


JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HYDROLOGY

The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology

On the World Wide Web at <http://www.hydroweb.com>

VOLUME 19

2011



MODÉLISATION HYDROLOGIQUE D'UNE LAGUNE TROPICALE À DEUX EXUTOIRES (LAGUNE EBRIÉ, CÔTE D'IVOIRE) DURANT LA CRUE EXCEPTIONNELLE DU FLEUVE COMOÉ HYDROLOGICAL MODELLING OF A TWO-OUTLET TROPICAL LAGOON (EBRIÉ LAGOON, IVORY COAST) DURING AN EXCEPTIONAL FLOOD OF THE COMOÉ RIVER

Sylvain Monde¹
Aoua S. Coulibaly¹
Valérie Ama I. Wognin¹
Isabelle Brenon²
Kouamé Aka¹

¹Université de Cocody, Département de Géosciences Marines
Abidjan, Côte d'Ivoire

²Université de La Rochelle, Département de Sciences de la Terre
La Rochelle, France

Depuis l'ouverture du Canal de Vridi, l'exutoire naturel de la lagune Ebrié et celui du Comoé à Bassam, ne peut plus se maintenir ouverte de façon permanente. En effet, l'activité hydrodynamique créée par la marée est devenue dès lors insuffisante pour maintenir permanents ces deux débouchés en mer. Dans cette étude, l'exutoire du Comoé à Bassam a été ouvert par simulation numérique de TELEMAC-2D. Durant ces simulations, la baisse de la quantité de masses d'eau s'observe à Bassam. Par contre, on a un accroissement à Vridi. Le volume de masses d'eau et la puissance de chasse restent faibles à l'exutoire de Bassam. L'effet de chasse est très significatif et les courants de jusant sont plus importants.

Since the opening of the Vridi Canal, the natural outlet of the Ebrié lagoon, and that of the Comoé River at Bassam, is no longer permanently open. In effect, the hydrodynamic activity created by the tide has become insufficient to flush and maintain two permanent openings to the sea. In this study, numerical simulation using TELEMAC-2D was used to model the outlet of the Comoé River at Bassam. During these simulations, a decrease in the amount of water was observed at Bassam. Conversely, there was an increase at Vridi. The volume of water bodies and the ability to flush the outlets remains low at the outlet of Bassam. The effect of flushing is very significant and tidal ebb currents are more important.

INTRODUCTION

Les transferts d'eau entre l'océan et la lagune Ebrié se font, depuis un cinquantenaire une cinquantaine d'années par deux passes : (i) un grau naturel : le grau de Bassam situé à l'extrême Est de la lagune Ebrié et (ii) un chenal artificiel creusé en 1950 : le canal de Vridi, au Sud d'Abidjan (plus à l'Ouest).

L'ouverture du canal de Vridi a eu pour conséquence d'amplifier les phénomènes d'ensablement du grau de Bassam (Photo I). A l'opposé, les phénomènes de chasse durant les crues du fleuve Comoé permettent un autocurage partiel et provisoire de ce grau. Le modèle TELEMAC-2D appliqué à ce système permet d'étudier d'une part, la dynamique des masses d'eau dans la lagune Ebrié et d'autre part, le fonctionnement des échanges entre cette lagune et l'océan à travers ces deux passes, en fonction des conditions environnementales.

La modélisation de la dynamique des masses d'eau dans la lagune Ebrié, à l'aide du modèle TELEMAC-2D, a été réalisée (Brenon *et al.*, 2004). Elle a permis la validation du modèle sur la lagune par comparaison des hauteurs d'eau simulées et mesurées. En outre, l'influence des différents forçages (marée, vent, crue ordinaire du Comoé) est décrite. Les connaissances nouvelles apportées à ce travail portent principalement sur l'impact du maintien du grau de Bassam sur la dynamique des masses d'eau au sein du système durant les périodes de crue exceptionnelle du Comoé.

