



Montréal, Québec
May 29 to June 1, 2013 / 29 mai au 1 juin 2013

Titre : GÉNÉRATION ET CALIBRATION D'UN CLIMAT DE VAGUES AU DROIT D'INSTALLATIONS PORTUAIRES; CAS D'APPLICATION AU CONTEXTE DE RESTAURATION DE L'ANSE DU MOULIN, ALCOA, BAIE-COMEAU

Auteurs :

1. Nicolas Guillemette, ing., M.Sc. GENIVAR Inc., Québec, Canada
2. Pierre Dupuis, ing., M.Sc. GENIVAR Inc., Québec, Canada
3. Steve Renaud, ing., M.Sc. GENIVAR Inc., Québec, Canada
4. Vincent Métivier, ing.jr., M.Sc. GENIVAR Inc., Québec, Canada
5. Mark Mahoney, Principal Engineer, Anchor QEA, Beverly, Massachusetts, USA

Résumé: L'élaboration d'un schéma numérique permettant la caractérisation du climat de vagues en eau profonde demeure un des éléments clés pour la conception d'ouvrages côtiers. Pour ce faire, le choix de la localisation du point de génération des vagues, ainsi que la connaissance des conditions de vents et de glace à proximité du site d'étude s'avèrent des éléments essentiels à la bonne représentation du climat de vagues en eau profonde. En combinant la connaissance des caractéristiques des vagues mesurées à proximité de la côte avec l'utilisation d'un modèle numérique de propagation, il devient alors possible de procéder à une calibration précise basée sur des événements observés et d'obtenir une procédure fiable de prédiction des vagues à proximité des ouvrages côtiers. Un tel schéma de prédiction a été utilisé au droit des installations portuaires d'ALCOA dans le cadre du projet de réhabilitation de l'Anse du Moulin à Baie-Comeau. La prédiction et validation du climat de vague à proximité des ouvrages portuaires a permis d'établir les hauteurs de vagues pour la conception d'une cellule de confinement de sédiments dragués, de se prononcer sur la stabilité des sédiments et la circulation générale des courants sous diverses conditions hydrodynamiques et finalement, de procéder à l'évaluation des impacts des travaux proposés sur l'hydrodynamisme et la dynamique sédimentaire.

1 Introduction

GENIVAR Inc. (GENIVAR) a été mandaté par ALCOA Ltée (ALCOA) pour effectuer une étude hydrodynamique dans le cadre du projet de réhabilitation des sédiments contaminés de l'Anse du Moulin (ADM) à Baie-Comeau. L'objectif principal de l'étude était de mieux comprendre les processus hydrodynamiques et la dynamique sédimentaire à l'intérieur de l'ADM, afin de supporter l'étude de faisabilité et les travaux de restauration, ainsi que l'évaluation des impacts sur le milieu marin.

Une campagne de relevés a été réalisée dans l'ADM du 3 octobre au 22 novembre 2011. Cette campagne visait notamment à mesurer, à l'aide d'un ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), certains paramètres hydrodynamiques dans le but de valider le climat de vagues à l'entrée de l'anse et de mieux comprendre la circulation générale et les processus sédimentaires sous diverses conditions hydrodynamiques. L'étude, qui s'est déroulée en deux phases, a permis, en s'appuyant sur les données

mesurées, de valider dans un premier temps le climat de vagues à l'entrée de l'ADM et de décrire par la suite, les processus hydrodynamiques afin de mieux comprendre la dynamique sédimentaire du secteur.

2 Description du Milieu

2.1 Bathymétrie et Hydrographie

L'ADM est une petite anse qui reçoit les eaux du ruisseau du Moulin située au centre de la côte ouest de la baie des Anglais. De petite dimension, soit environ 250 m par 250 m, cette anse a été modifiée au fil des années pour s'adapter aux opérations portuaires. À l'intérieur de l'ADM, les profondeurs maximales sont de l'ordre de 10 à 12 m et forment le chenal d'approche et la zone d'accostage au sud. Cette zone de navigation, d'une largeur d'environ 65 m, est orientée selon un axe sud-ouest - nord-est vers la baie des Anglais. En dehors de cette zone, les profondeurs diminuent graduellement vers le nord-ouest où se décharge le ruisseau du Moulin.

2.2 Marées et niveaux d'eau

L'estuaire du Saint-Laurent est sous l'influence de marées de type mixte semi-diurne. Dans la région de Baie-Comeau, le niveau d'eau calculé à partir des données prédites pour la pleine mer supérieure de grande marée (PMSGM) est de 4,2 m par rapport au zéro des cartes, alors que le niveau de pleine mer supérieur de marée moyenne (PMSMM) est de 3,4 m. Le marnage varie de 3,0 m en période de marée moyenne à 4,3 m en période de grande marée. Les niveaux d'eau extrêmes atteints lors de pleines et de basses mers sont respectivement de 4,9 et -0,9 m.

