



# Modélisation de la propagation des eaux usées dans la baie de Tanger

Hicham Mernissi Cherigui, Georges Le Palec, Abdeslam Draoui, Philippe Bournot

► **To cite this version:**

Hicham Mernissi Cherigui, Georges Le Palec, Abdeslam Draoui, Philippe Bournot. Modélisation de la propagation des eaux usées dans la baie de Tanger. Jean-Jacques BEZIAN. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. ENSTIMAC, 5p., 2007, ISBN 978-2-9511591-6-7. <hal-00167501>

**HAL Id: hal-00167501**

**<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00167501>**

Submitted on 29 Aug 2007

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# MODELISATION DE LA PROPAGATION DES EAUX USEES DANS LA BAIE DE TANGER

Hicham MERNISSI CHERIGUI\*, Georges LE PALEC\*\*, Abdeslam DRAOUI\*,  
Philippe BOURNOT\*\*

\* *Laboratoire d'Energétique - Equipe de recherche en Transferts Thermiques et Energétique (ETTE), Université Abdelmalek Essaâdi - Faculté des Sciences et Techniques de Tanger - Maroc*

\*\* *Institut de Mécanique de Marseille, Université de la Méditerranée, Marseille, France*  
Correspondance : [a.draoui@uae.ma](mailto:a.draoui@uae.ma)

**Résumé :** Notre étude concerne la modélisation de la diffusion de la pollution dans la baie de la ville de Tanger (Maroc). Ce processus est étudié à l'aide du code de calcul FLUENT en bidimensionnel (2D), l'objectif étant de valider le modèle de calcul choisi et les conditions aux limites utilisées en vue d'une future modélisation 3D.

**Mot clés :** Pollution – Turbulence - Modélisation – Fluent

## 1. INTRODUCTION :

Les résidus industriels déversés dans la mer ont des effets particulièrement nuisibles sur la vie marine. Les spécialistes ont pu constater que de nombreuses substances chimiques et industrielles entravent les réactions chimiques et provoquent la mort et parfois la disparition de certaines espèces. L'augmentation de la température des eaux et de la concentration des substances polluantes suppose en même temps un accroissement de la consommation d'oxygène, ce qui est néfaste pour la faune marine. Il nous paraît clair qu'on est devant un problème dont la particularité réside dans l'interaction des nombreux phénomènes présents dans les zones côtières [1], [2] et l'étude complète d'une région littorale nécessite donc une approche pluridisciplinaire, ce qui est très complexe.

Nous nous sommes intéressés, dans le cadre de cette étude, à la modélisation numérique de la diffusion de la pollution due aux eaux usées dans la baie de la ville de Tanger. Pour cela, nous avons d'abord répertorié les différents paramètres nécessaires à notre modélisation, ce qui a permis de réaliser les simulations de quelques cas constatés. Pour des raisons de simplification, nous étions obligés de fixer les valeurs locales des caractéristiques physiques et fluides de la zone étudiée. Nous présentons d'abord les équations qui régissent le problème physique : elles ont été résolues avec le logiciel FLUENT [3]. Une étude préliminaire en bidimensionnel (2D) a été effectuée pour valider le modèle et les conditions aux limites utilisées en vue de la modélisation tridimensionnelle (3D) dont nous présentons les résultats dans cette étude.

## 2. MISE EN EQUATION :

### 2.1- Equations de conservation

Le fluide (eau) étant incompressible, nous avons pour l'équation de continuité :

$$\frac{\partial(u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad i=1, 2 \quad (1)$$

Les équations régissant la conservation de la quantité de mouvement s'écrivent:

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial (\tau_{ij})}{\partial x_j} + \rho f_i \quad (2)$$

$p$  étant la pression statique,  $f_i$  les forces volumiques et  $\tau_{ij}$  la contrainte visqueuse telle que :

$$\tau_{ij} = \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu \delta_{ij} \frac{\partial u_\ell}{\partial x_\ell} \quad (\ell=i \text{ et } \ell=j) \quad (3)$$

$\mu$  étant la viscosité dynamique du fluide et  $\delta_{ij}$  le symbole de Kronecker. Si on considère un fluide incompressible avec des propriétés thermodynamiques constantes l'équation (2) devient en y introduisant l'équation (3) :

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \left[ \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \right) + f_i \quad (4)$$

où  $\nu$  est la viscosité cinématique du fluide, l'équation de la conservation d'énergie s'écrit :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x_i^2} \quad (5)$$

$a$  étant la diffusivité thermique. Enfin, l'équation de la conservation d'un constituant est :

$$\frac{\partial (\rho C)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i C)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( D \frac{\partial C}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

où  $C$  est la concentration en polluant et  $D$  le coefficient de diffusion.

