



## **Modélisation du transport sédimentaire. Étude de cas d'une Marina à Tripoli (Lybie)**

**Pierre FARNOLE <sup>1</sup>, Noûmane HAOUEL <sup>2</sup>**

1. ERAMM, 1503 rte des Dolines, BP 42, 06901 Sophia Antipolis, France.  
*pf@erammm.fr*
2. MARITEC, Immeuble. Luxor II, Rue 8300, 1002 Montplaisir Tunis, Tunisie.

### **Résumé :**

Une chaîne de calcul de modélisation hydrosédimentaire globale a été mise en place pour étudier et dimensionner une plage artificielle et un port de plaisance sur le littoral de Tripoli. Cet article s'articule selon deux axes avec tout d'abord la description de chaîne de modélisation, les différents couplages utilisés ainsi que la théorie sous-jacente à ces codes de calcul puis l'étude d'un cas caractérisé par un environnement microtidal du sud de la méditerranée. La conclusion de cet article abordera la problématique du calage des modèles dont la validité doit reposer sur des données environnementales fiables. L'expertise de terrain par un sédimentologue et un hydrodynamicien basée sur des observations reste indispensable pour la compréhension des phénomènes et leur reproduction en modèle numérique.

**Mots-clés :** Port – Plage – Modèle hydrodynamique – Sédimentologie – Granulométrie

### **1. Introduction**

Cet article présente les codes de calcul développés par le Centre d'Etudes Techniques Maritimes Et Fluviales (CETMEF) et utilisés au sein du cabinet ERAMM dans les études d'ingénierie côtières relatives à l'aménagement et la protection du littoral. Il s'agit en particulier des modèles hydrodynamiques (Refonde et Reflux) et morphodynamiques (Reflux-Sédim) capables de reproduire les houles et champs de courant ainsi que l'évolution des fonds en présence d'ouvrages ayant vocation à protéger et aménager le littoral. Dans la suite de ce document, nous présentons une étude de cas qui concerne l'aménagement d'une Marina à Tripoli réalisée par le groupement MECATER ERAMM pour le compte du cabinet d'Architectes ACI.

### **2. Marina de Tripoli**

Le projet consiste à créer une marina avec une plage artificielle au centre de Tripoli, au sein d'un complexe touristique (Fig. 1). L'étude a pour objectif d'étudier les contraintes hydrodynamiques et sédimentologiques du site et l'incidence du projet sur la stabilité du littoral et de la plage à créer. Dans ce contexte, il a été réalisé un diagnostic sur site, une étude de la houle, une modélisation hydrodynamique et du transport sédimentaire.

DOI: 10.5150/cmcm.2009.006

### 2.1. Données environnementales

Cette base de données est constituée d'observations et de mesures sur site.

Le littoral de Tripoli est caractérisé par de nombreuses formations rocheuses qui apparaissent sous la forme de platiers sub-affleurant recouverts localement par des formations sableuses dont la granulométrie est très variée selon la répartition géographique. Les principaux granofaciès ; le plus fréquent correspond à un  $D_{50}$  inférieur à 100  $\mu\text{m}$ , soit un sable très fin, non cohésif et très bien trié. Il se situe par des fonds de -4 à -5 m sur une bande étroite entre le platier rocheux immergé et le linéaire côtier. On retrouve ce faciès au large du platier par des fonds de -7 m à -8 m. Le granofaciès sur la zone de projet est de type bimodal avec un premier mode fin à 160  $\mu\text{m}$  et un second mode à 2500  $\mu\text{m}$  grossier et mal trié probablement issu de l'érosion du remblai. On retrouve un sable moyen à grossier à l'ouest de la zone de projet mais par des fonds plus importants. Le dernier faciès correspond à un  $D_{50}$  compris entre 100  $\mu\text{m}$  et 200  $\mu\text{m}$ , soit un sable fin dans la zone intermédiaire.

### 2.2. Modèle hydrodynamique

La méthode de Newton Raphson est utilisée comme méthode de calcul. Le schéma de discrétisation spatiale utilisé dans les simulations est celui de Lax Wendorff.

Les sollicitations que l'on applique en entrée du modèle ont été relevées lors de la campagne de mesures. La différence entre les valeurs simulées des courants et les valeurs mesurées diffèrent en moyenne de 13.2%. Dans le cas présent, seules des sollicitations de houles ou de vent sont appliquées au modèle (GLOBOCEAN 2007 ; HYDROTECHNICA PORTUGUESA 1995). De la même manière que pour le cas de calage, les contraintes de radiations générées par la houle sont déterminées par le logiciel Refonde. A l'instar de la courantologie de calage, Refonde est couplé en entrée de Reflux. Pour plus de représentativité, les simulations Refonde sont traitées en houle irrégulière. Les simulations numériques ont été soumises à une résolution stationnaire et instationnaire Or, en raison de la complexité des fonds (platiers rocheux), des phénomènes turbulents apparaissent peu compatibles avec la résolution des équations de Saint-Venant. Pour pallier à ce problème, nous avons utilisé une résolution explicite sur deux heures avec un pas de temps d'une seconde.

