauport n'est pas touchée par ces effets aérodynamiques se produisant par vent de secteur OSO.

6.0 CONCLUSIONS

L'étude de modélisation numériques des vents sur le secteur de la baie de Beauport a été réalisée par Lasalle | NHC dans le cadre du projet d'extension port de Québec à la pointe de Beauport. L'étude visait essentiellement à évaluer les impacts sur le régime des vents dans la baie de Beauport où se pratiquent la planche à voile et le kitesurf.

Les simulations effectuées à l'aide du logiciel de modélisation tridimensionnelle des écoulements, OpenFoam, a permis d'établir les champs de vitesses des vents à 1,4 m, 4,4 m et 9,4 au-dessus du niveau moyen de marée au port de Québec dans les configurations actuelles et futures pour trois directions de vent. Ces dernières étant l'est-nord-est (ENE), l'ouest-nord-ouest (ONO) et l'ouest-sud-ouest (OSO) ont été retenues en fonction de leur caractère prédominant (ENE, OSO) et favorable (ENE, ONO) à la pratique des sports de voile tels que la planche à voile et le kitesurf.

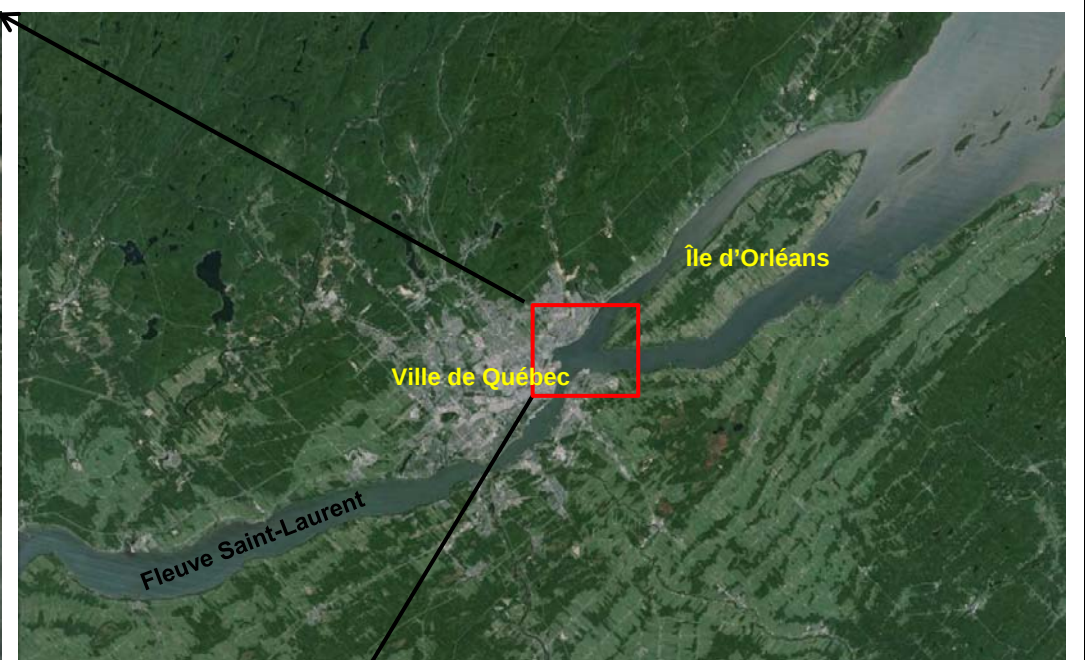
Les résultats montrent que d'une manière générale les nouvelles installations portuaires ainsi que les projets de nouvelles plages, incluant un brise-lame, ne génèrent pas d'impact notable sur le régime des vents dans la baie de Beauport qui pourrait perturber la pratique de la planche à voile et du kitesurf.

Les diminutions de vitesses sont principalement localisées, soit au sud du port, entre la pointe de Beauport et Lévis, soit à l'est de la pointe de Beauport, dans l'axe de l'île d'Orléans.

Il est à noter que la pente de la plage principale permet aux courants des vents de l'ONO et de l'OSO de circuler sans décollement au passage de la plage, ce qui contribue à éviter la formation d'une zone de vitesses faibles à l'est de la plage, contrairement à ce qui est obtenu à l'est de l'extension portuaire.

7.0 RÉFÉRENCES

- [1] Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti - J. Gandemer et A. Guyot - Ministère de la Qualité de la vie - France 1976.
- [2] Architectural Aerodynamics by R.M. Aynsley, W. Melbourne and B.J. Vickery - Applied Science Publishers Ltd. London.
- [3] Élaboration d'outils méthodologiques et techniques d'aide à la conception d'ambiances urbaines de qualité pour favoriser le développement durable des villes - S. Reiter – Thèse de doctorat de l'Université Catholique de Louvain, Belgique.



Région de Québec

Secteur de la baie de Beauport

lasalle 

CLIENT :

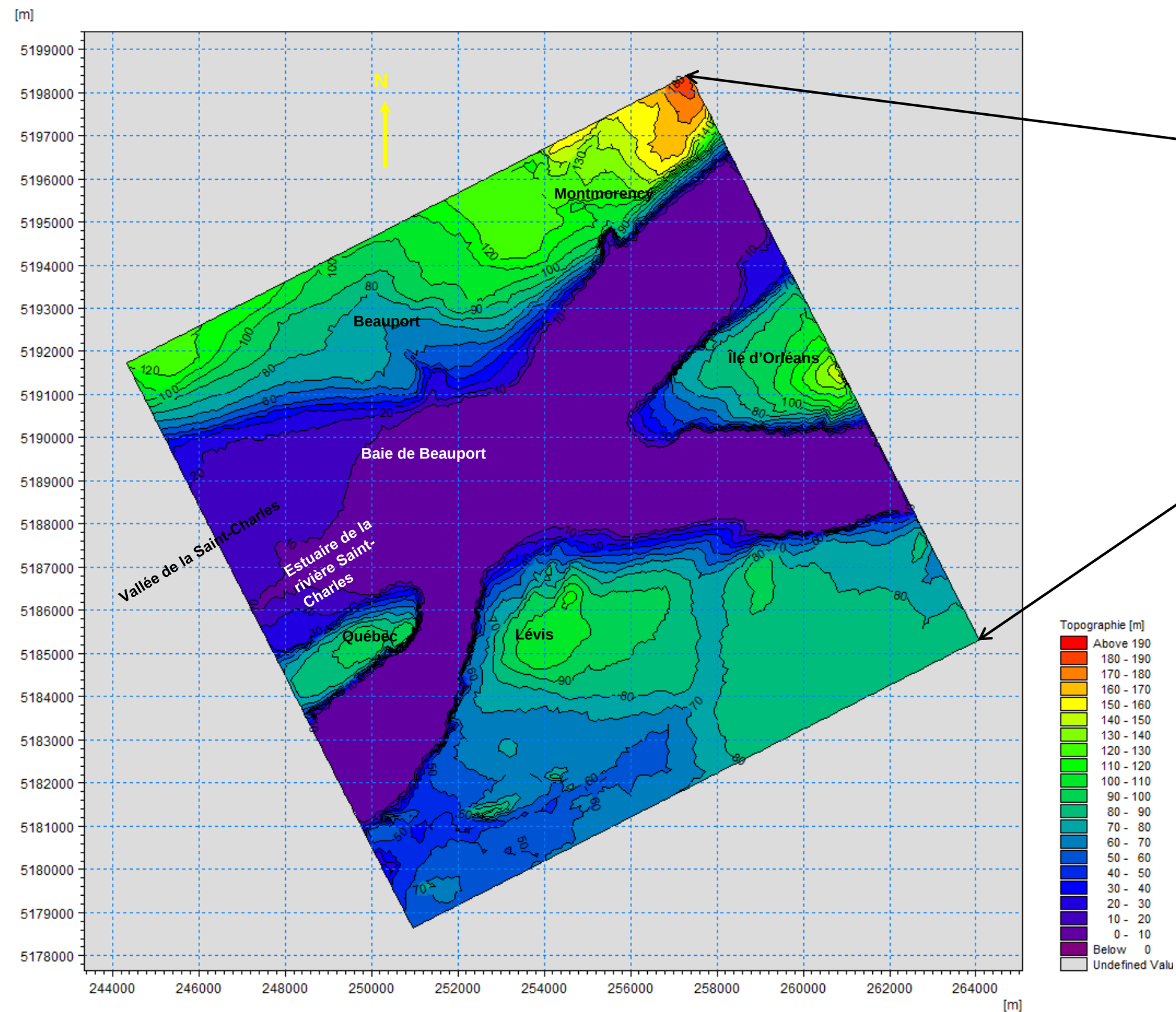


PROJET: PORT DE QUÉBEC
EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT
Modélisation numérique des impacts éoliens