## 2.2- Equations en régime turbulent

Pour prendre en considération le cas des écoulements turbulents, nous avons décomposé la vitesse, la température et la concentration en une composante moyenne et un terme de fluctuation.

$$u = \bar{u} + u' \quad ; \quad T = \bar{T} + T' \quad ; \quad C = \bar{C} + C' \quad (7)$$

Cette expression de la vitesse nous conduit à reconsidérer le système des équations de conservation de la masse, de quantité de mouvement, de la conservation de l'énergie et de conservation de concentration sous la forme :

|  |
|--|
| $\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad i = 1, 2, 3 \quad (8)$  |
| $\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \nu \left[ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right] - \overline{u_i u_j} \right) + \bar{f}_i \quad (9)$ |
| $\frac{\partial \bar{T}}{\partial t} + \bar{u}_i \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} = a \frac{\partial^2 \bar{T}}{\partial x_i^2} - \left( \frac{\partial}{\partial x_i} \overline{u_i T} \right) \quad (10)$   |
| $\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( D \frac{\partial \bar{C}}{\partial x_j} - \overline{u_j C} \right) \quad (11)$   |

Ces deux nouvelles équations ont la même forme générale que les équations de continuité et de Navier-Stokes en régime instantané, mais il apparaît maintenant le tenseur de Reynolds  $\overline{u_i u_j}$ . Ce système d'équations nécessite un modèle de fermeture et, dans ce travail, nous avons choisi le modèle  $k-\epsilon$ , qui est largement utilisé [4, 5].

### 2.3- Conditions aux limites

- Du côté de l'océan atlantique (voir figure 1-b), nous avons imposé une vitesse constante et normale à la frontière ouverte qui représente la vitesse des courants de la marée (*marrée montante : 2,05m/s et marée descendante : 0,77 m/s*)
- Pour les cinq oueds et la canalisation majeure, nous présentons leurs débits moyens en imposant une vitesse d'écoulement constante et normale sur les différents embouchures (*3m/s en hiver et 0,5m/s en été*).
- Vers le Nord (Espagne) et sur le côté Est de la baie, nous avons imposé une condition qui correspond à *la continuité d'écoulement des eaux*.
- Sur les parois solides qui représentent la terre comme étant imperméable, nous avons imposé une condition qui correspond à *une vitesse d'écoulement nulle à la paroi*.

### 3. MODELISATION DE LA DIFFUSION DE LA POLLUTION EN GEOMETRIE TRIDIMENSIONNELLE (3D)

L'étude en deux dimensions a donné des résultats assez corrects a priori, mais nous ne devons pas négliger l'effet de la profondeur, dans la mesure où son introduction a de l'influence sur la turbulence des écoulements dans la baie. Une modélisation en trois dimension est plus réaliste est donc plus enrichissante dans la mesure où elle va donner une idée plus précise de l'effet de la profondeur sur la dispersion des polluants.

Pour le maillage nous avons utilisé le logiciel GAMBIT. Nous avons conservé un maillage non structuré, serré près des embouchures des cinq oueds et de la canalisation majeure et sur la côte de la baie, puis plus relâché au fur et à mesure qu'on s'éloigne de cette zone (voir figure 1-b). En tout nous avons obtenu approximativement 400000 mailles.