2.3 Régime de vents et vagues

Les normales climatiques, calculées à partir des données mesurées entre 1970 et 2011 à la station de Baie-Comeau (A) située à l'aéroport de Baie-Comeau, indiquent que les vents dominants proviennent surtout de l'est-nord-est, du sud-ouest et de l'ouest. Les rafales extrêmes de vents proviennent surtout du nord-est en décembre et en janvier, et des vitesses de pointe instantanées atteignant jusqu'à 131 km/h ont été mesurées. Il est à noter que l'importance du couvert de glace pouvant être présent dans l'estuaire maritime du Saint-Laurent influence les vitesses des vents enregistrées durant la période hivernale.

La génération des vagues en eau profonde utilise les données de vents de la station de Baie-Comeau pour cette même période comprise entre 1970 et 2011. La rose des vagues obtenue indique que les hauteurs de vagues les plus élevées (> 1.5 m) et les plus fréquentes au large proviennent de l'est, du sud-sud-ouest et, dans une moindre mesure, de l'est-sud-est. Les hauteurs de vagues au large provenant de l'est sont de 3,0, 3,3 et 3,6 m pour des périodes de retour respectives de 25, 50 et 100 ans.

3 Calibration du climat de vagues à l'entrée de l'ADM

Un modèle paramétrique de prédiction des vagues (Dupuis et al., 1996) basé sur les mesures de vents a permis, tel que décrit précédemment, de générer le climat de vagues en eau profonde à la suite d'un choix judicieux de localisation du point focal à l'intérieur de la Baie des Anglais au large de l'ADM. Le climat de vagues obtenu à ce point précis a par la suite été propagé à l'aide du modèle numérique STWAVE (Smith et al. 2001) qui tient compte du phénomène de remontée du fond, de réfraction et diffraction des vagues, afin d'obtenir le climat de vagues à l'entrée de l'ADM. Cet exercice de génération et transformation des vagues, rendu possible par le couplage de ces deux modèles, a été effectué à deux reprises en utilisant les données de vents mesurées respectivement à la station de Baie-Comeau (A) et Mont-Joli. Cette comparaison a été effectuée pour étudier les différences découlant du choix d'une station située à proximité du site d'étude (Baie-Comeau) et d'une station plus éloignée (Mont-Joli) dont l'exposition sur le front marin diffère aussi de ce qu'on retrouve sur la côte nord de l'estuaire du Saint-Laurent. Les résultats ont par la suite été comparés aux données de vagues mesurées par deux ADCP entre le 3 octobre et le 22 novembre 2011.

Les résultats obtenus (figure 1) démontrent la capacité du schéma utilisé, constitué d'un modèle de prédiction des vagues au large, couplé à un modèle de propagation des vagues du large vers la côte, à générer un signal représentatif des hauteurs de vagues par rapport aux données mesurées et ce, sur une période de plus d'un mois. La comparaison entre les signaux générés par les deux stations de vents permet d'apprécier la différence que peut engendrer la localisation et l'exposition de la station de mesure de vents par rapport au front marin, soit des différences significatives observées au niveau de la magnitude et du décalage temporel du signal simulé par rapport au signal mesuré. Une fois validé, on peut alors reproduire le climat de vagues sur une longue période et en déduire les statistiques pertinentes pour fins de conception, ainsi que pour la description des conditions hydrodynamiques locales.