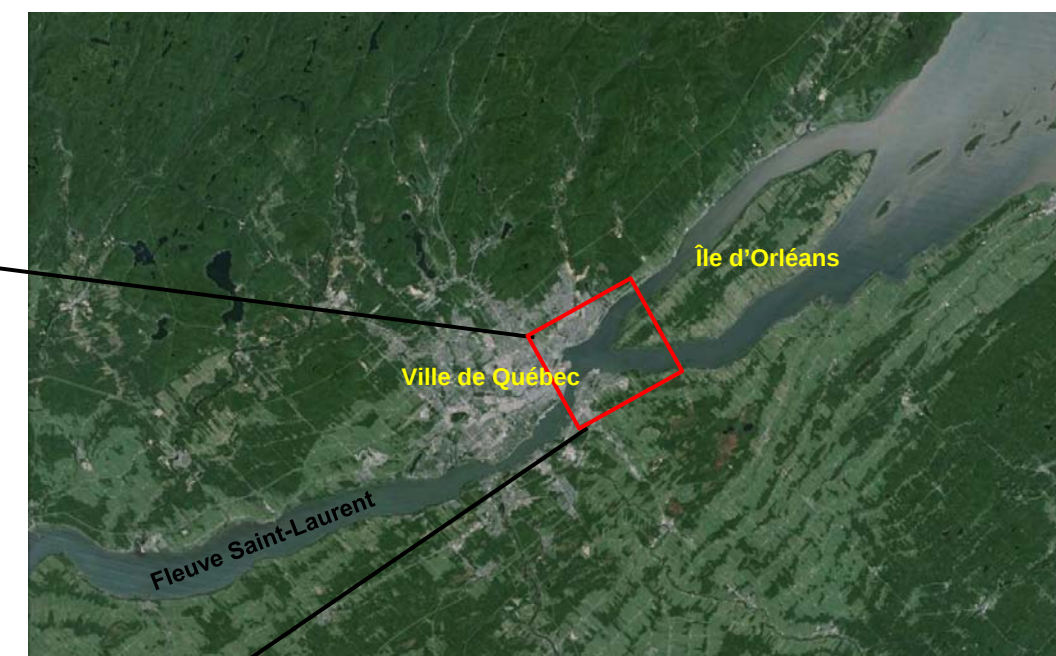
TITRE : Localisation

PRÉPARÉ PAR : T.A.	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : 414-107
-----------------------	------------------------	---------------------------

DATE: Septembre 2014	FIGURE : 1
-------------------------	----------------------



Topographie du site à l'étude



Région de Québec

lasalle **nhc**

CLIENT :

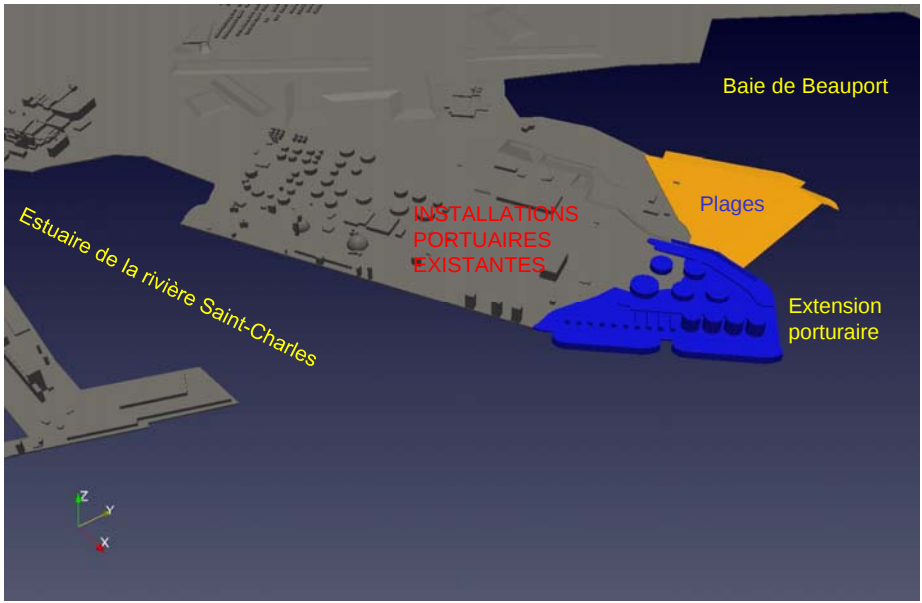
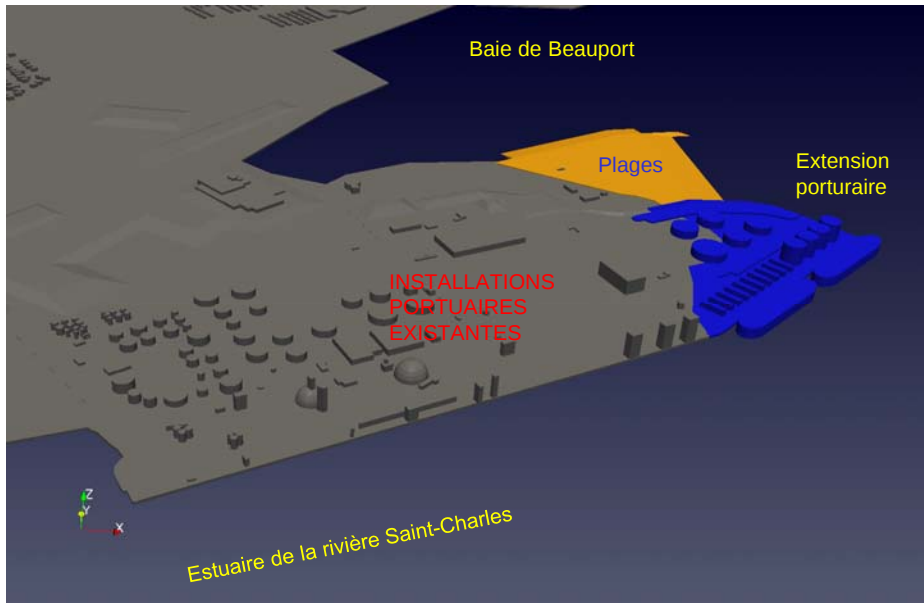
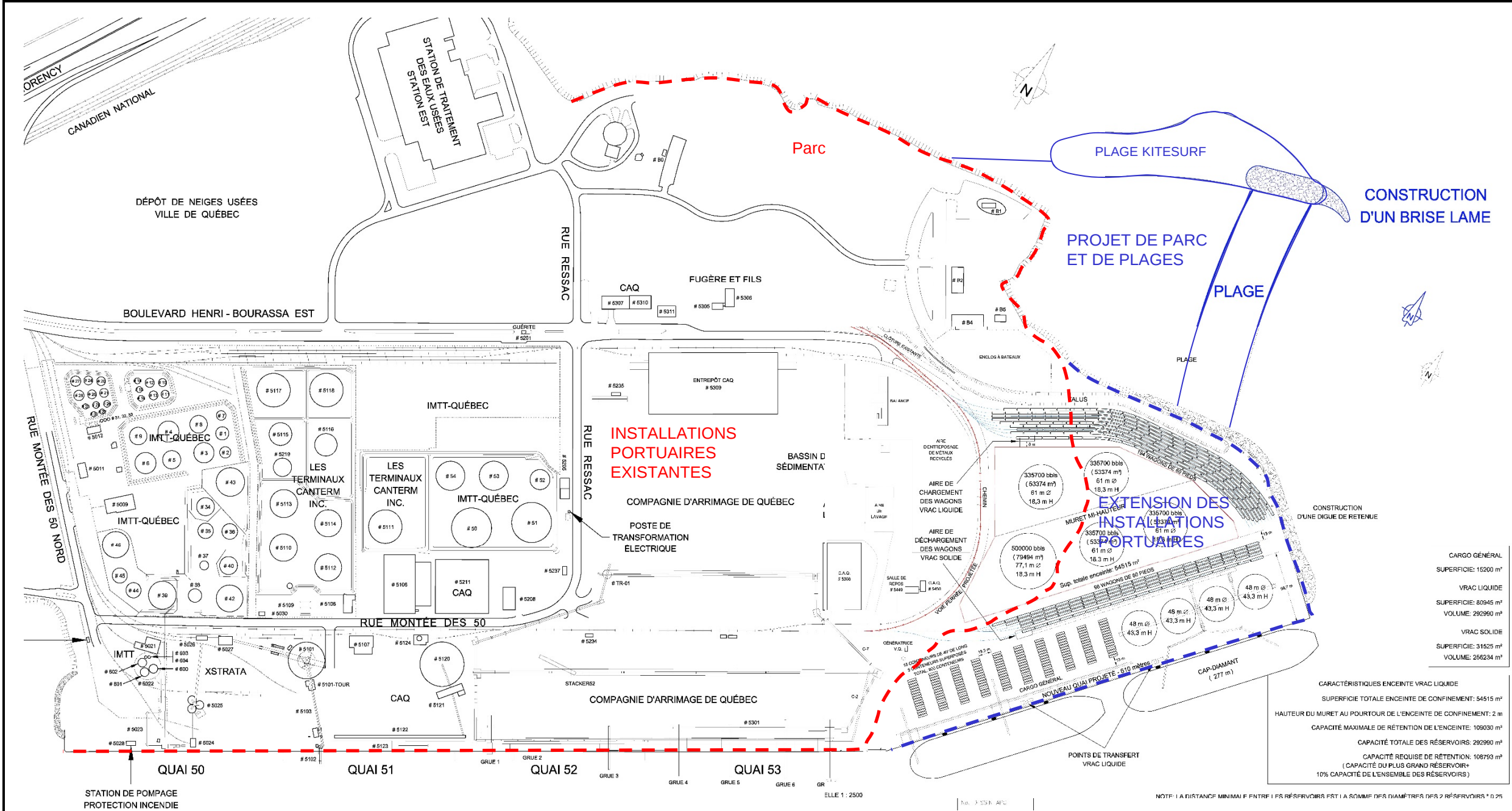