Figure 1-a : Vue satellite de la baie de Tanger

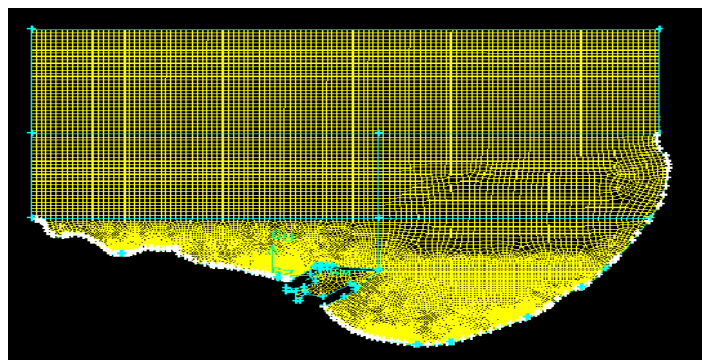


Figure 1-b : Maillage de la baie de Tanger

## 4. RESULTATS DE LA MODELISATION.

Nous avons traité la diffusion de la pollution selon les saisons (hiver et été) et selon les marées (marées montante et descendante). Nous présentons ici seulement les résultats relatifs au cas de l'hiver car il correspond aux débits importants des eaux usées arrivant dans la baie à cause des eaux pluviales qui transportent les rejets des usines de la zone industrielle de Mghougha. Nous avons réalisé des simulations en régime variable. Nous présentons seulement les isovaleurs de la température pour trois instants identiques à savoir **2h, 4h et 6h** après le début des deux marées pour la saison d'hiver. Cette période correspond en effet à une pollution plus importante due aux gros débits des différents oueds (eaux pluviales) et aux courants marins. Les isothermes sont présentées sur la figure 2.

