

## Calage du modèle hydrodynamique à 2D du complexe lagunaire de Côte d'Ivoire

### Calibration of the 2D hydrodynamical model of the Ivory Coast lagoonal complex

WANGO Ted Edgard<sup>1\*</sup>, MOUSSA Mahmoud<sup>2</sup>, ADOPO Kouassi Laurent<sup>1</sup>,  
MONDÉ Sylvain<sup>1</sup>

**Abstract:** Sensitivity tests of the two dimensional hydrodynamic model (using the SMS software) of lagoons systems Grand-Lahou, Ebrié and Aby to Manning's roughness (n-value) and Eddy viscosity coefficient (E-value) variations, have permitted the model calibration. Field measurements used for model adjustment are velocity and water level. The model validation has been achieved by comparison between measurements and predictions through correlation coefficients and Relative Mean Absolute Error (RMAE). The results of the calibration model gives us  $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  and  $E=30 \text{ m}^2/\text{s}$  for Grand-Lahou lagoon;  $n=0.03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  and  $E=10 \text{ m}^2/\text{s}$  for Ebrié lagoon; and  $n=0.04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  with  $E=5 \text{ m}^2/\text{s}$  for the Aby lagoon.

Key words: Calibration, Manning coefficient, Turbulent exchange coefficient, Lagoonal complex, Ivory Coast

**Résumé :** Des tests de sensibilité du modèle hydrodynamique à 2 Dimensions (en utilisant le logiciel SMS) des systèmes lagunaires Grand-Lahou, Ebrié et Aby aux variations des coefficients de Manning (n) et de dispersion (E) nous ont permis de caler le modèle. Les mesures de terrain utilisées pour le calage des modèles hydrodynamiques sont des vitesses de courants et des variations du niveau de la surface d'eau. La validation du modèle a été accomplie par comparaison des mesures aux prédictions du modèle à l'aide du coefficient de corrélation et du RMAE (Relative Mean Absolute Error). Les résultats du calage des modèles nous ont donné  $n=0,05 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et  $E=30 \text{ m}^2/\text{s}$  pour la lagune Grand-Lahou ;  $n=0,03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et  $E=10 \text{ m}^2/\text{s}$  pour la lagune Ebrié ; et  $n=0,04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et  $E=5 \text{ m}^2/\text{s}$  pour la lagune Aby.

Mots clés : Calage, Coefficient de Manning, Coefficient de dispersion, Complexe lagunaire, Côte d'Ivoire

## INTRODUCTION

Les lagunes représentent une richesse écologique et économique qui se traduit particulièrement par la pêche et l'aquaculture. Foyers d'occupation humaine, ces milieux font l'objet de fortes pressions liées aux activités urbaines et industrielles. Les lagunes de Grand-Lahou, Ebrié et Aby, qui constituent le complexe lagunaire de Côte d'Ivoire, ne font pas exception. Dans un contexte de développement durable, l'étude et la bonne gestion de ces milieux passe par la modélisation hydrodynamique. Cependant, avant qu'un modèle numérique ne soit utilisé comme outil de gestion, il faudrait qu'il soit bien calibré. Le calage d'un modèle est typiquement accompli par comparaison qualitative de courtes séries

---

<sup>1</sup>Université de Cocody, UFR. Sciences de la Terre et des Ressources Minières, 22 B.P. 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire. Tél.: 225 22 48 38 03.

<sup>2</sup>Université de Tunis El Manar, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, Labo. Hydraulique, BP. 37, Le Belvédère, 1002 Tunis, Tunisie. Tél. : 216 71 874 700, Fax : 216 71 872 729.

\*Corresponding author : tededgard@yahoo.fr

chronologiques de niveau d'eau ou de vitesses calculées par le modèle numérique aux données de terrain disponibles pour le même endroit et la même période (CHENG *et al.*, 1991 ; FERNANDES *et al.*, 2001).

La présente note, par des tests de sensibilité, analyse le déterminisme des coefficients de rugosité du fond de Manning (n) et de dispersion (E) pour le calage du modèle numérique du complexe lagunaire Côte d'Ivoire.

## CADRE PHYSIQUE DU COMPLEXE LAGUNAIRE DE COTE D'IVOIRE

Les milieux lagunaires ivoiriens, dont la superficie totale est d'environ 1180 km<sup>2</sup>, se rencontrent le long de la moitié orientale du littoral et s'étendent sur près de 300 km, entre les longitudes 2°52' et 5°25' Ouest et les latitudes 5°08' et 5°22' Nord (figure 1). Ils s'organisent en trois principaux systèmes lagunaires. Le système lagunaire Grand-Lahou, le système lagunaire Ebrié et le système lagunaire Aby. Ces trois systèmes de lagunes sont reliés entre eux par deux canaux artificiels. Le canal d'Assagny relie les systèmes Grand-Lahou et Ebrié. Celui d'Assinie, joint le système Ebrié au système Aby. Cet ensemble constitue le complexe lagunaire de Côte d'Ivoire (clc). Localisé dans le bassin sédimentaire, le clc est sous l'influence d'un réseau hydrographique assez dense constitué par :