PROJET: PORT DE QUÉBEC
EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT
Modélisation numérique des impacts
éoliens

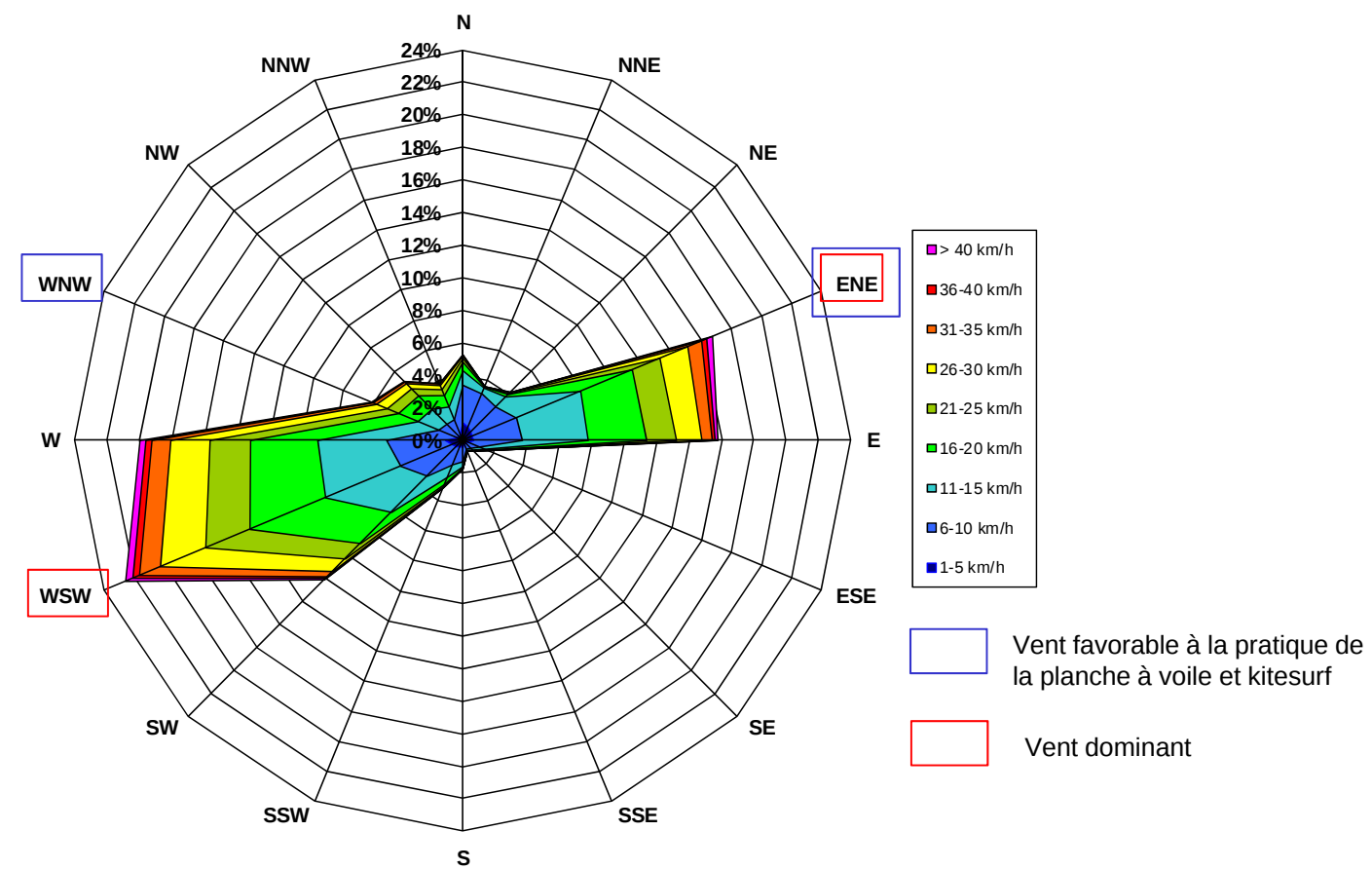
TITRE :
Topographie

PRÉPARÉ PAR : T.A.	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : 414-107
-----------------------	------------------------	---------------------------

