



## **Modélisation morphodynamique des plages du golfe de La Napoule, Alpes Maritimes, France**

**Florian G. BREHIN<sup>1</sup>, Justin ENJO<sup>1</sup>, Gary A. ZARILLO<sup>1</sup>**

1. Dept. of Marine and Environmental Systems, Florida Institute of Technology,  
Melbourne, USA

*fbrehin@my.fit.edu ; jenjo@my.fit.edu; zarillo@fit.edu*

### **Résumé :**

Les modèles numériques d'hydrodynamique et de houle couplés du Coastal Modeling System (CMS) sont appliqués aux plages du Golfe de la Napoule, France, afin de reproduire la dynamique sédimentaire et l'effet des coups de mer sur l'année 2006. Les simulations démontrent une forte variabilité spatiale dans la distribution des hauteurs de houle, et notamment des valeurs plus élevées durant les tempêtes de sud sur les plages de l'entrée de Cannes et du Vieux Port. Les différences sont dues à l'orientation de la baie, c'est-à-dire à une exposition prépondérante aux houles énergétiques de SW/SSW et à la morphologie sous-marine composée du canyon de Cannes et de haut fonds qui influencent la transformation de la houle. Le transport sédimentaire est caractérisé par des courants longitudinaux pouvant dépasser 1m/s sur le secteur de Mandelieu par coup d'Est et des courants cross shore vers le large durant les épisodes de Mistral.

### **Mots clés :**

Golfe de La Napoule – Modèle numérique – Morphologie sous-marine

### **1. Introduction**

L'érosion des plages est un phénomène d'actualité en Méditerranée, qui est lié à la fois aux stocks sableux littoraux, au climat hydrodynamique, et à la morphologie sous-marine. Les plages du Golfe de La Napoule sur la Côte d'Azur sont essentielles pour l'économie touristique, mais également pour la protection du littoral contre les inondations et les dégâts structurels occasionnés pendant les "coups de mer" ou tempêtes. De nombreuses études ont été effectuées sur les plages de la Croisette tandis que les plages voisines de La Bocca et de Mandelieu sont moins étudiées. Les modèles numériques sont un moyen efficace et relativement peu coûteux afin de comprendre et prévoir les mécanismes de transport sédimentaire et les zones potentiellement à risque. La Côte d'Azur est une zone à fort risque sismique, raison pour laquelle de nombreuses recherches concernent l'aléa tsunami, plutôt que l'aléa "coup de mer" qui est pourtant un phénomène fréquent et d'actualité. Cet article présente la méthodologie et les résultats préliminaires de l'application des modèles numériques couplés d'hydrodynamique et de houle (CMS-Flow/CMS-Wave) au Golfe de La Napoule, afin de reproduire le transport sédimentaire et les évolutions morphologiques.

## **2. Zone d'étude**

La baie de La Napoule se situe dans le département des Alpes Maritimes, en France, et borde la mer Méditerranée. Elle s'étend sur une dizaine de kilomètres entre Mandelieu-La Napoule et Cannes. La zone se situe entre la Provence cristalline et la Provence calcaire. La géomorphologie marine est caractérisée par un plateau continental étroit et la présence du canyon de Cannes. Le type de sédiments marins dans la zone inclut roche, gravier, sable, sable vase et posidonie (IN VIVO ENVIRONMENT, 2006). Les plages de la baie sont pour la plupart artificielles et stabilisées par des épis rocheux, des digues, des tubes géotextiles, et des rechargements par dragage. Le climat de houle est caractérisé par une forte saisonnalité. Les hauteurs dépassent rarement les 1m en été avec un vent de Mistral d'ouest/nord-ouest dominant, alors qu'en hiver et pendant les saisons intermédiaires la zone subit des houles d'est assez fréquentes et pouvant durer plusieurs jours. Les "coups de Sud" sont des événements intenses (pouvant atteindre les 4 m au large) mais de faible durée et plutôt rares (en moyenne 3 à 5 fois par an). Depuis plusieurs années, des études ont été menées afin d'identifier de nouvelles sources de sable destinées au rechargement des plages et incluent des relevés bathymétriques haute-résolution en 2005 et 2007, la détermination annuelle de la laisse des eaux, des prélèvements sédimentologiques et un recensement des zones de posidonie.