- trois (3) fleuves de régime tropical de transition (Bandama, Comoé et Tanoé) caractérisé par une crue annuelle entre septembre et octobre ;

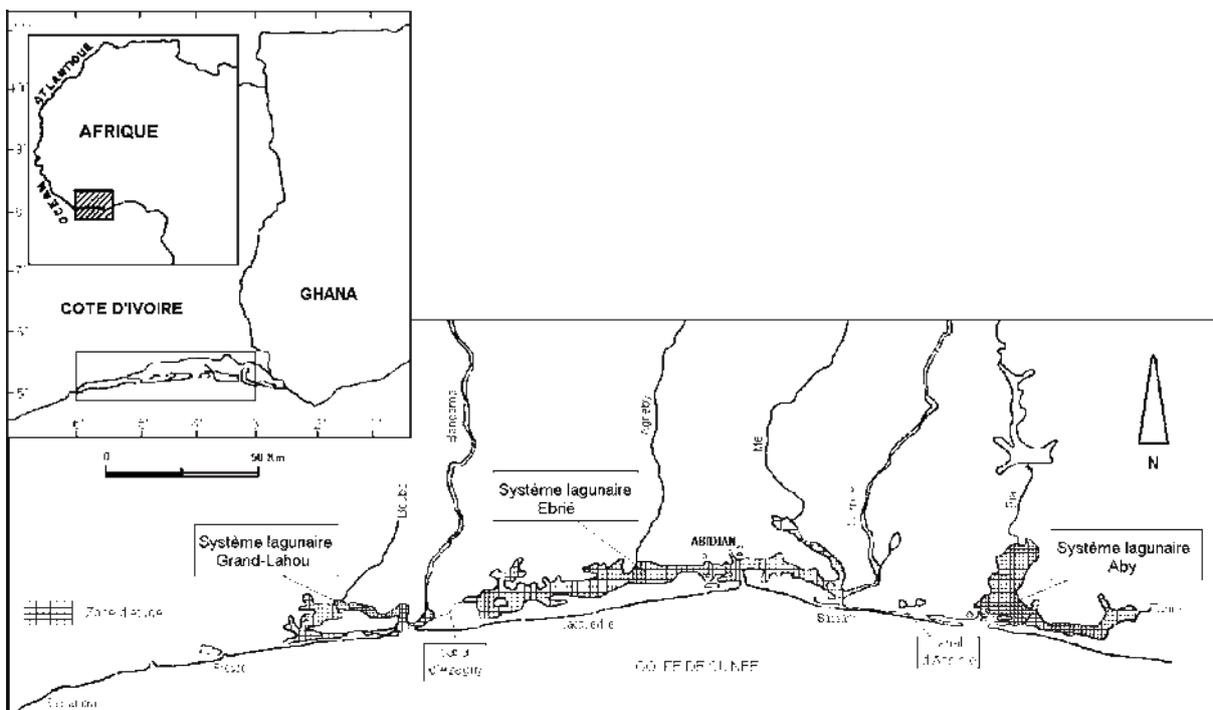


Figure 1 : Le complexe lagunaire de Côte d'Ivoire

- quatre (4) fleuves côtiers de régime équatorial de transition (Boubo, Agnéby, Mé et Bia) avec deux crues annuelles, respectivement en juin et en octobre.

En aval, la marée pénètre dans les trois systèmes lagunaires en passant par le grau de Grand-Lahou (système Grand-Lahou), le canal artificiel de Vridi (système Ebrié) et la passe d'Assinie (système Aby). La marée est sensiblement en phase sur toute la côte, d'où des courants de marée faibles, d'autant plus que le marnage ne dépasse guère 0,4 m en mortes eaux et 1,3 m en vives eaux (LEMASSON et REBERT, 1973). La marée dominante est de type semi-diurne avec une inégalité diurne. Elle présente toujours deux pleines mers et deux basses mers par jour, mais les hauteurs des pleines mers ou de basses mers consécutives sont différentes en raison de la présence de l'onde diurne (une basse mer et une pleine mer par jour).

## MATERIEL ET METHODES

### Le modèle hydrodynamique utilisé

Puisque les trois systèmes lagunaires sont peu profonds (entre 3 et 4,8 m de profondeur moyenne) par rapport aux dimensions horizontales (50 à 150 km) d'une part et que la dynamique du milieu est essentiellement contrôlée par la marée et les débits fluviaux d'autre part, un modèle intégré sur la verticale a été développé. L'outil de modélisation choisi est le modèle numérique SMS (ou « *Surface-water Modeling System* »). C'est un modèle bidimensionnel qui utilise la méthode des éléments finis pour résoudre les équations de conservation de la masse et de bilan de quantité de mouvement intégrées sur la hauteur d'eau (REZGUI *et al.*, 2008 ; MOUSSA, 2009) :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = m_0 \quad - (1) \text{ l'équation de continuité :}$$

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - h \left[ E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[ \frac{\partial Z_f}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{gun^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta \frac{\rho_a}{\rho} V_a^2 \cos \phi - 2h\omega v \sin \phi = 0$$