Contexte général de la lagune Ebrié

La lagune Ebrié, ce système complexe, est séparée du golfe de Guinée par des cordons sableux parallèles d'âge holocène. Elle occupe un ensemble de dépressions d'origine fluviale, dont le tracé est parfois guidé par la structure tectonique du substrat continental. Le fleuve Comoé qui draine tout l'arrière pays continental se jette dans la lagune Ebrié (Figure 1). Deux régimes hydrologiques affectent la lagune Ebrié :



Photo I. Fermeture du grau de Bassam (PL: Plage, BS: Banc sableux, Estu: Estuaire, L. Ouladine: Lagune Ouladine).

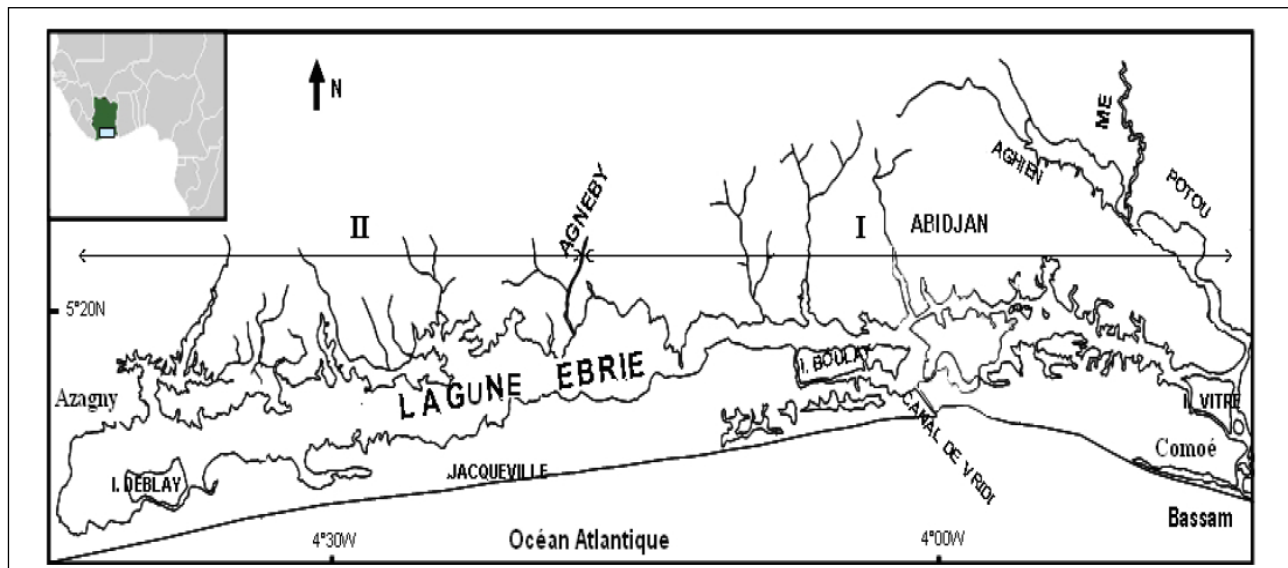


Figure 1. Domaines estuarien (I) et oligohalin (II) en Lagune Ebrié.

(i) le régime tropical de transition qui comporte une crue unique (août à octobre) et une longue période d'étiage (janvier à mai). Le Comoé appartient à ce régime hydrologique. L'écoulement annuel du Comoé est de $9,6 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ avec des débits fluviaux de $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (étiage ordinaire), $550 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (crue ordinaire ou non exceptionnelle) et de $1350 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ en crue exceptionnelle (Durand & Skubich, 1982),

(ii) le régime équatorial de transition qui est caractérisé par le dédoublement de la crue annuelle. La première crue est la plus forte. Elle s'étend de juin à juillet et la seconde d'octobre à novembre (Girard et al., 1971).

Les apports moyens annuels d'eau douce représentent presque quatre fois le volume total de la lagune ($2,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$), tandis que les entrées d'eaux marines représentent 14 fois ce volume. La lagune Ebrié constitue ainsi un milieu relativement renouvelé depuis l'ouverture du canal de Vridi (Durand et Guiral, 1994).