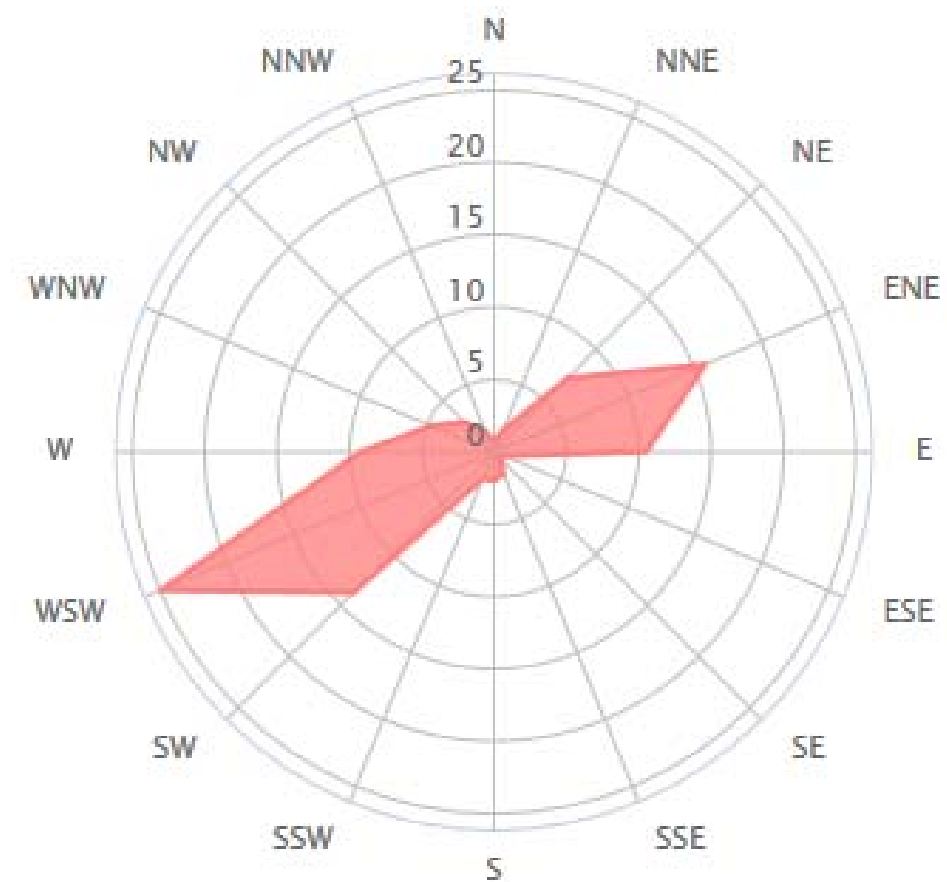
DATE: Septembre 2014	FIGURE : 2
-------------------------	----------------------



lasallenhc		
CLIENT : 		
PROJET: PORT DE QUÉBEC EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT Modélisation numérique des impacts éoliens		
TITRE : Projet d'extension		
PRÉPARÉ PAR : T.A.	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : 414-107
DATE: Septembre 2014	FIGURE : 3	



a) Rose des vents à l'aéroport international Jean-Lesage de Québec
1980-2013 – Environnement Canada



b) Rose des vents à la pointe de Beauport
2009-2014

lasalle **nhc**

CLIENT :