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - h \left[ E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[ \frac{\partial Z_f}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right] + \frac{gvn^2}{h^{1/3}} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta \frac{\rho_a}{\rho} V_a^2 \sin \phi + 2h\omega u \sin \phi = 0$$

- (2) l'équation de bilan de quantité de mouvement suivant Ox :

- (3) l'équation de bilan de quantité de mouvement suivant Oy :

Dans lesquelles,  $h$  : hauteur d'eau (m) ;  $u$  et  $v$  : composantes horizontales de la vitesse moyenne sur la hauteur d'eau (m/s) ;  $t$  : temps (s) ;  $\rho$  : masse volumique de l'eau (kg/m<sup>3</sup>) ;  $\rho_a$  : masse volumique de l'air (kg/m<sup>3</sup>) ;  $m_0$  : flux massique (m/s) à l'interface (évaporation, pluviométrie) ;  $E_{ij}$  : coefficients de dispersion (m<sup>2</sup>/s) ;  $g$  : accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>) ;  $Z_f$  : cote au fond (m) ;  $n$  : coefficient de rugosité du fond de Manning (m<sup>1/3</sup>.s) ;  $\zeta$  : coefficient de cisaillement du vent ;  $V_a$  : vitesse du vent (m/s) ;  $\phi$  : direction du vent par rapport à l'axe OX ;  $\omega$  : vitesse de rotation angulaire de la terre (rd/s) et  $\phi$  : latitude du milieu.

Ces équations, dont les inconnues sont  $h$ ,  $u$  et  $v$ , n'admettent pas de solutions analytiques, du moins pour les milieux naturels. Elles sont alors résolues numériquement par la méthode des éléments finis. Les valeurs des coefficients  $n$ ,  $\zeta$ , et  $E_{ij}$  devraient être déterminées par calage du modèle en s'appuyant sur des mesures de terrain.

### Maillage du domaine et conditions aux limites

La construction du modèle commence par l'introduction de la géométrie du plan d'eau lagunaire. Les points bathymétriques ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) proviennent de la digitalisation de cartes bathymétriques disponibles (WOGNIN, 2004 ; Abé *et al.*, 1993 ; PETROCI, 1982 ; PAA, 1984a, 1984b et 1989). Les figures 2, 3 et 4 (Planche1) illustrent le maillage des trois systèmes de lagunes (WANGO, 2009).

Le plan d'eau été ensuite discrétisé en éléments triangulaires à 6 nœuds. La taille des mailles est choisie en fonction des critères morphologiques et hydrologiques. Le maillage est affiné au niveau des canaux et communications (50 m de côté). Le maillage des deux canaux (Assagny et Assinie) a permis de relier les trois systèmes de lagunes. Dans les zones lagunaires éloignées, la longueur des éléments peut atteindre 500 m.

Les différents types de conditions aux limites imposées au plan d'eau lagunaire sont les suivantes :

- entrée des fleuves : Débits imposés ;
- berges imperméables : Conditions de paroi ou de vitesse perpendiculaire nulle ;
- sorties : Hauteur imposée (marée).

### Paramètres de calage du modèle

Des lois permettant d'exprimer quelques phénomènes physiques et de fermer les équations des modèles sont nécessaires (loi de frottement, de turbulence,...). Dans le logiciel SMS, ces phénomènes sont exprimés en utilisant les paramètres suivants :

- le coefficient de rugosité du fond de Manning ( $n$ ), qui est caractéristique de la nature sédimentaire du fond ;
- les coefficients de dispersion ( $E_{ij}$ ) qui permettent de tenir compte de la diffusion turbulente et de la non homogénéité des vitesses sur la hauteur d'eau ;
- le coefficient de frottement interfacial dû au vent ( $\zeta$ ), qui est caractéristique du cisaillement par le vent en surface.

En général, dans les milieux naturels, la valeur du coefficient de Manning varie entre 0,02 et  $0,1 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ , celle du coefficient de frottement dû au vent ( $\zeta$ ) est de l'ordre de 0,001 (MOUSSA, 2009), tandis que celle des coefficients de dispersion pour les milieux de faibles profondeurs varie de 1 à  $50 \text{ m}^2/\text{s}$  (SMS, 2003). La détermination de ces paramètres se fait par ajustement (ou tests de sensibilité) jusqu'à l'obtention, avec le modèle, des ordres de grandeurs des données expérimentales de terrain (FERNANDES *et al.*, 2001). Notons que, généralement, l'isotropie de la dispersion est admise dans les milieux naturels :  $E_{xx} = E_{xy} = E_{yx} = E_{yy} = E$ .

## RESULTATS

### Calage du modèle hydrodynamique

La comparaison des vitesses calculées par le modèle aux vitesses mesurées et a été faite principalement grâce à l'utilisation du RMAE (*Relative Mean Absolute Error*) proposé par WALSTRA *et al.* (2001). Le tableau I présente les qualifications préliminaires pour différentes valeurs calculées de RMAE.