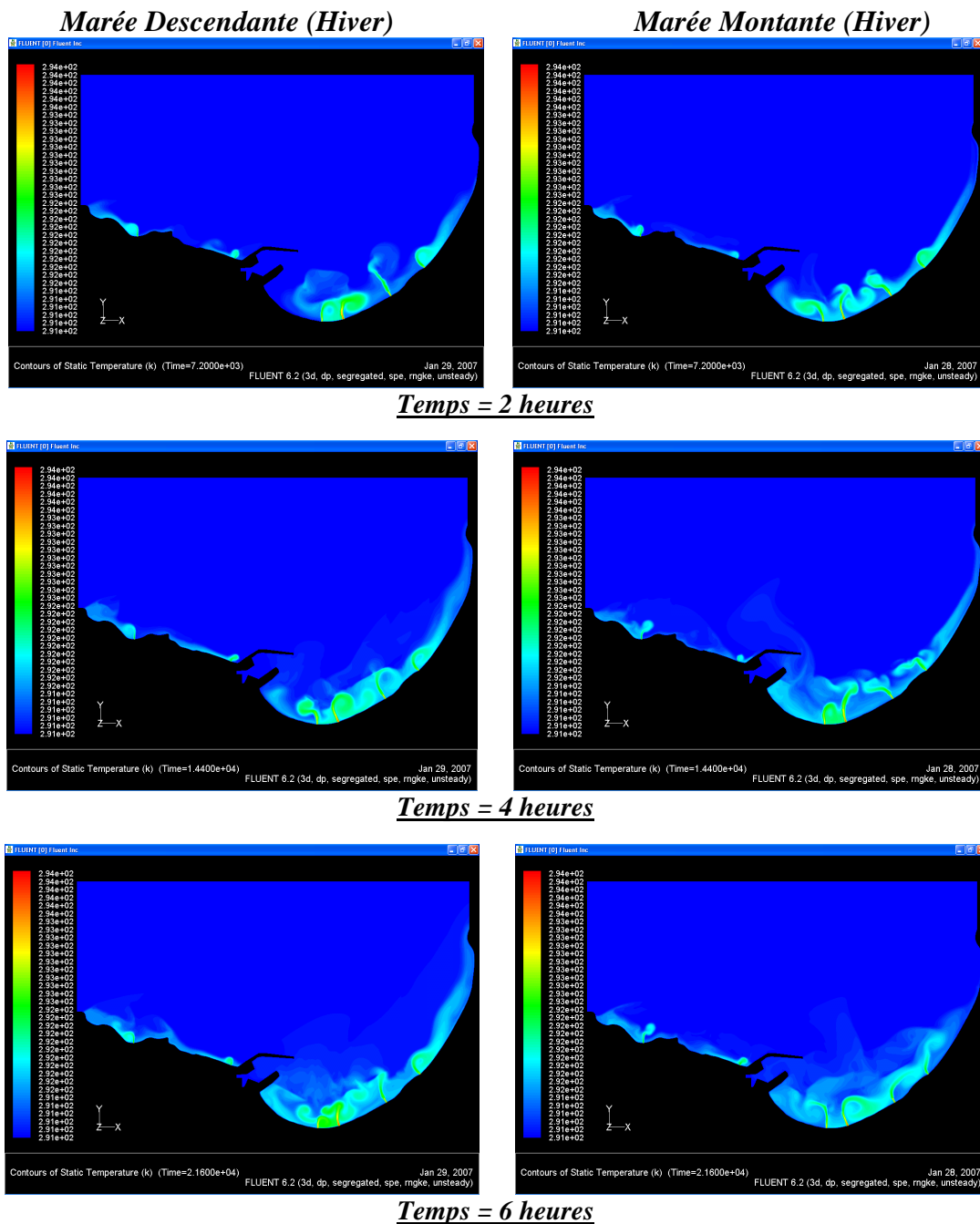


Figure 2 : Isothermes de l'eau de mer de la baie de Tanger en fonction des marées

La température de l'eau aux différentes embouchures est plus élevée à cause des eaux pluviales et des rejets industriels qui sont normalement chargés de particules polluantes et qui sont à température plus élevée. Nous constatons clairement la diffusion de la pollution qui s'étend sur toute la baie de Tanger. La surface polluée et plus importante lors de la marée descendante. Ceci est dû au courant qui emmène les particules polluantes vers l'intérieur du détroit. Pendant les deux marées (descendante et montante) la baie se trouve complètement polluée. Nous avons obtenu les mêmes résultats pour la période estivale, même si les débits des oueds sont plus faibles. Ceci est notamment dû aux courants marins qui empêchent la diffusion au large. Nos résultats sont confirmés par les campagnes de mesures réalisées par des bureaux de contrôle agréés sur la qualité de l'eau de la mer et qui depuis quelques années interdisent la baignade dans la baie de Tanger.

## 6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES :

Les résultats de cette simulation semblent plausibles. Nous constatons que la profondeur peut avoir une influence non négligeable sur les zones tourbillonnaires observées, ce qui peut modifier le comportement de la dispersion des polluants dans la baie : ceci justifie notre modélisation en trois dimensions. Comme perspective de notre étude, nous projetons de prendre en considération l'effet du vent sur la surface libre, de simuler la dispersion dans le cas de l'émissaire que la société Amendis compte construire pour solutionner le problème de la pollution de la baie de Tanger et de réaliser une étude sur une durée plus importante (1 semaine, 1 mois).

### Nomenclature :

|                  |                                    |                                |  |
|------------------|------------------------------------|--------------------------------|--|
| $a$              | : diffusivité thermique du fluide  | $u_i'$                         | : fluctuation de la composante de vitesse                |
| $C$              | : concentration de l'espèce        | <b><u>Lettres grecques</u></b> |  |
| $C_p$            | : capacité calorifique du fluide   | $\rho$                         | : masse volumique du fluide                              |
| $D$              | : coefficient de diffusion         | $\mu$                          | : viscosité dynamique du fluide                          |
| $f_i$            | : forces volumiques                | $\delta_{ij}$                  | : symbole de Kronecker                                   |
| $k$              | : énergie cinétique turbulente     | $\tau_{ij}$                    | : contrainte visqueuse                                   |
| $p$              | : pression                         | $\nu$                          | : viscosité cinématique du fluide                        |
| $t$              | : temps                            | $\mathcal{E}$                  | : taux de dissipation de l'énergie cinétique turbulente. |
| $T$              | : température                      |                                |  |
| $u_i$            | : composante de vitesse            |                                |  |
| $\overline{u_i}$ | : composante moyenne de la vitesse |                                |  |

### Références Bibliographiques

- [1] C. VERDIER-BONNET : « Modélisation des écoulements côtiers stratifiés à surface libre et para métrisation de la turbulence ; application à la dissémination larvaire » ; *Thèse de Docteur de l'Université*, Université d'Aix Marseille II, 22 janvier 1996.
- [2] N. REUL : « Etude expérimentale de la structure de l'écoulement d'air au-dessus de vagues courtes déferlantes » ; *Thèse de Docteur de l'Université*, Université d'Aix-Marseille II, 17 décembre 1998.
- [3] « FLUENT 6.2 User's Guide », Janvier 2005.
- [4] M. JOELSON : « Contribution à la caractérisation et à la formulation mathématique d'ondes de surface océaniques », *Thèse de Docteur de l'Université*, Université d'Aix-Marseille II, 29 septembre 1997.
- [5] J. COUSTEIX « Turbulence et couche limite ». *Edition « CEPADUES-EDITIONS »*, Toulouse, 1989.