



## **Modélisation de l'hydrodynamique et de la qualité des eaux côtières du golfe de Tunis**

**Rafik BEN CHARRADA <sup>1</sup>, Mahmoud MOUSSA <sup>2</sup>**

1. IHE, 8 Rue Habib Chrita - 2080 Ariana, Tunisie. [Rafik.ihe@planet.tn](mailto:Rafik.ihe@planet.tn)
2. ENIT, BP. 37, 1002 Tunis-Le Belvédère, Tunisie. [Mahmoud.moussa@enit.rnu.tn](mailto:Mahmoud.moussa@enit.rnu.tn)

### **Résumé :**

Ce travail concerne le golfe de Tunis qui est actuellement pollué. Pour expliquer les signes d'eutrophisation apparus dans quelques zones du golfe, nous avons réalisé des études de modélisation de l'hydrodynamique et de la qualité des eaux côtières par simulations numériques. Les résultats des simulations de l'hydrodynamique montrent l'existence d'une zone permanente de faible hydrodynamisme vers le fond et le centre du golfe. La qualité des eaux a été simulée par un modèle écologique simplifié de la zone de Radès, qui est la zone la plus touchée par l'eutrophisation. Calibré en se basant sur des mesures de terrain, les résultats montrent qu'à partir d'un débit de rejet de l'ordre de  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , les eaux marines de la zone côtière de Radès deviendront, très probablement, très eutrophes, et même hyper-eutrophes.

### **Mots-clés :**

Modélisation – Hydrodynamique – Qualité des eaux – Eutrophisation – Golfe de Tunis

### **1. Introduction**

Situé sur la partie septentrionale de la Tunisie, le golfe de Tunis s'étend sur une surface totale d'environ  $1500 \text{ km}^2$  avec un linéaire côtier d'environ  $230 \text{ km}$  joignant le Cap Sidi Ali El Mekki au Cap Sidi Daoud. Sur ses côtes ouest, plusieurs lagunes se concentrent et communiquent avec le golfe par des passes pérennes ou temporaires (figure 1). Ce biotope côtier est sous la pression de plusieurs types de rejets terrestres (les apports des oueds, des zones humides littorales, des eaux usées des villes côtières, etc.). Ces rejets ont conduit à la dégradation de la qualité des eaux du golfe (eutrophisation de quelques zones côtières et disparition progressive du couvert végétal).

Dans ce travail, nous avons simulé l'hydrodynamique du golfe de Tunis avec un modèle à 2D, intégré sur la hauteur d'eau. Ce modèle a été couplé à un autre modèle à 3D (POM, ou *Princeton Ocean Model*) et couvrant tout le littoral tunisien (ALIOUA et HARZALLAH, 2008). Rappelons que POM se base sur les équations primitives de la dynamique en écoulements turbulents, écrites en coordonnées sigma, en utilisant l'approximation de Boussinesq et où la turbulence est représentée par l'énergie cinétique turbulente ( $q^2$ ) et la longueur de mélange ( $\ell$ ). La stratégie de couplage des deux modèles (3D–2D) adoptée, est basée sur l'utilisation des résultats du modèle 3D à

DOI: 10.5150/cmcm.2009.042-8

la limite supérieure du golfe et les imposer comme conditions aux limites au modèle à 2D au niveau de la frontière ouverte vers le large. L'objectif final étant de simuler avec plus de détails la structure fine des écoulements dans le golfe et en particulier au niveau des zones côtières. Rappelons que les modèles de type 2D sont bien adaptés aux zones côtières et peu profondes (ou non stratifiées). Cependant, notons que les modèles hydrodynamiques 2D sous-estiment l'effet du vent en surface et le surestiment au fond.

## 2. Modélisation de la dynamique du golfe de Tunis

Pour réaliser les simulations, le logiciel Telemac-2D a été utilisé. Ce logiciel résout les équations de Saint-Venant à 2 dimensions horizontales de l'espace en utilisant la méthode des éléments finis et calcule ainsi, en chaque point du maillage du domaine, la hauteur d'eau et les vitesses horizontales (WANGO *et al.*, 2008 ; REZGUI *et al.*, 2008).