La lagune Ebrié s'allonge d'Ouest en Est sur le littoral ivoirien. Elle s'étend sur 125 km de littoral et occupe une surface d'environ 500 km^2 . Elle possède des baies qui représentent près d'un cinquième de la surface du plan d'eau soit environ 100 km^2 (Varlet, 1978). Sa largeur reste faible (4 km) avec une profondeur moyenne de 4,8 m. Le volume d'eau est de $2,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$.

Après le percement du canal de Vridi, une baisse des courants de chasse dans l'estuaire est observée ainsi que le détournement des eaux depuis Bassam en direction d'Abidjan (Koffi et al., 1991). Ainsi, le colmatage et l'ensablement permanents ont rendu définitive la fermeture de l'estuaire du Comoé à Bassam depuis 1972 (Tricart, 1957 ; Varlet, 1958 ; Tastet, 1979). Les inondations exceptionnelles de 2003-2004 dans la région de Bassam, ont facilité l'ouverture naturelle de ce grau (Photo II) pour une période de 6 mois (Monde, 2004).

Zonations lagunaires

L'hydrologie de la lagune Ebrié présente deux caractéristiques essentielles : (i) l'influence de la marée, autour du canal de Vridi, se ressent par ses effets mécaniques, avec retard et amortissement jusqu'aux extrémités du système Ebrié. (ii) le fleuve Comoé débouche à l'extrémité orientale de la lagune. Il renforce la dissymétrie spatiale et d'importantes fluctuations du volume de sa crue



Photo II. Ouverture artificielle de la passe du Comoé à Bassam (Monde, 2004).

contribuent à une forte variabilité interannuelle (Durand & Guiral, 1994). Ainsi, ces critères morphologiques et hydrologiques permettent une stratification spatiale de la lagune (Figure 1) :

- Domaine estuarien (I). Il s'étend de l'Agnéby au Comoé et est soumis à l'influence marine. Cette région n'est pas homogène car à l'Ouest d'Abidjan, l'influence du Comoé est très atténuée par rapport à la région orientale qui constitue un prolongement du fleuve en crue ;

- Domaine oligohalin (II). Ce secteur s'étend de l'Agnéby au canal d'Azagny. Il est plus stable car l'influence marine y est très atténuée avec de faibles apports d'eau douce.

Topographie des passes

Canal de Vridi : C'est un canal orienté SE-NW pour éviter la pénétration de front des lames du SW. Long de 2,7 km et large de 370 m au plan d'eau, le canal de Vridi a une profondeur navigable de 13,5 m. Les fonds des berges et les musoirs sont protégés par un tapis de fascinage lesté d'enrochements. Les digues associées au canal font barrage à la dérive littorale W-E (Abe & Affian, 1993 ; Monde, 2004).

Grau de Bassam : L'exutoire du Comoé à Bassam est instable. Sa mobilité temporelle et spatiale observées sur environ un siècle portent sur 10 km entre Azurety et Mondoukou (Tricart, 1957 ; Varlet, 1958). C'est une passe peu profonde (2 à 3 m). Elle mesure 600 m de long et 300 m de large.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La compréhension des processus hydrodynamiques passe par la modélisation, qui permet de découpler chaque forçage en vue d'évaluer son impact. Pour la reconstitution de la marée dans la lagune Ebrié, en fonction des données disponibles par le SHOM pour le port d'Abidjan, la composition harmonique a été limitée à 19 ondes. Ce sont les ondes diurnes ($K1$, $O1$, $Q1$, $P1$, $o1$, $k1$), les ondes semi-diurnes ($M2$, $N2$, $S2$, $2N2$, $L2$, $K2$, $T2$, $m2$, $k2$), les ondes quart-diurne ($MN4$, $M4$, $MS4$) et l'onde annuelle S_1 .