## **3. Matériel et méthodes : description et application des modèles numériques**

Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de houle (CMS-Wave) et du modèle de circulation (CMS-Flow), développés par le laboratoire d'hydraulique côtière de l'armée américaine. Le modèle hydrodynamique est bidimensionnel horizontal, utilisant une méthode des volumes finis. Il possède un code de calcul de transport sédimentaire et la possibilité de simuler les zones non érosives (BUTTOLPH *et al.*, 2006). Le modèle de houle est un modèle de propagation des vagues de phase moyenne et inclut des phénomènes tels que la réfraction, la diffraction, la réflexion ainsi que les interactions houle-courant (DEMIRBILEK *et al.*, 2007). La zone de modélisation s'étend sur une longueur d'environ 20km de Mandelieu à Cannes, et sur 5 km au large jusqu'à 50 m de profondeur (Figure 1, gauche). Deux grilles de calcul sont générées, avec une taille des mailles variant entre 10 m au bord et 50 m au large. La bathymétrie combine des relevés multi faisceaux (IN VIVO ENVIRONMENT, 2006) mises à disposition par le Service d'Information Géographique de la ville de Cannes, et les données LITTO3D du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), toutes deux projetées en Lambert 3 (m). Le trait de côte est digitalisé à partir d'une image aérienne de 2006 (IGN). Pour le transport sédimentaire, la formule de Lund-CIRP est utilisée avec une taille moyenne de grain de 0,3 mm. Le modèle de houle est forcé par des données ANEMOC (hauteurs, périodes et directions de pic) acquises auprès du Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF).

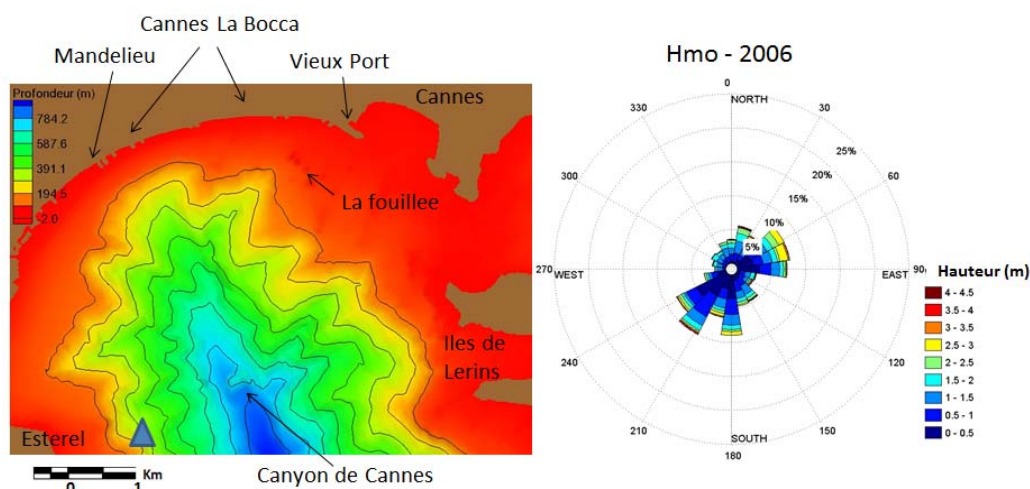


Figure 1. Grille de modélisation (gauche); Hauteurs de houle issues d'un point ANEMOC pour 2006 (droite).