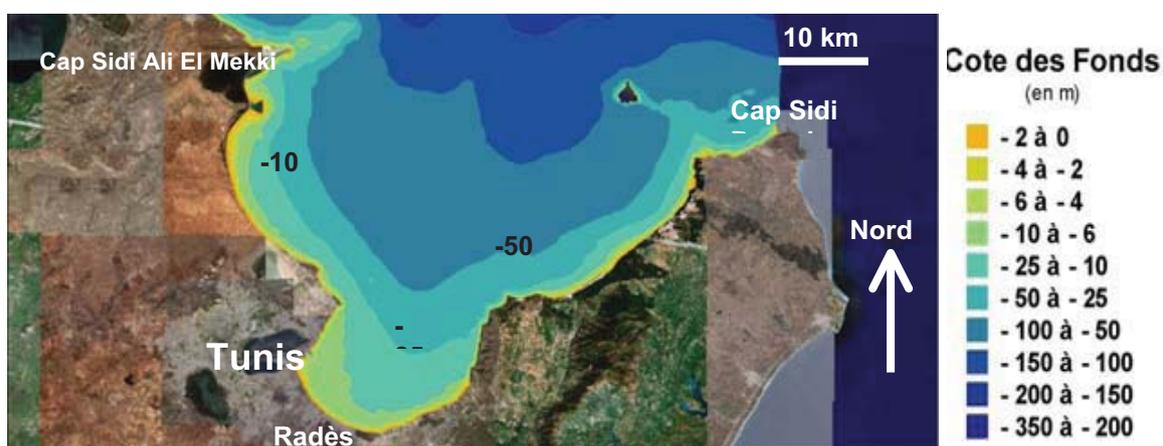


Figure 1. Carte du golfe de Tunis et sa bathymétrie (en m).

### 2.1 Construction du modèle

Le modèle est appliqué à l'ensemble du golfe de Tunis ayant comme frontière libre, au Nord, la ligne qui joint le Cap de Sidi Ali El Mekki au Cap de Sidi Daoud. Le maillage adopté de ce domaine a été affiné dans quelques zones pour mieux tenir compte des échanges avec les oueds et les lagunes côtières. La bathymétrie utilisée est celle de la carte marine et le contour des côtes est issu d'une image satellitaire de 2007 de *Google Earth* (figure 1). Les conditions aux limites sont les vitesses imposées aux frontières libres du golfe et les débits imposés au niveau des échanges avec les oueds, les lagunes côtières et les centrales électriques (BEN CHARRADA *et al.*, 1997 ; MEDD, 2009).

### 2.2 Résultats des simulations

Plusieurs simulations ont été réalisées pour simuler l'hydrodynamique du golfe sous l'effet de différents vents et différents rejets. A titre d'exemple, la figure 2 montre les

vitesse calculées sous un vent du Nord-Ouest de 9 m/s (le vent dominant à Tunis). Cette figure montre que les eaux sont poussées par le vent vers la côte pour créer un courant nord-sud sur la côte Est et un courant sud-nord sur la côte ouest et qui restent parallèles au littoral. Les courants sont importants près des Caps, mais ils s'atténuent devant principalement le complexe lagunaire de Tunis, devant Ghar El Melh et au milieu du golfe. Les résultats des simulations de la dispersion de la pollution rejetée montrent en particulier que cette pollution, transportée par les courants, a tendance à rester proche de la zone littorale. Ceci a largement contribué à l'eutrophisation de quelques zones côtières et en particulier la zone sud.