L'exutoire du Comoé à Bassam a été ouvert par simulation. Pour ce faire, des modifications ont été apportées aux fichiers des conditions à la limite et de maillage. En outre, la masse perdue ou gagnée lors d'une itération est calculée pour évaluer la variation de la quantité d'eau.

Système TELEMAC-2D

Il résout les équations «de Saint-Venant» intégrées sur la verticale, en fluide homogène et en présence d'une surface libre. A chaque nœud du domaine, le modèle calcule des paramètres retenus et fournit des valeurs qui sont supposées être identiques à celles qui seraient obtenues dans les mêmes conditions si des instruments de mesures étaient disponibles en tout point du domaine et fournissant une valeur au temps t .

La résolution du système différentiel nécessite des conditions initiales et des conditions aux limites. Le principe, très général de la résolution, consiste à définir un domaine discrétisé dans l'espace, caractérisé par un contour et une bathymétrie.

Équations du modèle

Le domaine géographique étudié est défini par des points dont à chacun est associé des équations, caractérisant dans l'espace et dans le temps, la vitesse, la turbulence, le frottement sur le fond, la teneur en particules, le flux de sédiment, etc. ;

$$\text{-Continuité: } \frac{\partial h}{\partial t} + \vec{u}\vec{\nabla}(h) + h\text{div}(\vec{u}) = S_h \quad (1)$$

$$\text{- Dynamique selon } x : \frac{\partial u}{\partial t} + \vec{u}\vec{\nabla}(u) = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + S_x + \frac{1}{h} \text{div}(h\nu_t \vec{\nabla}u) \quad (2)$$

$$\text{- Dynamique selon } y : \frac{\partial v}{\partial t} + \vec{u}\vec{\nabla}(v) = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + S_y + \frac{1}{h} \text{div}(h\nu_t \vec{\nabla}v) \quad (3)$$

$$\text{- Conservation du traceur : } \frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u}\vec{\nabla}(T) = S_T + \frac{1}{h} \text{div}(h\nu_T \vec{\nabla}T) \quad (4)$$

(h = hauteur d'eau; \vec{u} , \vec{v} composantes unitaires de la vitesse; T = traceur passif; g = accélération de la pesanteur; ν_t , ν_T = diffusion de la vitesse et du traceur; Z = côte de la surface libre; t = temps; x , y = composantes horizontales de l'espace; S_h = source de fluide; S_x , S_y = termes sources des équations dynamiques; S_T = source du traceur; h , u , v et T sont les inconnues. S_x et S_y sont les termes sources de quantité de mouvement du vent, de la force de Coriolis, et du frottement sur le fond dans le domaine).

Bathymétrie et maillage de la lagune Ebrié

Les cartes bathymétriques de la lagune Ebrié et les minutes de sondes du port d'Abidjan ont été utilisées (Tastet, 1979 ; PAA, 2000). Les données bathymétriques sont fournies sous forme d'un semis de points cotés à TELEMAC qui en effectue l'interpolation.

En raison d'une discrétisation aux éléments finis, le domaine d'étude a été découpé en mailles triangulaires pour qu'elles s'adaptent à la complexité du trait de côte. La taille des mailles varie d'un secteur à un autre de la lagune : plus celle-ci est petite, plus la précision des résultats est bonne. Mais, plus les mailles sont petites, plus leur nombre, et donc le nombre de calculs à effectuer est

important. La taille des mailles a été choisie en fonction des caractères morphologiques et hydrologiques de la lagune Ebrié (Ramany 1980 ; Durand & Guiral 1994). Les mailles ont été encore plus réduites (100 m) aux débouchés du Comoé (Figure 2), afin d'éviter des problèmes numériques lors des forts débits en période de crue. Rappelons que ce domaine estuarien est caractérisé par une instabilité saisonnière très marquée par la crue du fleuve Comoé. Par contre, un maillage de 50 m a été nécessaire pour simuler le fort hydrodynamisme du canal de Vridi (Figure 3).