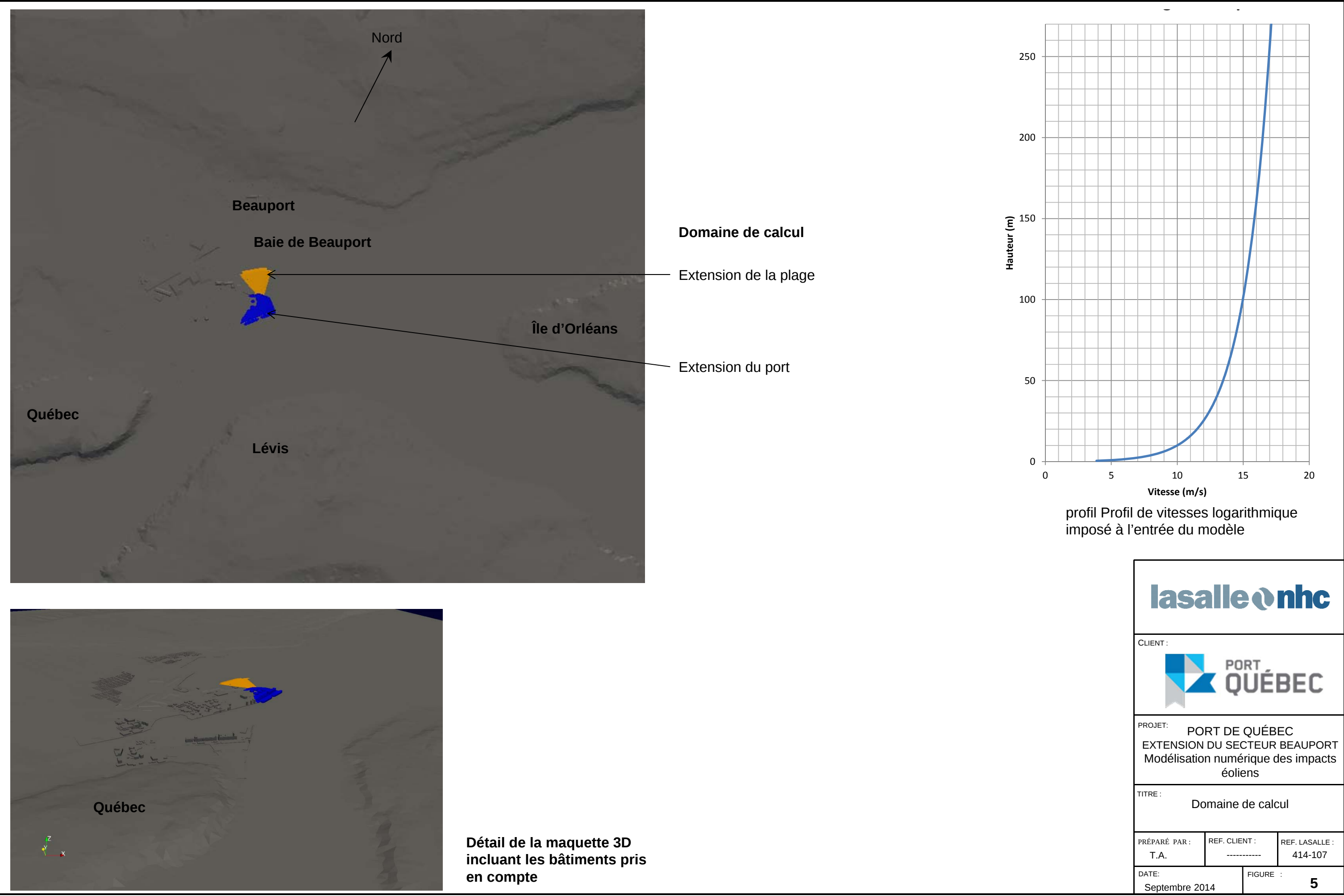


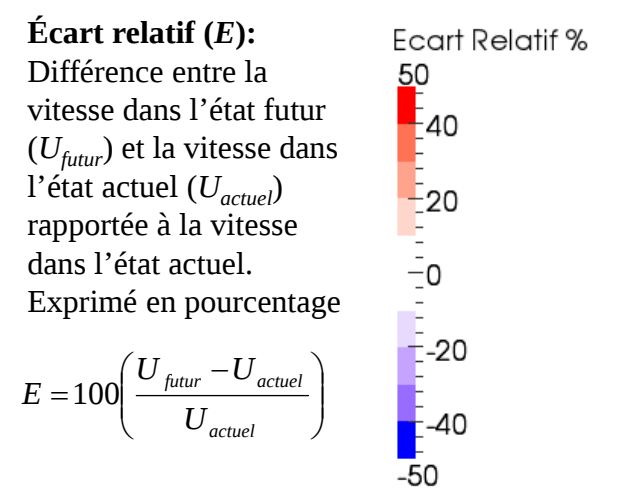
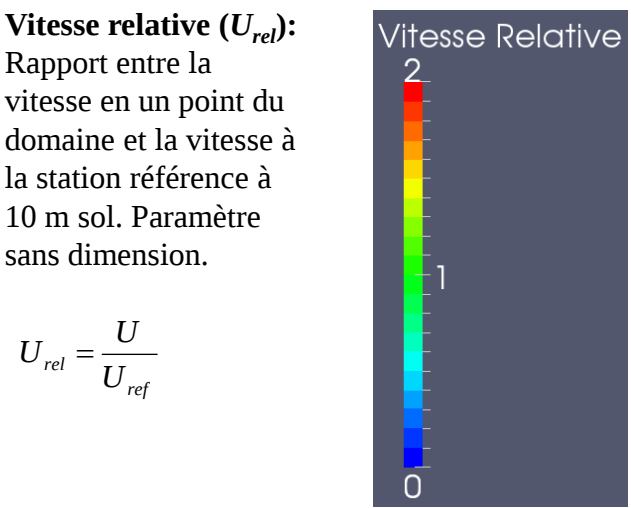
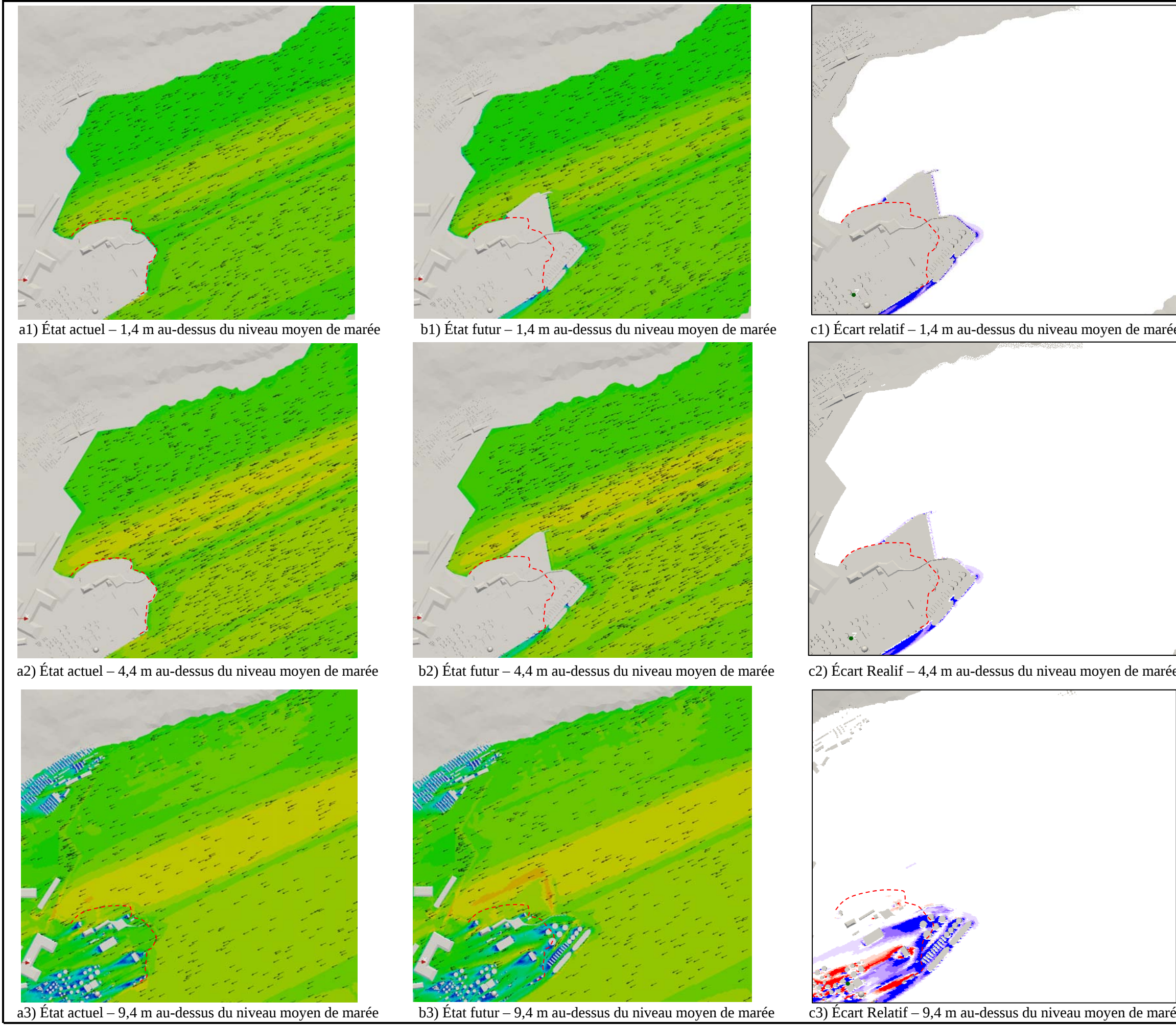
PROJET: PORT DE QUÉBEC
EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT
Modélisation numérique des impacts éoliens

TITRE : Régime des vents

PRÉPARÉ PAR : T.A.	REF. CLIENT : -----	REF. LASALLE : 414-107
-----------------------	------------------------	---------------------------

DATE: Septembre 2014	FIGURE : 4
-------------------------	----------------------





----- Limite actuelle de la pointe de Beauport

CLIENT :

PROJET: PORT DE QUÉBEC
EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT
Modélisation numérique des impacts éoliens

TITRE :
Vitesses relative et écart relatif
Vent de secteur ENE

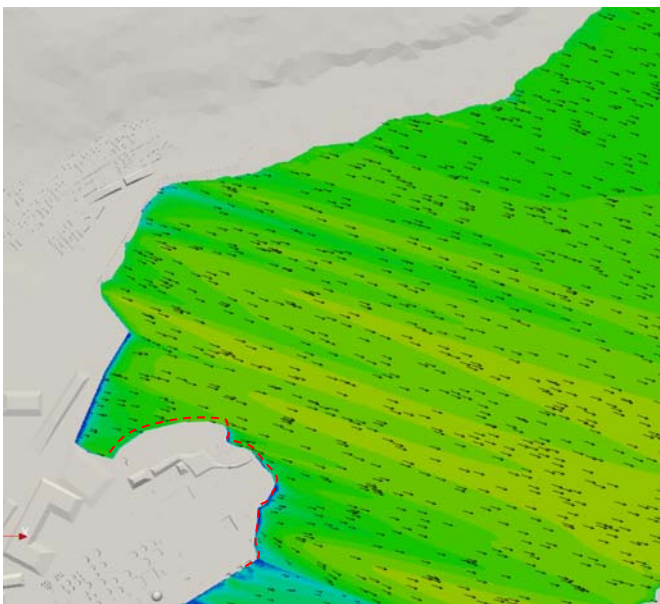
PRÉPARÉ PAR :
T.A.

REF. CLIENT :

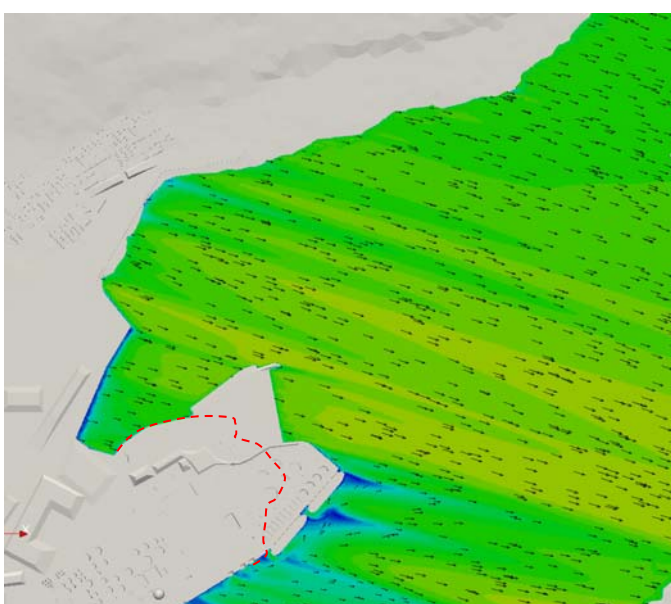
REF. LASALLE :
414-107

DATE:
Septembre 2014

FIGURE :
6



a1) État actuel – 1,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



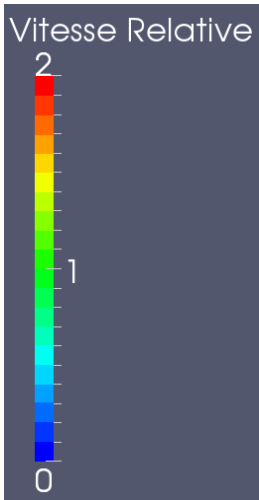
b1) État futur – 1,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