Tableau I : Qualification des gammes d'erreur pour RMAE (WALSTRA *et al.*, 2001)

Qualification	RMAE
Excellente	<0,2
Bonne	0,2 - 0,4
Acceptable	0,4 - 0,7
Faible	0,7 - 1
Mauvaise	> 1,0

A cause de la grande étendue de la zone d'étude, chaque système lagunaire a été calé séparément pour aboutir à celui du complexe lagunaire.

Sachant que les observations ont été réalisées en absence de vents forts, nous n'avons pas pu caler la valeur du coefficient de frottement dû au vent ( $\zeta$ ). Les simulations ont été alors réalisées en négligeant l'effet du vent.

# Planche 1

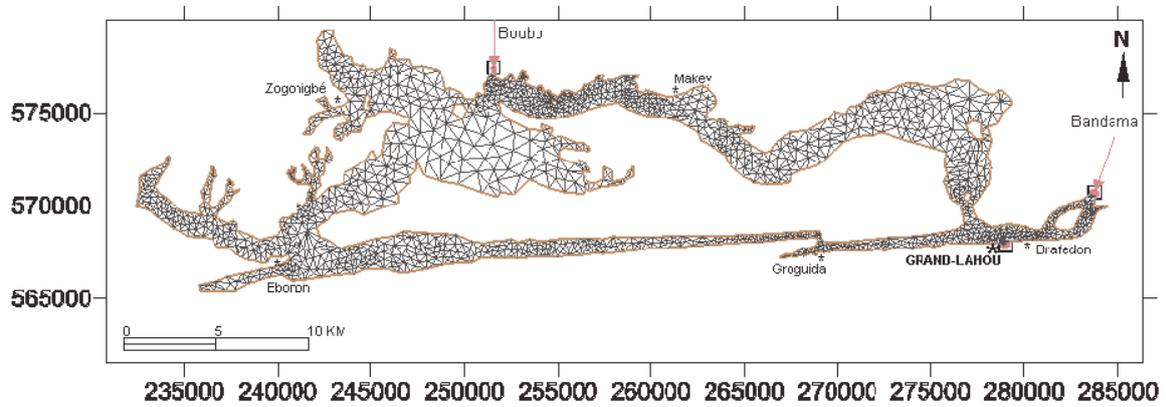


Figure 2 : Maillage du système lagunaire Grand-Lahou

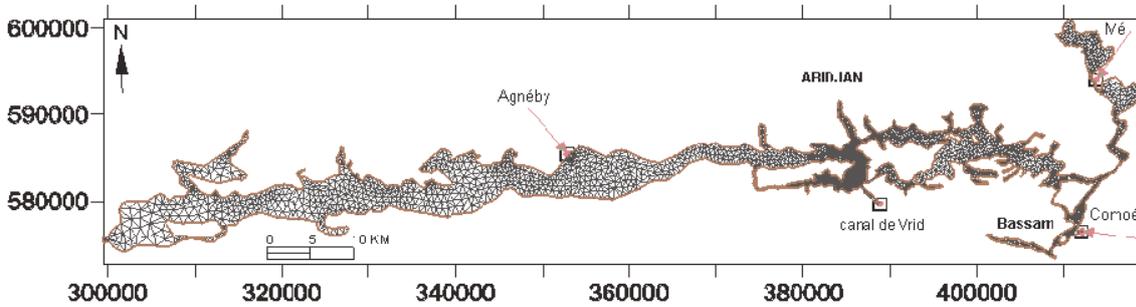


Figure 3 : Maillage du système lagunaire Ebrié

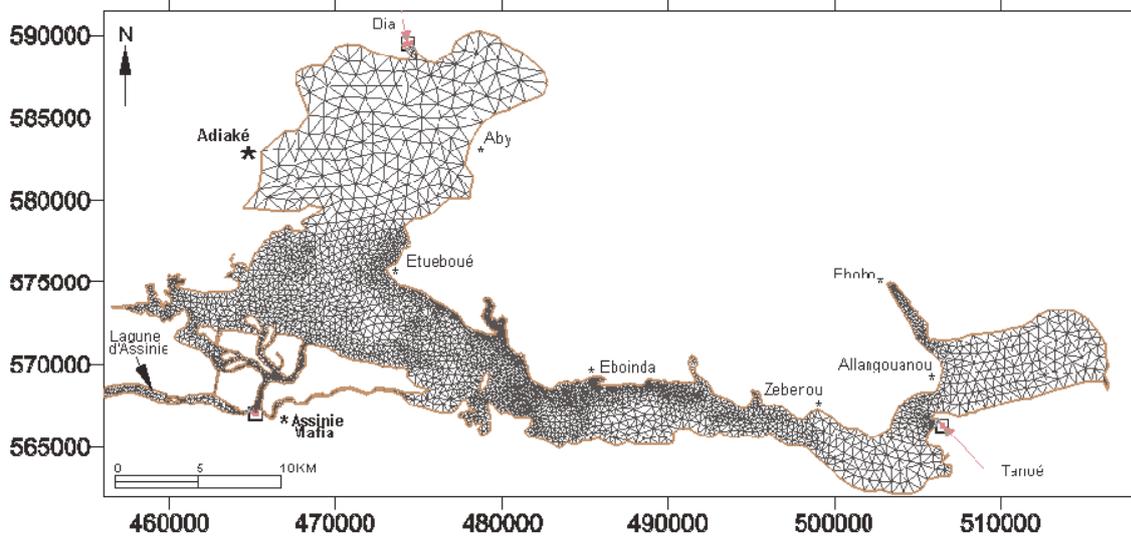


Figure 4 : Maillage du système lagunaire Aby

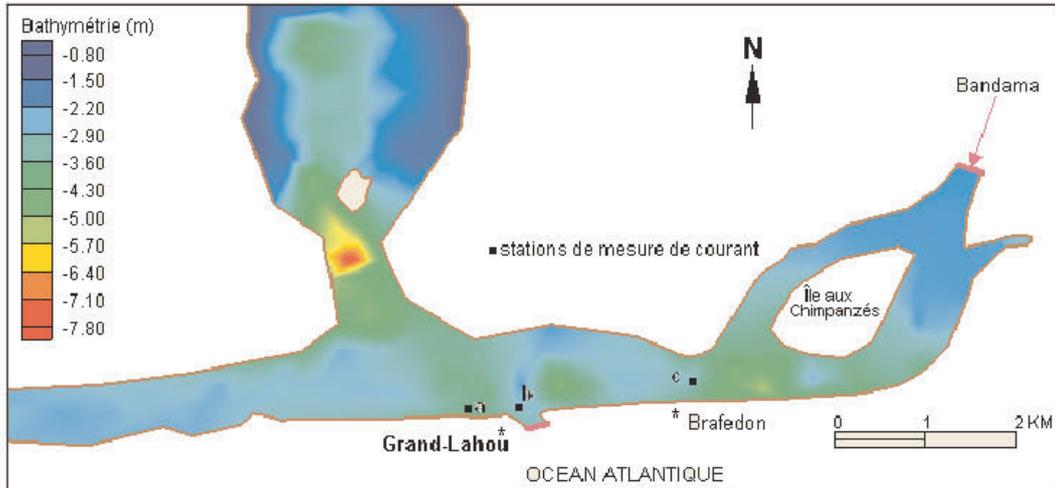


Figure 5 : Localisation des stations de mesures des courants à l'intérieur du Grand-Lahou