Conditions initiales du modèle

Les conditions initiales définissent l'état du modèle au début de la simulation. Elles ont été fixées pour la hauteur d'eau, la vitesse des courants et le rejet de polluant. Le modèle numérique de la lagune Ebrié est imposé à une cote initiale de 1 m. En effet, à Abidjan, le marnage est compris entre 0,50 et 1,50 m. Les composantes de la vitesse des courants sont nulles car le domaine est supposé stable à l'état initial.

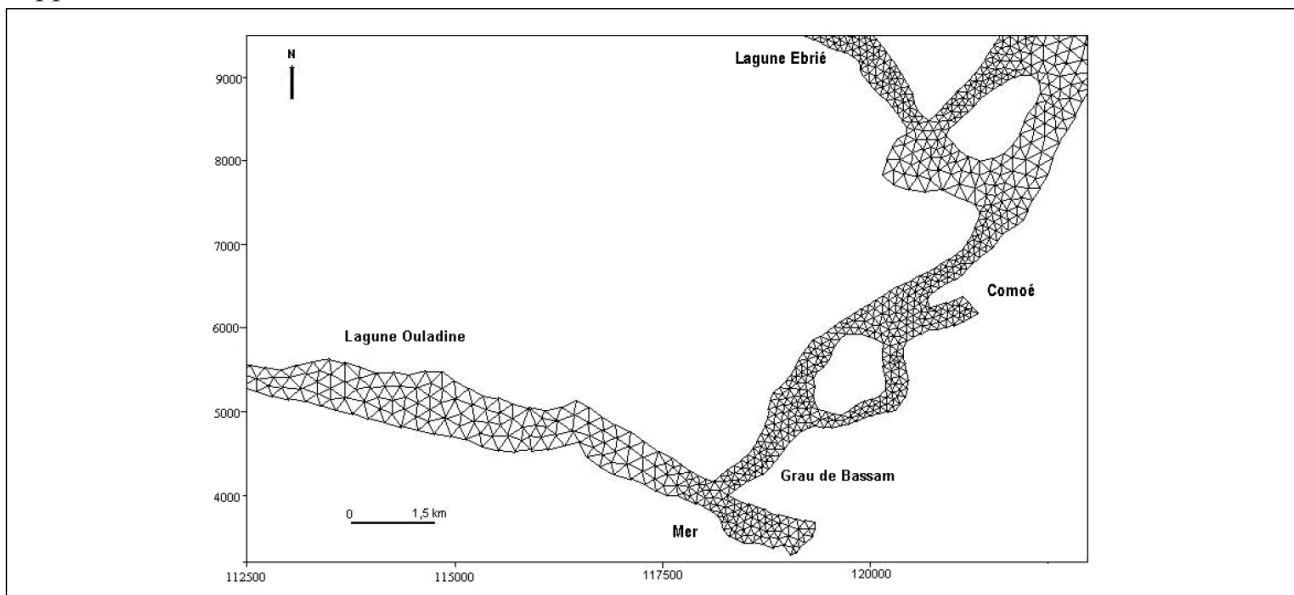


Figure 2. Maillage du grau de Bassam.