#### 4. Résultats et discussion

Les simulations préliminaires de l'hydrodynamique et du transport sédimentaire dans la baie de La Napoule sur l'année 2006 ont permis de détecter des différences spatio-temporelles et de diviser la zone en cellules hydro sédimentaires. La zone ouest, caractérisée par des digues et des rechargements, s'étend de Mandelieu à la Plage des Sables d'Or. Le modèle de houle indique des hauteurs qui sont jusqu'à 3 fois plus élevées que sur les secteurs de la Bocca et de Cannes par tempête d'est. Les courants longitudinaux de direction ouest peuvent atteindre 1 m/s, entraînant un transport sédimentaire complexe au niveau des digues avec des dépôts (+0,2 m) concentrés sur le haut de la plage sous-marine. Durant les épisodes de Mistral, le modèle reproduit des hauteurs de houles quasi-nulles mais des courants cross shore vers le large pouvant atteindre 0,2 m/s. Durant les tempêtes de sud, les courants longitudinaux sont faibles, mais les courants cross shore peuvent atteindre 0,6 m/s. La zone centrale correspond aux Plages de Cannes La Bocca et est caractérisée par un plateau continental étroit, les rochers de la Bocca, et une succession d'épis rocheux. Par tempête d'est, le modèle reproduit des hauteurs de houle et des courants longitudinaux de direction ouest plus faibles que sur la zone de Mandelieu, ce qui est dû au blocage de la houle par les îles de Lérins. Lors des épisodes de Mistral, ces courants, de direction est peuvent atteindre 0,4 m/s. Les évolutions morphologiques modélisées indiquent des dépôts sur la partie supérieure de la plage sous-marine entre les épis (+0,1 m) à l'est des Rochers de La Bocca. Des hauteurs de houle plus élevées sont observées durant les "coups de Sud" car cette zone n'est pas affectée par le blocage des houles de SW par le massif de l'Esterel. La zone est se situe à l'entrée de Cannes, et compte des plages fréquemment rechargées et stabilisées par des épis rocheux et des tubes en géotextile. Les hauteurs de houle modélisées durant les tempêtes d'est dépassent rarement les 0,5 m et les courants

longitudinaux (de direction ouest) sont négligeables. Durant les épisodes de Mistral, les hauteurs de houle atteignent 1m et les vitesses de courants (de direction Est) avoisinent 0,6 m/s. Les hauteurs de houle durant les tempêtes de sud sont significativement plus élevées (2 à 3 m), particulièrement aux abords du Vieux Port. Ceci est dû à l'exposition à la houle, mais aussi à la présence du canyon de Cannes, du haut fond de *la Fouillée*, et de multiples trous de dragage dans ce secteur. Les évolutions morphologiques indiquent l'érosion généralisée de la partie supérieure de la plage sous-marine, et des dépôts sédimentaires concentrés dans les trous de dragage et au niveau des isobathes de 6 à 8m, correspondant aux herbiers de Posidonie. Ces observations sont en accord avec les changements bathymétriques mesurés, suggérant l'effet de barrière naturelle des herbiers.

## **5. Conclusions et perspectives**

Les simulations préliminaires ont permis de repérer des différences spatiales dans la dynamique sédimentaire en fonction des tempêtes et de diviser la baie en plusieurs cellules. Les tempêtes d'est et le Mistral génèrent des houles peu significatives en comparaison avec les tempêtes de sud, mais produisent des courants longitudinaux pouvant atteindre les 1 m/s sur certaines zones. Le transport cross shore est significativement augmenté durant les houles de sud plus énergétiques. Les simulations soulignent l'importance de la bathymétrie dans le contrôle de la transformation de la houle, et notamment les hauteurs plus élevées durant les "coups de Sud" sur le secteur de l'entrée de Cannes qui sont dues au phénomène de convergence sur le haut fond de *la Fouillée*. Le modèle a également mis en perspective l'influence des trous de dragage et des herbiers de posidonie dans le stockage de sable. Ces résultats doivent être interprétés avec précaution, du fait du manque de données de calibration et de la nature bidimensionnelle du modèle. Un déploiement de courantomètres (ADCP) est prévu pour l'hiver 2012. Les simulations futures incorporeront une taille de sédiment variable et des séries de hauteurs d'eau, et permettront à terme d'anticiper les prochains coups de mer et de tester des structures submergées pour lutter contre l'érosion.

## **6. Références bibliographiques:**

- BUTTOLPH A.M., REED C.W., KRAUS N.C., ONO N., LARSON M., CAMENEN B., HANSON H., WAMSLEY T., ZUNDEL, A. (2006). *Two-dimensional depth-averaged circulation model CMS-M2D: Version 3, Report 2, ERDC/CHL TR-06-09*. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, Mississippi.
- DEMIRBILEK Z., LIN L., ZUNDEL A. (2007). *WABED model in the SMS: Part II Graphical interface. ERDC/CHL. CHETN-I-74*. U.S. Army Engineering Research and Development Center. Vicksburg, MS.
- IN VIVO ENVIRONMENT (2006). *Rapport d'étude pour la ville de Cannes : Relevés bathymétriques avec sondeur multifaisceaux et étude sédimentologique*.