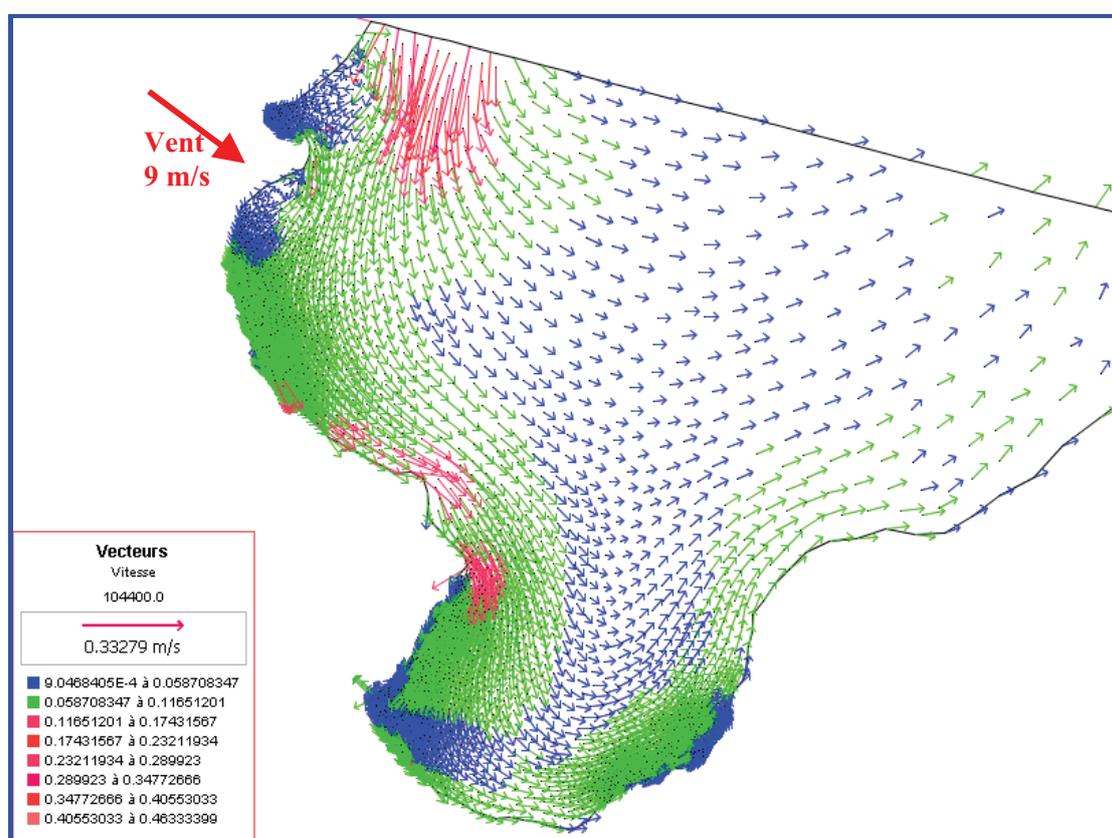


Figure 2. Vitesses calculées avec un vent du Nord-Ouest de 9 m/s.

### 3. Modélisation de la qualité des eaux

L'objectif de cette partie est de mettre au point un modèle écologique (modèle zonal), simplifié, de la zone côtière de Radès. Cette zone est actuellement la plus polluée principalement en phosphore total et en chlorophylle-a. La modélisation proposée comporte une étude de la croissance du phytoplancton en fonction des sels nutritifs. Ainsi, la modélisation proposée comporte un seul niveau trophique, celui du phytoplancton. La croissance du phytoplancton est limitée par la température, l'intensité lumineuse et la disponibilité des sels nutritifs. Pour la modélisation du cycle du phytoplancton, nous avons adopté un modèle à cinétiques de type MONOD qui se base

sur l'hypothèse de quotas internes constants. Les équations de ce modèle sont présentées en détails dans des travaux de recherches antérieurs (BEN CHARRADA & MOUSSA, 1997 ; MOUSSA *et al.*, 2005). Ce modèle, qui utilise les résultats du modèle hydrodynamique pour les échanges avec les autres zones du golfe, a été calibré en se basant sur 6 ans de mesures disponibles (MEDD, 2009). En se référant à la classification de l'OCDE (1982), ces mesures montrent que la zone côtière de Radès peut être classée entre mésotrophe à 50% et eutrophe à 45%. Ensuite, pour tenter d'avoir une idée, du moins grossière, sur la capacité de cette zone côtière à accepter la pollution terrestre, des simulations ont été réalisées avec ce modèle en augmentant progressivement les rejets terrestres. Les résultats montrent qu'à partir d'un débit de rejet de l'ordre de 1,5 m<sup>3</sup>/s (il est actuellement de 1 m<sup>3</sup>/s), les eaux marines de la zone côtière de Radès deviendront, très probablement, très eutrophes, et même hyper-eutrophes.

#### **4. Conclusions**

Ce travail a permis d'analyser la structure de la circulation des eaux dans le golfe de Tunis, sous divers forçages. Le faible hydrodynamisme de quelques zones de rejet a permis d'expliquer l'eutrophisation progressive de ces zones. Limiter les rejets terrestres reste la seule solution pour préserver cet écosystème marin.

#### **5. Références bibliographiques**

- ALIOUA M., HARZALLAH A. (2008). *Imbrication d'un modèle de circulation des eaux près des côtes tunisiennes dans un modèle de circulation de la mer Méditerranée*. Bulletin de l'INSTM – Tunisie. Vol. 35, pp 169-176.
- BEN CHARRADA R., MOUSSA M. (1997). *Modélisation hydrodynamique et écologique des eaux côtières du golfe de Tunis*. La Houille Blanche, n° 6, pp 66-78.
- BEN CHARRADA R., MOUSSA M., ZAOUALI J. (1997). *Analyse physico-chimique et biologique des eaux et du sédiment de la Baie de Tunis*. Marine Life, Vol. 7(1-2), pp 53-66.
- MEDD -Ministère de l'Environnement et du Développement Durable de Tunisie-. (2009). *Etude de pré investissement relative à la dépollution du golfe de Tunis*. Etude réalisée par Comete-IHE-BCEOM, 292 p.
- MOUSSA M., BACCAR L., BEN KHEMIS R. (2005). *La lagune de Ghar El Melh : Diagnostic écologique et perspectives d'aménagement hydraulique*. Revue des Sciences de l'Eau, n° 18, pp 13-26.
- OCDE -Organisation for Economic Cooperation and Development- (1982). *Eutrophisation des eaux : Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte*. 164 p.
- REZGUI A., BEN MAIZ N., MOUSSA M. (2008). *Modélisation hydrodynamique et écologique du Lac Nord de Tunis*. Revue des Sciences de l'Eau, n° 21(3), pp 349-361.
- WANGO T.E., MOUSSA M., MONDE S. (2008). *Two-Dimensional Model of the Ebrié Lagoon (Côte d'Ivoire)*. European J. of Scientific Research, Vol. 24(3), pp 229-243.