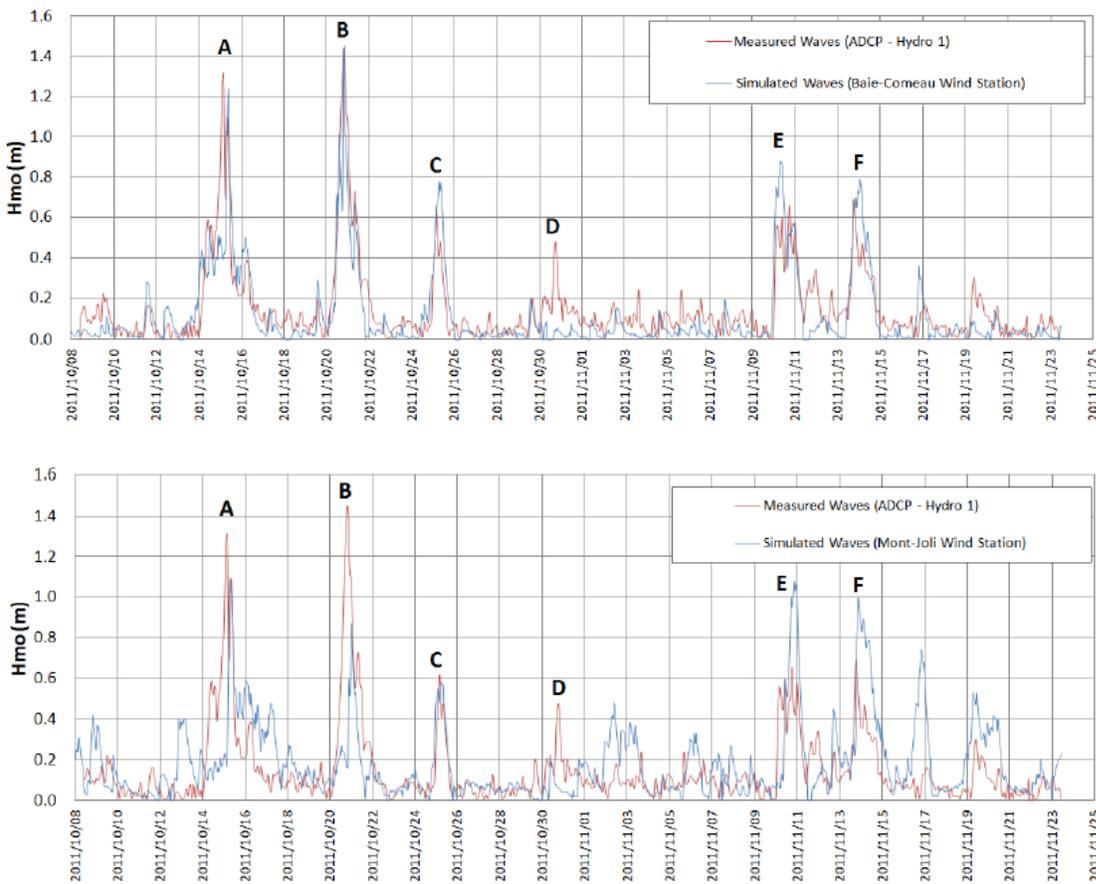


Figure 1 : Résultats de calibration du modèle de vague à partir des mesures de vents de la station de Baie-Comeau (A) et Mont-Joli

4 Évènements de tempêtes

Une tempête significative a eu lieu le 23 avril 2012 dans la région de Baie-Comeau avec des hauteurs de vagues qui ont atteint un peu plus de 2m à l'entrée de l'ADM. Le modèle de propagation des vagues CGWAVE (Demirbilek and Panchang, 1998), qui tient compte du phénomène de réflexion des vagues, a été utilisé afin de simuler et reproduire les conditions de vagues observées lors de cet évènement. Les résultats démontrent que les hauteurs de vagues simulées à l'intérieur du secteur des quais, où le phénomène de réflexion et de superposition des vagues est accentué par la présence des murs de palplanches, correspondent aux hauteurs de vagues et conditions observées par des personnes témoins lors de cet évènement.

5 Stabilité des sédiments

La cartographie de la stabilité des sédiments de l'ADM a été établie en effectuant la comparaison des contraintes de cisaillement critiques associées à la granulométrie du fond marin par rapport aux contraintes de cisaillement maximales induites par les courants et les vitesses orbitales des vagues. Différentes conditions représentatives de vagues en provenance de l'est ont été propagées à l'intérieur de l'ADM, afin de se prononcer sur le niveau de stabilité des sédiments et la variabilité spatiale de cette composante. Il est important de mentionner que la zone de déferlement des vagues injecte un niveau de turbulence et d'énergie significative à l'intérieur de la colonne d'eau qui génère la remise en suspension et le transport de sédiments le long de la côte. Pour cette raison, cette zone de déferlement est nécessairement considérée comme instable.

La figure 2 présente les résultats obtenus pour une vague de hauteur significative de 1.2m à l'entrée de l'ADM, soit une hauteur dont la fréquence de dépassement annuelle est de 24 heures.

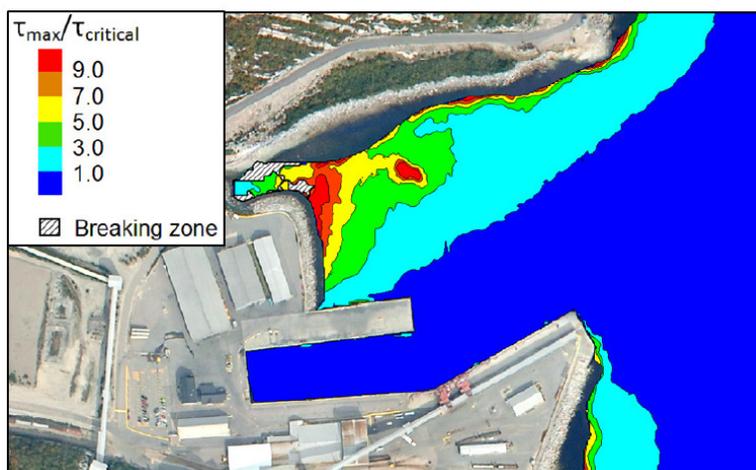


Figure 2 : Stabilité du fond marin de l'ADM pour une vague de hauteur 1.2m (24hrs/an.) en provenance de l'est