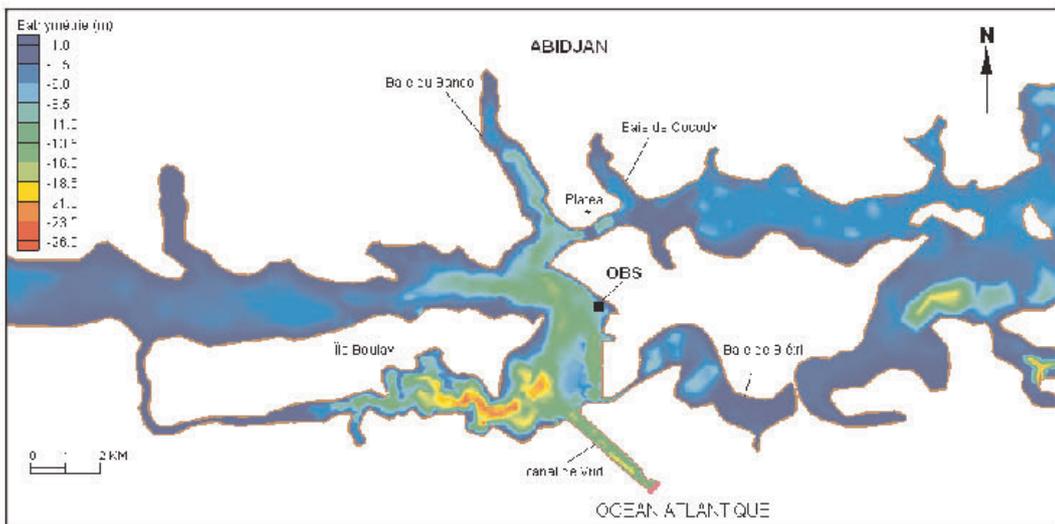


Figure 6 : Localisation de l'OBS dans la Lagune Ebrié

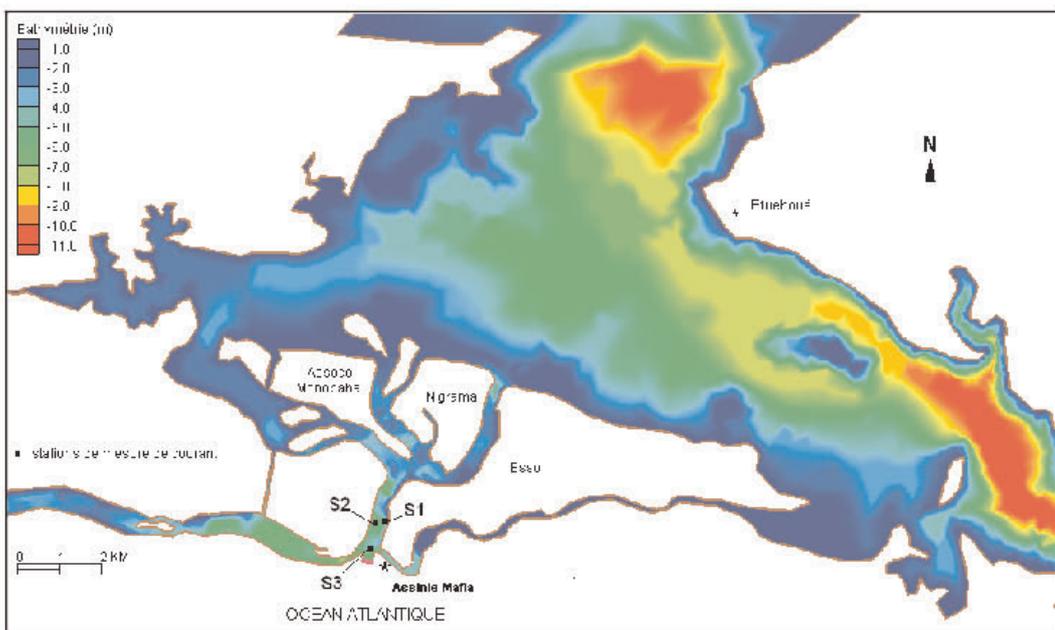


Figure 8 : Localisation des stations de mesure des courants dans la Lagune Aby

### *Calage du modèle du système lagunaire Grand-Lahou*

Les données de calage dont nous disposons sont des vitesses de courants mesurées dans trois stations (notées a, b et c sur la figure 5, Planche 2) situées près de l'embouchure de la lagune Grand-Lahou. La marée imposée est celle du mardi 10 juillet 1993 (station de Grand-Lahou extrait du logiciel WXTide32). La pleine mer a eu une amplitude de 1,2 m et la basse mer une amplitude de 0,3 m, soit un marnage de 0,90 m. Les débits fluviaux rejetés dans la lagune par les fleuves Bandama et Boubo lors des mesures sont, respectivement,  $73,3 \text{ m}^3/\text{s}$  et  $16,1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Le modèle donne une bonne représentation des vitesses de courants mesurées respectivement aux stations c (RMAE=0,2) et b (RMAE=0) avec un coefficient moyen de Manning n égal à  $0,05 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et un coefficient de dispersion E de  $30 \text{ m}^2/\text{s}$  (tableau II). Cependant, au niveau de la station a, le résultat du modèle reste relativement mauvais (RMAE=2).

Tableau II : Comparaison entre vitesses maximales calculées et mesurées dans la lagune Grand-Lahou

Stations	Vitesses mesurées (m/s)	Vitesses calculées (m/s)	RMAE
a	0,061	0,172	2
b	0,374	0,374	0
c	0,045	0,037	0,2