c1) Écart relatif – 1,4 m au-dessus du niveau moyen de marée

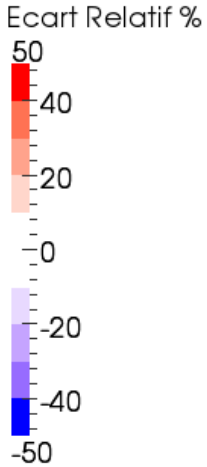
Vitesse relative (U_{rel}):
Rapport entre la
vitesse en un point du
domaine et la vitesse à
la station référence à
10 m sol. Paramètre
sans dimension.

$$U_{rel} = \frac{U}{U_{ref}}$$

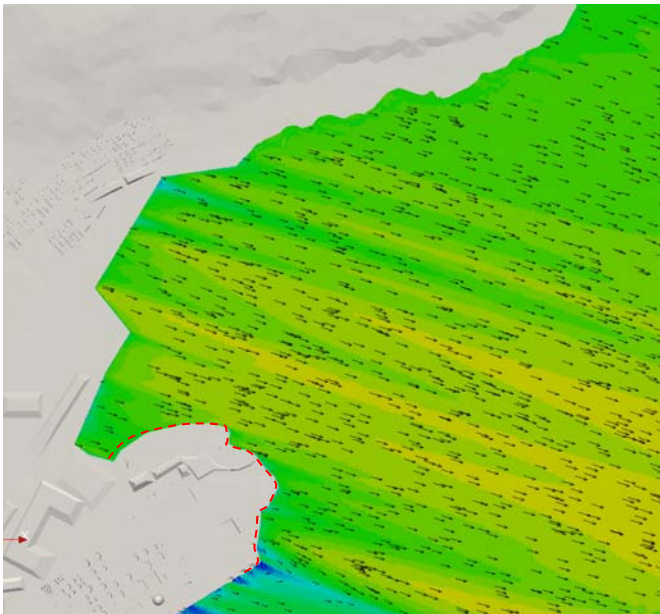


Écart relatif (E):
Différence entre la
vitesse dans l'état futur
(U_{futur}) et la vitesse dans
l'état actuel (U_{actuel})
rapportée à la vitesse
dans l'état actuel.
Exprimé en pourcentage

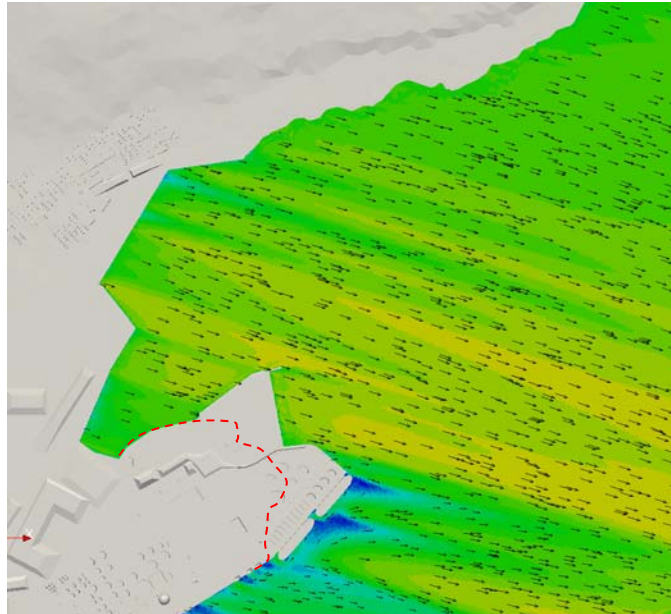
$$E = 100 \left(\frac{U_{futur} - U_{actuel}}{U_{actuel}} \right)$$



----- Limite actuelle de la pointe de Beauport



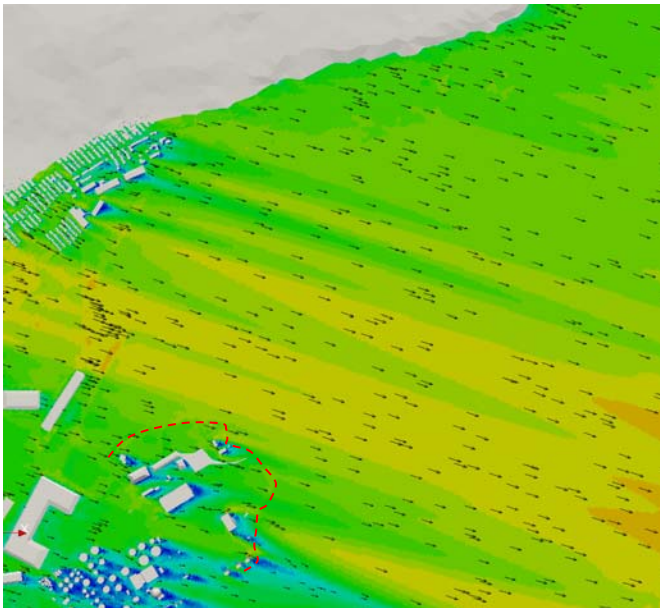
a2) État actuel – 4,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



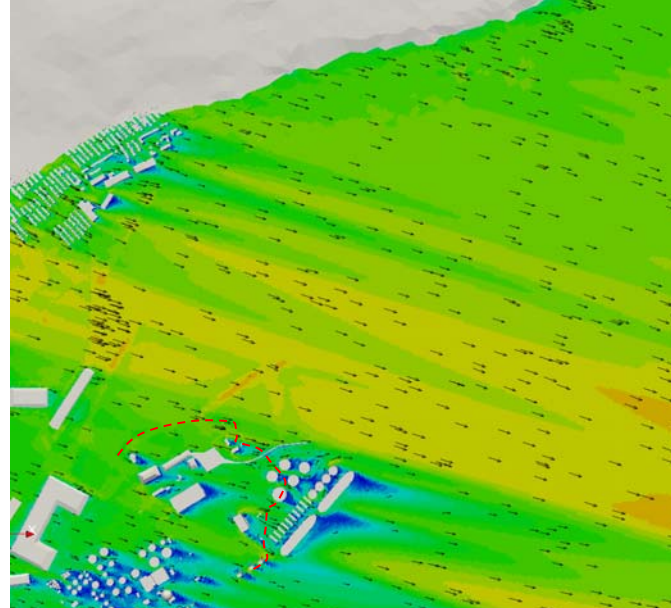
b2) État futur – 4,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