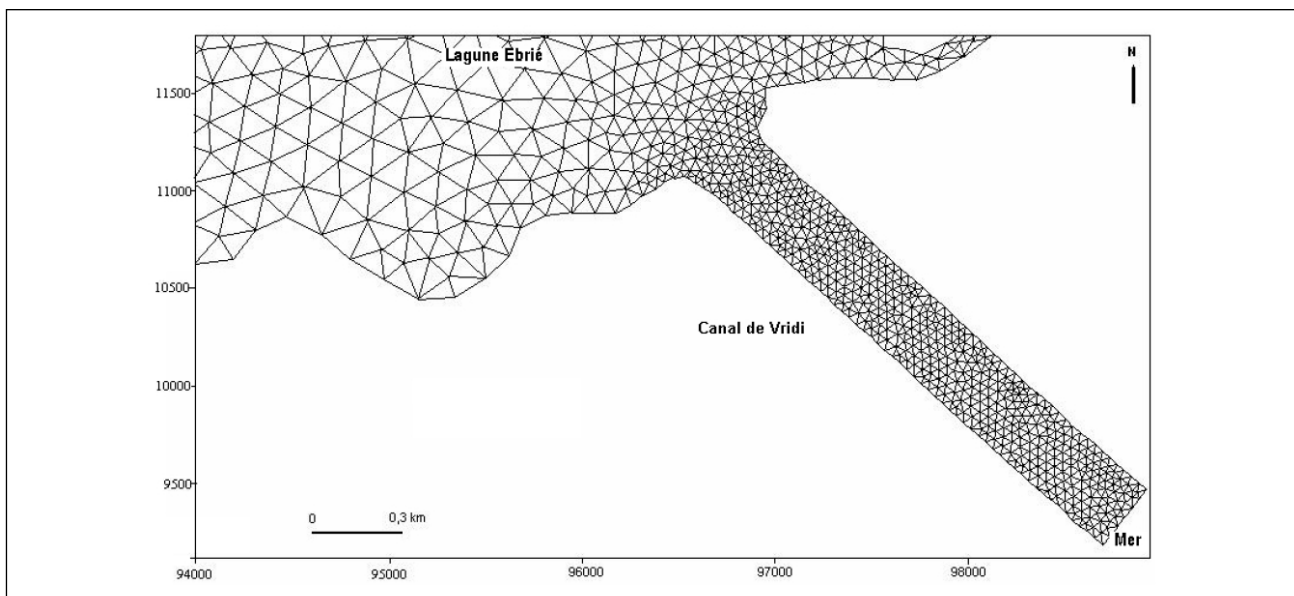


Figure 3. Maillage du canal de Vridi.

Conditions aux limites du domaine

Les conditions aux limites sont données pour chacun des points frontières du domaine d'étude. Elles portent sur la hauteur d'eau, les deux composantes de la vitesse et le traceur. Les conditions à la limite amont et aval sont relatives aux débits fluviaux et à la marée.

En crue exceptionnelle, la courantologie s'est faite avec des débits du fleuve Comoé de 1350 m³.s⁻¹. (Durand & Skubich, 1982). Dans le canal de Vridi, le forçage est exercé par la marée. La courbe de marée d'une onde composante est une sinusoïde dont l'amplitude et la phase ne dépendent que du lieu d'observation. Ainsi la hauteur d'eau $h(t)$ à un instant t à pour formule:

$$h(t) = Z_0 + \sum_i \sum_j A_{ij} \cos(V_{ij} - G_{ij}) \tag{5}$$

Z_0 : niveau moyen autour duquel oscille le niveau de la surface libre; A_{ij} et G_{ij} (constantes harmoniques) sont respectivement l'amplitude et la phase de l'onde élémentaire ; elles ne dépendent que du point considéré ; V_{ij} : argument astronomique lié au temps t ; i détermine la nature de l'onde élémentaire et j rapporte à la période de l'onde ($j=0$ pour les ondes annuelles, $j=1$ pour les ondes diurnes, $j=2$ pour les ondes semi-diurnes, etc.).

Pour la reconstitution de la marée dans la lagune Ebrié, en fonction des données disponibles par le SHOM pour le port d'Abidjan, la composition harmonique a été limitée à 19 ondes. Ce sont les ondes diurnes (K1, O1, Q1, P1, o1, k1), les ondes semi-diurnes (M2, N2, S2, 2N2, L2, K2, T2, m2, k2), les ondes quart-diurne (MN4, M4, MS4) et l'onde annuelle S_1 .

RESULTATSETDISCUSSION

Validation du modèle 2DH de la lagune Ebrié

La comparaison des données OBS avec les résultats du modèle indique une bonne corrélation entre les résultats de la simulation et les valeurs observées. L'analyse statistique de l'évolution des PM et des BM (Tableau 1) montre que l'intervalle des variations entre les données observées et les valeurs prédites est très faible pour un niveau moyen de 0,74 m.