### *Calage du modèle du système lagunaire Ebrié*

Les données collectées pour le calage du modèle du système lagunaire Ebrié sont des hauteurs d'eau mesurées en février 2002 par un capteur OBS (*Optical Backscatter Sensor*) installé à l'intérieur de la lagune Ebrié (figure 6, Planche 2). Le capteur subit une pression qui est la somme de la pression atmosphérique et de la pression hydrostatique. En supposant que la pression atmosphérique est constante, les variations de pressions mesurées sont alors liées aux variations de pressions hydrostatiques (MONDE, 2004).

La comparaison des niveaux calculés par le modèle à ceux mesurés a été évaluée dans ce cas par le calcul du coefficient de corrélation entre les deux séries temporelles. Cette analyse est basée sur la covariance de l'ensemble des données divisée par leur écart type (DAVIES, 1986 ; FERNANDES *et al.*, 2001).

Les valeurs des paramètres de calage qui conviennent pour les simulations du système lagunaire Ebrié sont n égal à  $0,03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et E égal à  $10 \text{ m}^2/\text{s}$  (figure 7) avec lesquels nous avons obtenu une bonne corrélation ( $r=0,99$ ) entre les deux séries temporelles. En outre, nous avons obtenu un RMAE de l'ordre de 0,2 ce qui signifie que le modèle reproduit assez bien la variation du niveau de la surface de l'eau à l'emplacement de l'OBS. En effet, le marnage observé est de 0,58 m, tandis que celui calculé par le modèle est de 0,48 m, ce qui correspond à un RMAE égal à 0,2.

### *Calage du modèle du système lagunaire Aby*

Des mesures horaires des vitesses en surface réalisées dans trois stations fixes, dans le chenal principal de la passe d'Assinie, ont permis de caler le modèle hydrodynamique de cette lagune. Ces stations de mesures, notées S1, S2 et S3, sont localisées sur la figure 8. Les mesures ont été réalisées pendant les crues du mois d'octobre, en vives-eaux, à l'aide d'un courantomètre Valport de type BF008 (ABE *et al.*, 1996).