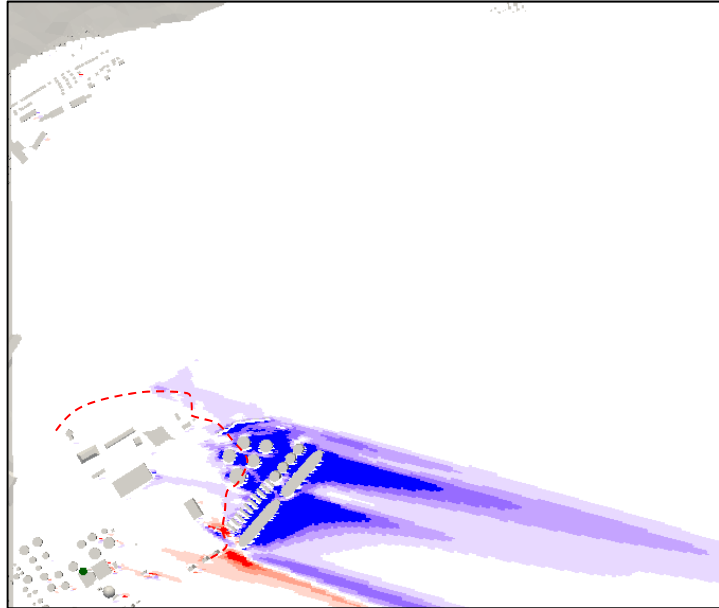
c2) Écart Relatif – 4,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



a3) État actuel – 9,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



b3) État futur – 9,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



c3) Écart Relatif – 9,4 m au-dessus du niveau moyen de marée

lasalle **nhc**

CLIENT :



PROJET :

PORT DE QUÉBEC
EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT
Modélisation numérique des impacts
éoliens

TITRE :

Vitesses relative et écart relatif
Vent de secteur ONO

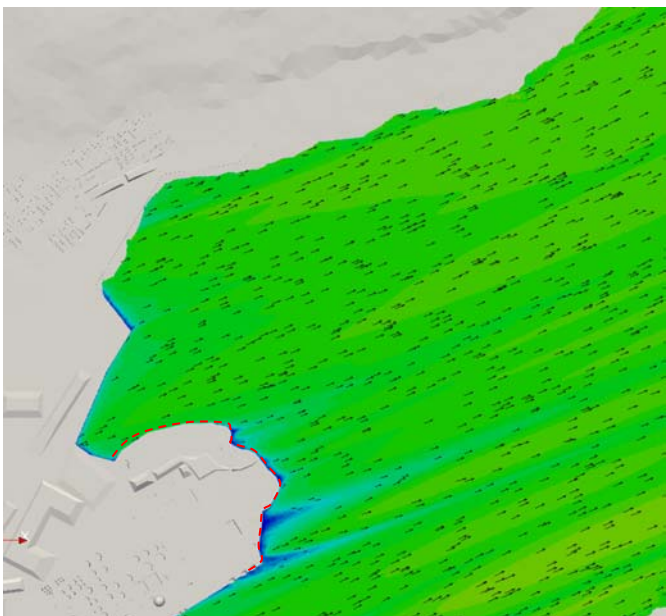
PRÉPARÉ PAR :
T.A.

REF. CLIENT :

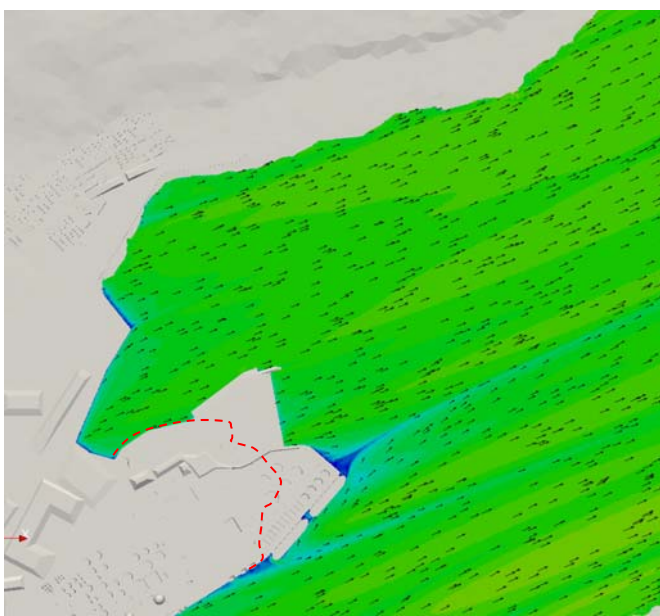
REF. LASALLE :
414-107

DATE:
Septembre 2014

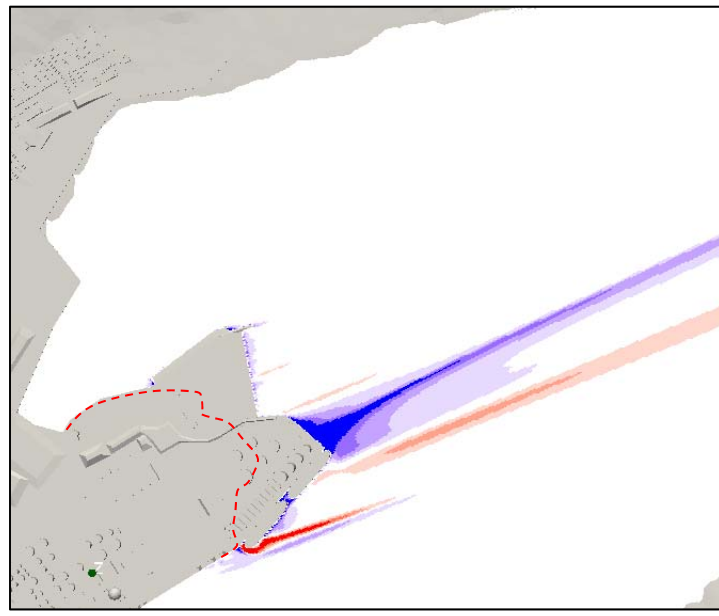
FIGURE :
7



a1) État actuel – 1,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



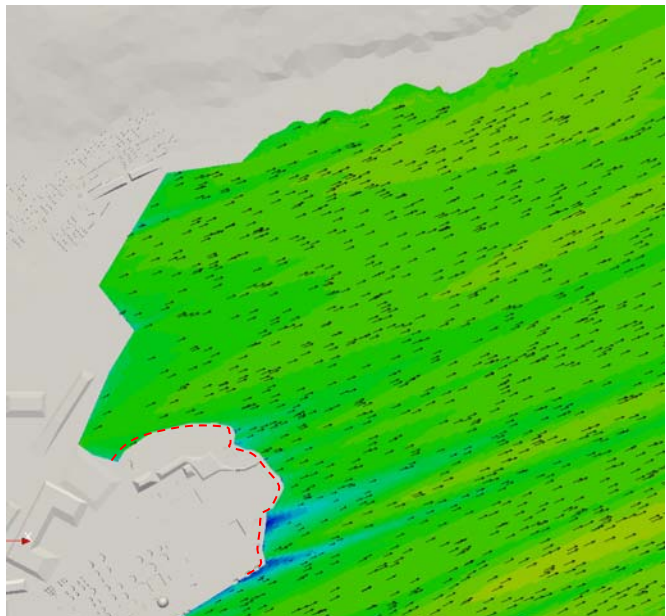
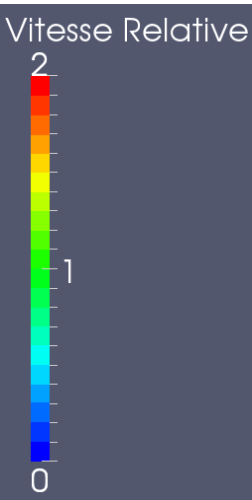
b1) État futur – 1,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



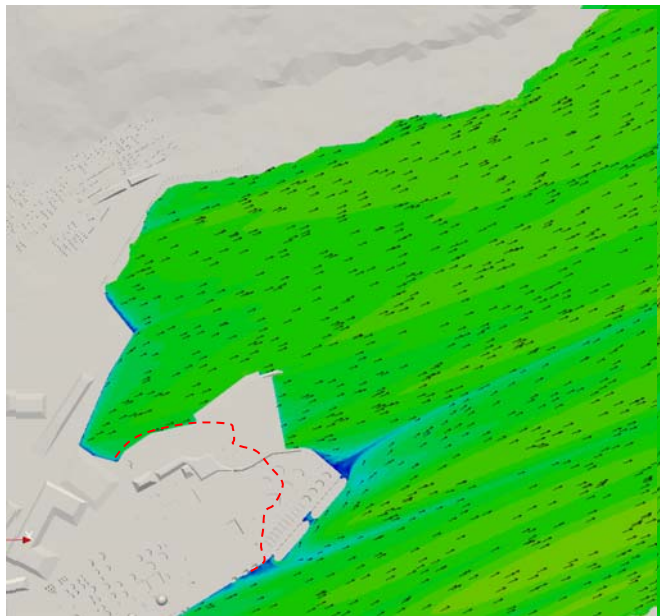
c1) Écart relatif – 1,4 m au-dessus du niveau moyen de marée

Vitesse relative (U_{rel}):
Rapport entre la vitesse en un point du domaine et la vitesse à la station référence à 10 m sol. Paramètre sans dimension.