Les hauteurs d'eau moyennes calculées par TELEMAC et celles mesurées par l'OBS sont respectivement de 1,20 et de 1,28 m. Soit une variabilité faible de l'ordre de 6,25%. La hauteur d'eau maximale observée est de 1,27 m et celle prédite est de 1,20 m en PM. L'écart entre les deux mesures est de 5.51%. Durant les BM, la hauteur d'eau moyenne est de 0,755 m pour TELEMAC et de 0,757 m pour l'OBS. Ici, la différence entre les deux résultats est très faible (0,26%). La hauteur d'eau maximale observée est de 0,84 m et celle prédite est de 0,79 m, soit 5,95% d'écart (Monde 2004 ; Brenon *et al.* 2004).

Tableau 1. Paramètres statistiques des hauteurs d'eau (m) en PM et BM.

	Pleine	Mer	(PM)	Basse	Mer	(BM)
	Moyenne	Médiane	Ecart-type	Moyenne	Médiane	Ecart-type
TELEMAC	1,20	1,2	0,076	0,755	0,77	0,07938
OBS	1,28	1,27	0,070	0,757	0,77	0,07958

Évolution des courants

Les transferts d'eau dans la lagune en période de crue montrent que de la PM-3 à la PM+1, des courants marins entrent dans la lagune par le canal de Vridi (Figure 4). Puis des courants continentaux en sortent de la PM+2 à la PM-4. Au grau de Bassam, les transferts d'eau sont unidirectionnels, vers la mer avec une baisse d'intensité des circulations de la PM-3 à la PM-1 (Figures 5 et 6). Ainsi dans un cycle diurne, simultanément (par le canal de Vridi et le grau de Bassam) des courants continentaux sortent de la lagune et ils se dirigent en mer de la PM+2 à la PM-4. La durée des transferts vers la mer (par le canal de Vridi) est de 7 h et le courant de flot dure 5 h. Par contre au grau de Bassam, la sortie de courants fluviaux est de 12 h. Les courants de flot sont très inexistantes. En effet, le flux d'eau issu de la crue du Comoé s'oppose à l'entrée de courants marins à l'exutoire du Comoé et au canal de Vridi.

Il faut préciser également qu'une sortie et une entrée simultanée de courants fluviaux et marins sont perceptibles de la PM-3 à la PM+1 dans les deux exutoires : l'entrée de courants marins par le canal de Vridi s'accompagne d'une sortie de courants fluviaux vers la mer à l'exutoire du Comoé à Bassam. Ces circulations de masse d'eau, en crue, durent 5 h et s'accompagnent de vortex (2 h).