Les tests de sensibilité du coefficient de rugosité (n) et du coefficient de dispersion (E) qui permettent une excellente (RMAE<0,2) reproductibilité des vitesses de courants observées dans le chenal central d'Assinie sont : n égal à  $0,04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et E égal à  $5 \text{ m}^2/\text{s}$ . Les vitesses maximales prédites par le modèle sont comparées à celles mesurées par ABE *et al.* (1996) dans le tableau III

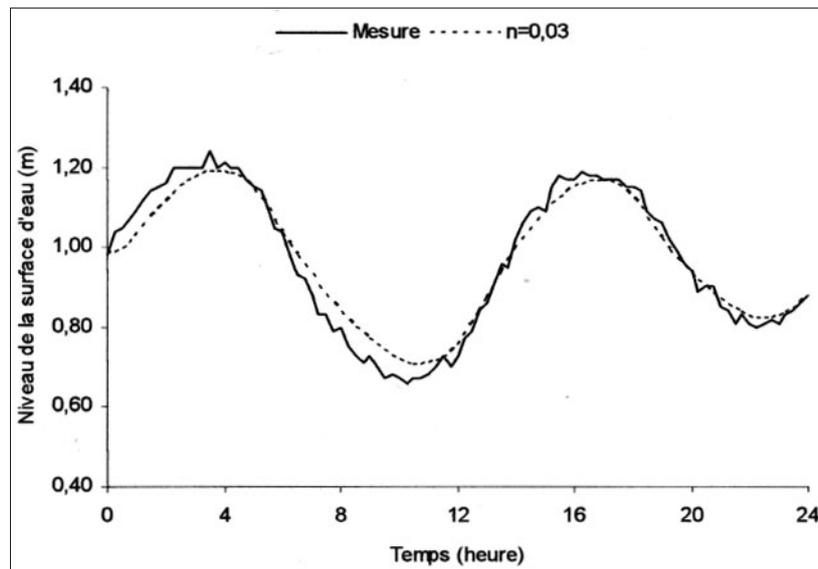


Figure 7 : Comparaison entre niveaux d'eau mesurés et calculés dans la lagune Ebrié

Tableau III : Comparaison entre vitesses maximales calculées et mesurées dans la lagune Aby

Stations	Vitesses mesurées (m/s)	Vitesses calculées (m/s)	RMAE
S1	0,834	0,788	0,06
S2	0,978	0,965	0,01
S3	0,923	0,950	0,03

## DISCUSSION

Les différents tests de sensibilité du modèle hydrodynamique à la variation des valeurs des coefficients de Manning ( $n$ ) et de dispersion ( $E$ ) ont permis d'avoir un bon accord entre les résultats du modèle et les observations. Par ailleurs, les vitesses calculées paraissent raisonnables, du moins qualitativement.

Les résultats du calage des modèles hydrodynamiques des trois systèmes lagunaires présentés dans le tableau IV, montre que la rugosité moyenne du fond est fortement corrélée à la profondeur moyenne des lagunes : plus le milieu est profond, plus l'effet du fond est faible. En effet, la lagune Grand-Lahou, avec une profondeur moyenne de 3 m, est caractérisée par une rugosité plus grande ( $n=0,05 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ ), alors que la lagune Ebrié, qui est la plus profonde (avec une profondeur moyenne de 4,8 m), est caractérisée par une rugosité plus faible (soit  $n=0,03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ ). Toutefois, ces rugosités sont relativement importantes pour des milieux lagunaires naturels, ce qui montre l'irrégularité de la morphologie du fond ainsi que l'impact des algues présentes dans ces lagunes.

En ce qui concerne les coefficients de dispersion, globalement, ils diminuent quand la profondeur moyenne augmente : La vitesse moyenne sur la verticale est alors plus proche de la répartition verticale de la vitesse. Toutefois, la valeur du coefficient de dispersion obtenue pour le système lagunaire Aby échappe à cette règle.

Tableau IV : Synthèse des résultats du calage des modèles hydrodynamiques

Lagune	Coefficient de Manning $n \text{ (m}^{-1/3} \cdot \text{s)}$	Coefficient de Dispersion $E \text{ (m}^2/\text{s)}$	Profondeur moyenne (m)
Grand-Lahou	0,05	30	3
Ebrié	0,03	10	4,8
Aby	0,04	5	3,8

Notons que les différences entre les prédictions des modèles et les mesures de terrain peuvent s'expliquer par plusieurs limitations. La bathymétrie interpolée et utilisée dans le modèle n'a pas été actualisée jusqu'à ce jour. En effet, une représentation bathymétrique précise est l'une des conditions les plus importantes et les plus fondamentales dans la représentativité du modèle (CHENG *et al.*, 1991 ; FERNANDES *et al.*, 2001). Ceci est d'autant plus vrai dans le cas du système Ebrié qui abrite le Port d'Abidjan et où on assiste à des dragages réguliers. Quand aux systèmes lagunaires Grand-Lahou et Aby, la dérive littorale tend à fermer leurs passes (ABE *et al.*, 1993, 1996 ; WOGNIN, 2004). D'autres facteurs de limitations, tels que la précision du signal de marée, l'effet de la variation dans l'espace de la rugosité du fond, les fluctuations météorologiques (coup de vent, les variations locales de la pression atmosphérique,...), peuvent aussi agir énormément sur la précision du modèle.