D'un point de vue général, on constate que l'hydrodynamique du site est fortement conditionnée par la nature des fonds, en particulier du fait de la présence de platiers rocheux et d'un goulet. Cette morphologie canalise les courants et crée la formation de turbulences voire de phénomènes tourbillonnaires sous l'action des houles. En période de tempête on atteint la limite de validité du modèle. Toutefois, ce phénomène influe relativement peu sur la zone de projet en dehors d'un léger renforcement des courants devant la digue du port. Durant les tempêtes, on enregistre des vitesses très élevées (70 cm/s). Tandis que pour les états de mer moyens de Nord, d'Est et d'Ouest, la vitesse des courants ne dépasse pas les 20 cm/s. La stabilité de la plage artificielle n'est donc

potentiellement menacée que lors des événements de tempêtes. Au sein de la zone de baignade, les courants sont orientés de l'Est vers l'Ouest sous l'influence des houles de Nord, d'Est. Le renouvellement des eaux de baignade est assuré par la configuration du brise-lames. Sa géométrie favorise l'établissement d'un courant de recirculation dans tous les cas. Le brise-lame procure donc une protection optimale pour la plage artificielle tout en assurant une recirculation des masses d'eaux indispensable pour leur renouvellement. Par contre, dans l'enceinte du port, la protection contre l'agitation est telle que le renouvellement des eaux du bassin interne est faible.

### 2.3. Simulation de transport sédimentaire

Le profil d'équilibre de la plage artificielle a été déterminé par la méthode de DEAN (1987 et 1991) préalablement à la modélisation. Grâce au couplage entre Reflux et Reflux-Sédim, il a été possible de simuler l'évolution morphologique des fonds et de dimensionner en conséquence les ouvrages de protection pour qu'ils répondent aux critères de stabilité pour la plage artificielle. La condition de tempêtes est traitée de manière distincte des autres car c'est celle qui conditionne le plus le transport sédimentaire. La durée d'une tempête, agissant 5% du temps est estimée à 18 épisodes de 3 heures.

### 2.4. Résultats

Les fichiers de sortie Refonde (CETMEF, site web a) et Reflux (CETMEF, site web b) nous renseignent sur l'évolution du fond à chaque pas de temps grâce à un MNT. La comparaison des fichiers de point permet de distinguer des formes d'accrétion et de stabilité ou d'érosion. Au terme de cette comparaison, il apparaît que la plage artificielle évoluera plutôt vers un ensablement si le stock sédimentaire disponible naturellement le permet. En conséquence, le brise-lames de protection répond bien à la stabilité de la plage. La construction de la plage artificielle nécessite environ 8000 m<sup>3</sup> de sable de 600 µm (D<sub>50</sub>). Ce volume pourrait être diminué si le stock sédimentologique présent naturellement dans les petits fonds est piégé à l'abri du brise-lames. Il est fortement probable qu'un tombolo se mette en place en arrière du brise-lames.

## **3. Conclusion**

La modélisation hydrodynamique constitue la première étape qui permet d'apprécier les impacts des ouvrages de protection. Au vu des résultats des simulations de courantologie pour différents forçages de vent et de houle, le choix s'est porté sur l'aménagement. En effet, cette configuration assure le meilleur compromis entre le linéaire de plage protégé, l'amortissement des houles et le renouvellement d'eau de la zone de baignade. Elle permet de stabiliser le trait de côte au niveau de la plage artificielle. Il convient cependant d'être prudent sur les résultats des modèles mathématiques en particulier pour le transport sédimentaire car ce ne sont jamais le

reflet exact des phénomènes naturels observés. La variabilité dans l'espace et dans le temps est forte dans un milieu sans cesse en mouvement et pour lequel l'observation et les données en nature sont une base essentielle pour comprendre puis simuler.



*Figure 1 : localisation de la zone d'étude (Tripoli).*



*Figure 2. Projet de Marina.*

#### **4. Références bibliographiques**

- DEAN R.G. (1987). *Coastal sediment processes: Toward engineering solutions*. Proceedings, Special Conference on coastal Sediments '87. American Society of Civil Engineers, pp 1-24.
- DEAN R.G. (1991). *Equilibrium beach profiles: Characteristics and applications*. Journal of Coastal Research 7(1), pp 53-84.
- GLOBOCEAN (2007). *Climatologie des états de mer au large de Tripoli*, R07-037.
- HIDROTENICA PORTUGUESA (1995). *Etude générale pour la protection du littoral tunisien - première phase, rapport 2 - actualisation des données météorologiques et de simulation de la houle ; Volume 1 - Actualisation des données météorologiques*.
- CETMEF (site web a). *Refonde*.  
<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/portuaire/refonde.html>
- CETMEF (site web b). *Reflux*.  
<http://www.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/portuaire/reflux.html>