6 Courantométrie

Les données mesurées à l'aide d'un ADCP au cours de la campagne de terrain de 2011 ont permis de mieux comprendre la circulation des courants de l'ADM en condition d'eau calme (gouverné par la marée) et sous l'effet des vagues. Il a été démontré que les patrons de circulation sont principalement dominés par l'action des vagues avec une influence modérée de la marée. En effet, une gyre anti-horaire est observée sous l'effet de vague de hauteurs significatives (>1m) en provenance du secteur est, soit des courants entrant par le secteur nord de l'ADM et sortant par la partie sud, ce qui a été validé par les mesures de courantométrie lors de la campagne de 2011.

La figure 3 illustre bien ce constat en présentant les courants longitudinaux simulés lors d'un événement survenu le 4 octobre 2011 en présence de hauteurs de vagues de 1m ($T_p=4s$) en provenance de l'est à l'entrée de l'ADM.

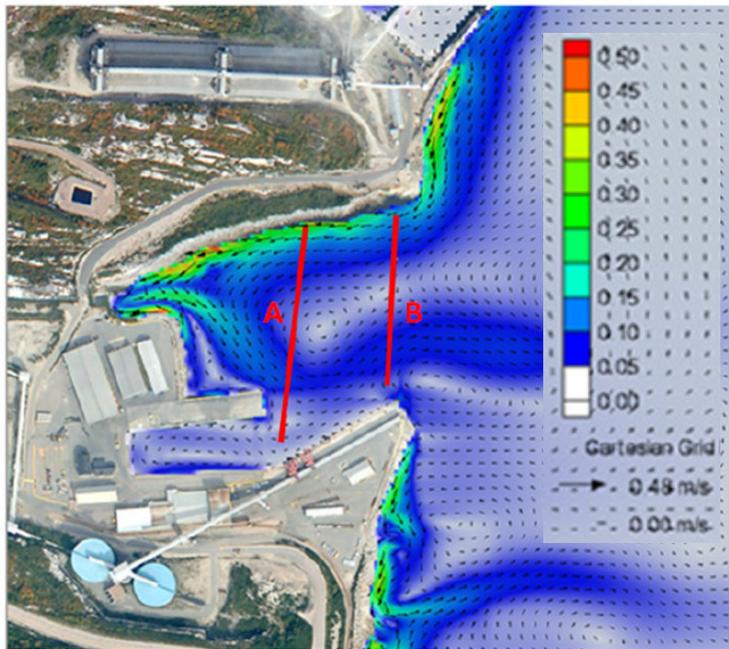


Figure 3 : Patron de circulation et intensité des vitesses (m/s) observées à l'intérieur de l'ADM en présence de vagues de 1m ($T_p=4s$) en provenance de l'est

7 Conclusion

L'importance accordée aux mesures de vagues et de courantométrie effectuées dans le cadre de ce projet ont permis, combinées à l'utilisation de modèles numériques, de fournir des paramètres clés pour la réalisation de l'étude de faisabilité et ce, grâce à la connaissance des conditions hydrodynamiques locales spécifiques à l'ADM. Les outils élaborés et utilisés dans le cadre de ce projet en milieu côtier se sont aussi avérés essentiels pour appuyer le processus de prise de décision quant aux choix des options de réhabilitation et par conséquent, de bien évaluer la répercussion sur les coûts des travaux et l'échéancier de construction. Finalement, l'ensemble de l'information traitée au cours de cette étude a permis de décrire, d'évaluer et de justifier de façon précise les impacts des travaux de réhabilitation sur l'hydrodynamisme et la dynamique sédimentaire de l'ADM.

8 Références

- Demirbilek Z. and Panchang V. 1998. *CGWAVE : A coastal Surface Water Wave Model of the Mild Slope Equation*. Technical Report CHL-98, U.S. Army Corps of Engineers.
- Dupuis P., Tournier J.P., Caron O. 1996. *Wave Climate of Large Reservoirs and a Revised Wave Hindcast Formula*. 25th Conference on Coastal Engineering, Orlando, Florida.
- Smith J.M., Sherlock A.R., Resio D.T. 2001. *STWAVE: Steady-state spectral wave model user's manual for STWAVE, Version 3.0*. ERDC/CHL SR-01-1. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.