## CONCLUSION

Le calage du modèle hydrodynamique 2D appliqué au complexe lagunaire de Côte d'Ivoire (systèmes lagunaires Grand-Lahou, Ebrié et Aby) a nécessité l'utilisation de données de terrain telles que les vitesses de courants, de niveaux d'eau, de marée et de débits fluviaux. La validation du modèle a été accomplie par comparaison des mesures aux prédictions à l'aide du coefficient de corrélation et du RMAE. Les résultats du calage donnent pour le système Grand-Lahou  $n=0,05 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et  $E=30 \text{ m}^2/\text{s}$  ; système Ebrié  $n=0,03 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  et  $E=10 \text{ m}^2/\text{s}$  et pour le système Aby  $n=0,04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$  avec  $E=5 \text{ m}^2/\text{s}$ . Ces résultats obtenus, même s'ils sont satisfaisants globalement, restent perfectibles. En effet, des données géométriques récentes et plus précises (bathymétriques en particulier), et des mesures de terrain complémentaires (précises, simultanées et complètes) permettraient certainement d'affiner le calage des modèles hydrodynamique du complexe lagunaire de Côte d'Ivoire.

## BIBLIOGRAPHIE

- ABE, J., BAKAYOKO, S., BAMBA, S.B. & CISSOKO, S., 1993. Morphologie et hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Bandama, Abidjan, Côte d'Ivoire. *JJOL : Journal Ivoirien d'Océanologie et de Limnologie* :9-24.
- ABE, J., BAMBA, B.S., BAKAYOKO, S., KOFFI, P.K. & CISSOKO, S., 1996. Influence des régimes hydrologiques sur les variations morphologiques actuelles d'une passe lagunaire en domaine microtidal tropical (la passe d'Assinie en lagune Aby - Côte d'Ivoire). *Laboratoire de Physique et de géologie Marine, Centr. Rech. Océanogr*, 52p.
- CHENG, R.T., BURAU, J.R. & GARTNER, J.W., 1991. Interfacing data analysis and numerical modelling for tidal hydrodynamic phenomena. In: Parker, B.B. (ed.), *Tidal hydrodynamics*, J. Wiley and Sons, pp.201-219.
- CEDA - CENTRE POUR L'ENVIRONNEMENT ET LE DEVELOPPEMENT EN AFRIQUE, 1997. Principaux problèmes environnementaux de la zone côtière. In : Côte d'Ivoire - Profil environnemental de la zone côtière. Rapport Ministère du logement, du cadre de vie et de l'environnement, Grand écosystème marin du golfe de Guinée, pp.44-47.
- DAVIES, J.C., 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York : John Wiley and Sons, 646p.
- FERNANDES, E.H.L., DYER, K.R. & NIENCHESKI, L.F.H., 2001. Calibration and validation of the TELEMAC-2D Model to the Patos Lagoon (Brazil). *Journal of Coastal Research*. Special Issue, n° 34 (ICS 2000 New Zealand), ISSN 0749-0208 : 470-488.
- LEMASSON, L. & REBERT J.P., 1973. Les courants marins dans le golfe ivoirien. *Cah. ORSTOM, série Océanogr.*, XI, 1 : 67-95.
- MONDE, S., 2004. Etude et modélisation hydrodynamique de la circulation des masses d'eau dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Abidjan, 324p.
- MOUSSA, M., 2009. Mécanique des fluides environnementale - Modélisation dynamique des milieux lacustres et marins. Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, 134p.
- PAA - PORT AUTONOME D'ABIDJAN, 1989. Sondage bathymétrique de la lagune Aby Sud.
- PAA - PORT AUTONOME D'ABIDJAN, 1984A. Sondage bathymétrique du système fluvial et lagunaire d'Abidjan Ouest.

- PAA - PORT AUTONOME D'ABIDJAN, 1984B. Sondage bathymétrique du système fluvial et lagunaire d'Abidjan Est.
- PETROCI - SOCIETE D'OPERATIONS PETROLIERES DE COTE D'IVOIRE, 1982. Sondage bathymétriques de la lagune Aby.
- REZGUI, A., BEN MAÏZ, N. & MOUSSA, M., 2008. Modélisation du fonctionnement hydrodynamique et écologique du Lac Nord de Tunis. *Revue des Sciences de l'Eau*, Canada., 21, 3 : 349-361.
- SMS, 2003. Surface-water Modeling System. Users Guide to RMA2 WES, version 4.3, US Army Corps of Engineers - Waterways Experiment Station, 240p.
- WALSTRA, L.C., VAN RIJN, L.C., BLOGG, H. & VAN ORMONDT, M., 2001. Evaluation of a hydrodynamic area model based on the COAST3D data at Teignmouth 1999. Report TR121 - EC MAST Project N°. MAS3-CT97-0086. HR Wallingford, UK, pp. D4.1-D4.4.
- WANGO T-E., 2009. Modélisation de l'hydrodynamique, de la dispersion du sel et de l'eau douce dans le complexe lagunaire de Côte d'Ivoire (Grand-Lahou, Ebrié et Aby). Thèse, Univ. Cocody, 187p.
- WOGNIN, A.V.I., 2004. Caractérisation hydrologique et sédimentologique de l'embouchure du fleuve Bandama. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, 195p.