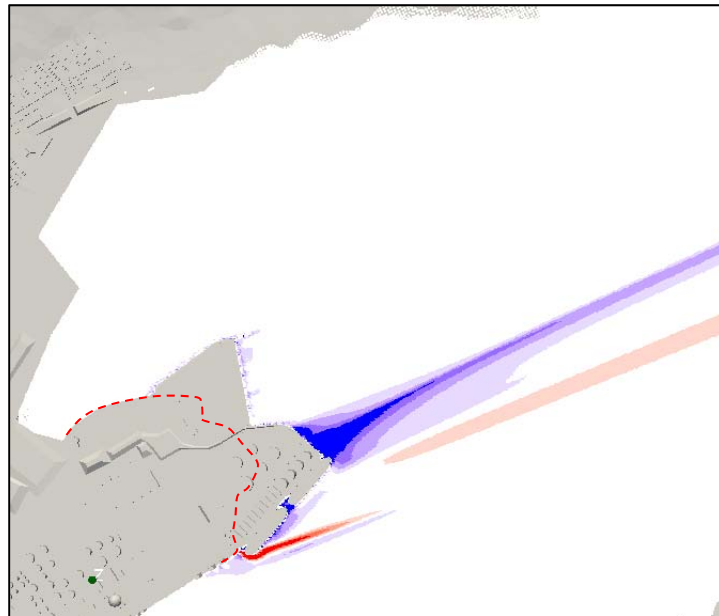
$$U_{rel} = \frac{U}{U_{10}}$$



a2) État actuel – 4,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



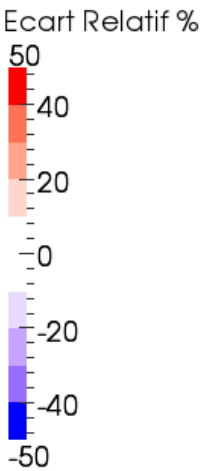
b2) État futur – 4,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



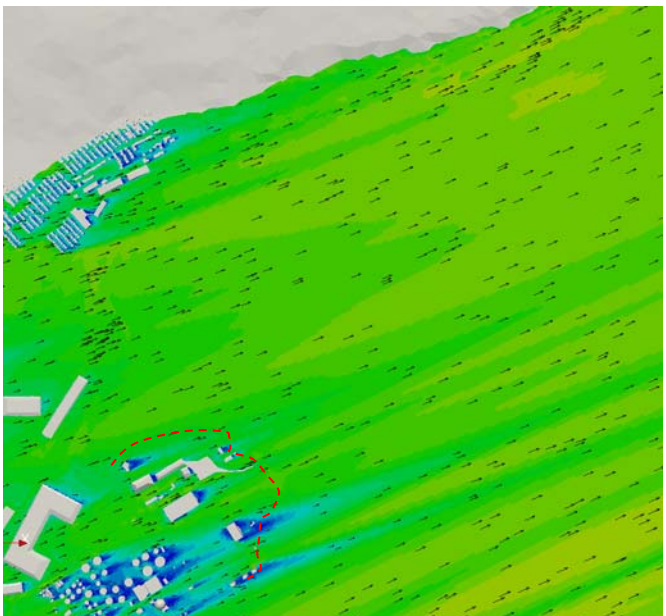
c2) Écart Relatif – 4,4 m au-dessus du niveau moyen de marée

Écart relatif (E):
Différence entre la vitesse dans l'état futur (U_{futur}) et la vitesse dans l'état actuel (U_{actuel}) rapportée à la vitesse dans l'état actuel. Exprimé en pourcentage

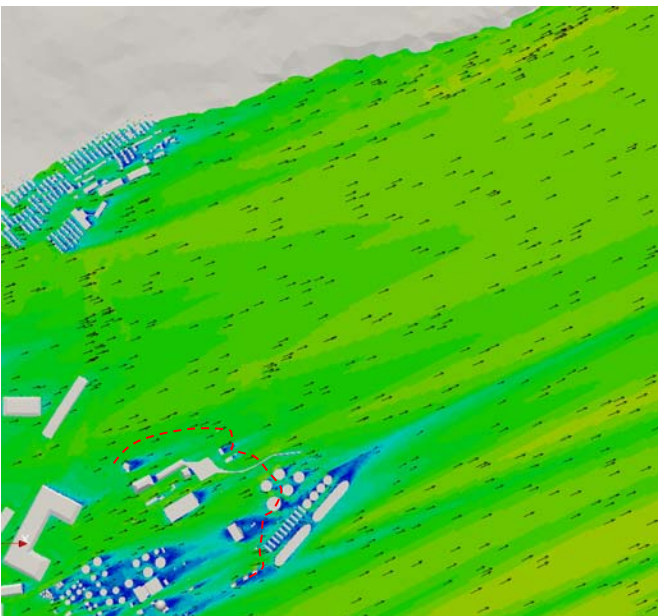
$$E = 100 \left(\frac{U_{futur} - U_{actuel}}{U_{actuel}} \right)$$



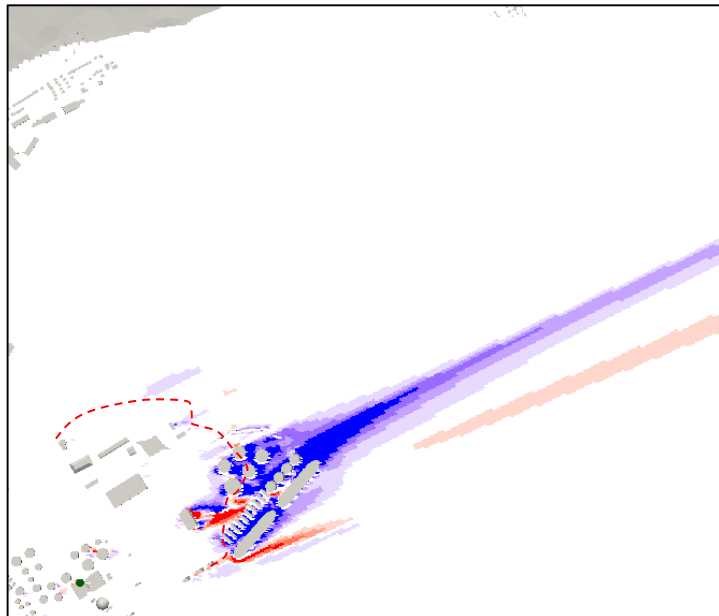
----- Limite actuelle de la pointe de Beauport



a3) État actuel – 9,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



b3) État futur – 9,4 m au-dessus du niveau moyen de marée



c3) Écart Relatif – 9,4 m au-dessus du niveau moyen de marée

lasalle **nhc**

CLIENT :



PROJET :

PORT DE QUÉBEC
EXTENSION DU SECTEUR BEAUPORT
Modélisation numérique des impacts éoliens

TITRE :

Vitesses relative et écart relatif
Vent de secteur OSO

PRÉPARÉ PAR :
T.A.

REF. CLIENT :

REF. LASALLE :
414-107

DATE:
Septembre 2014

FIGURE :
8