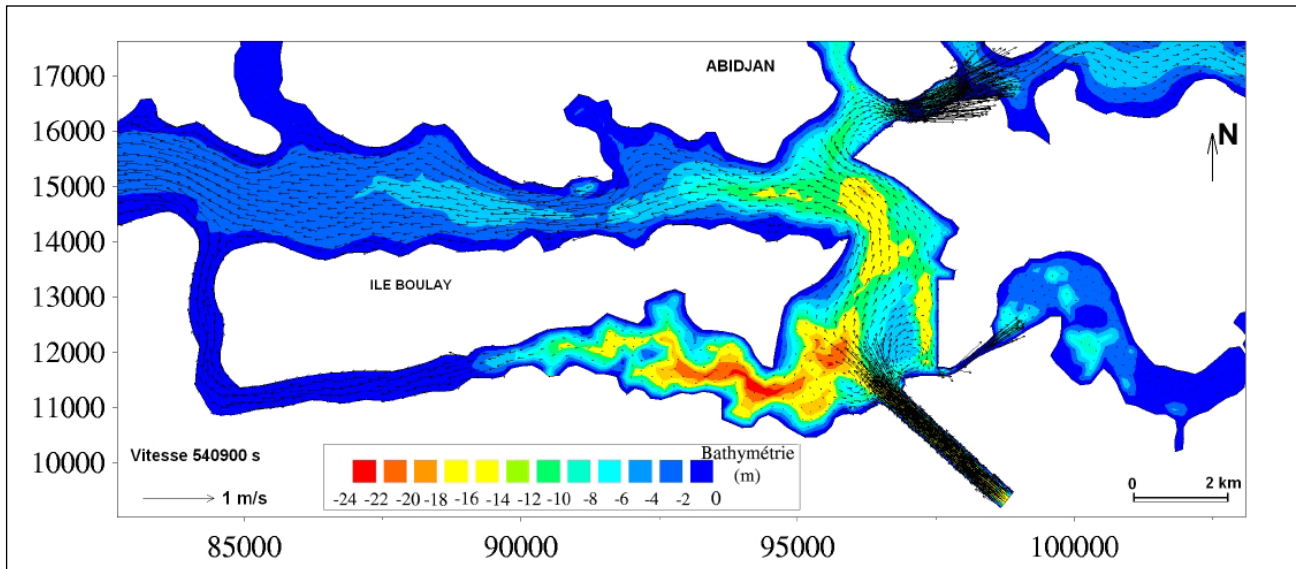


Figure 4. Transferts des masses d'eau en PM au canal de Vridi en étiage du Comoé.

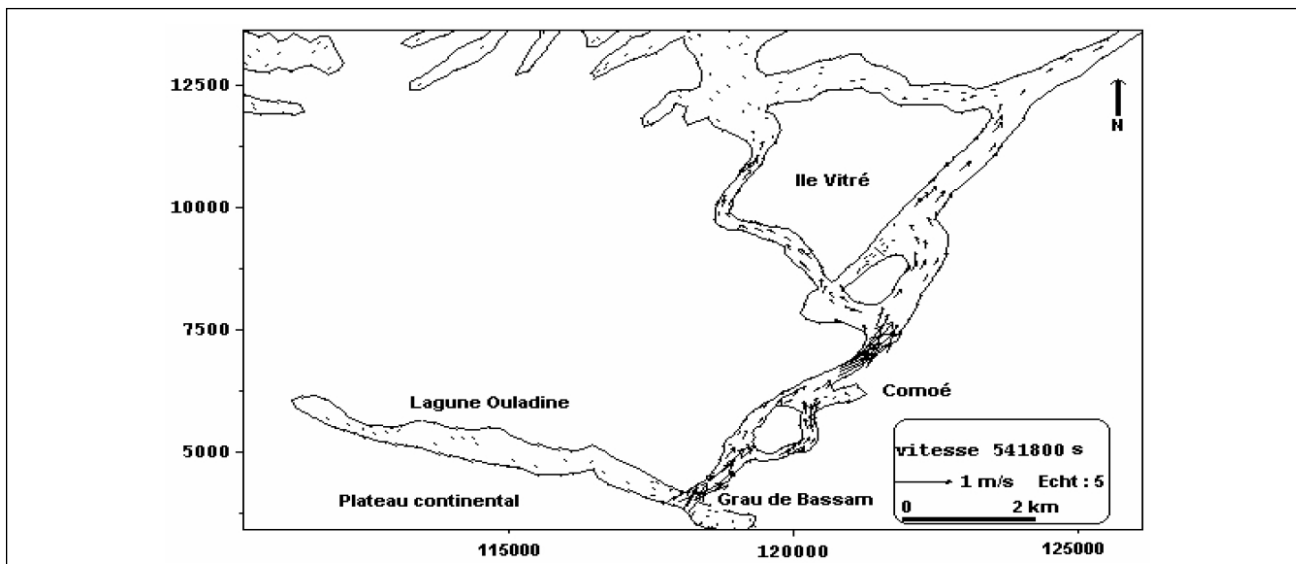


Figure 5. Circulation des masses d'eau en PM en étiage du Comoé au grau de Bassam.

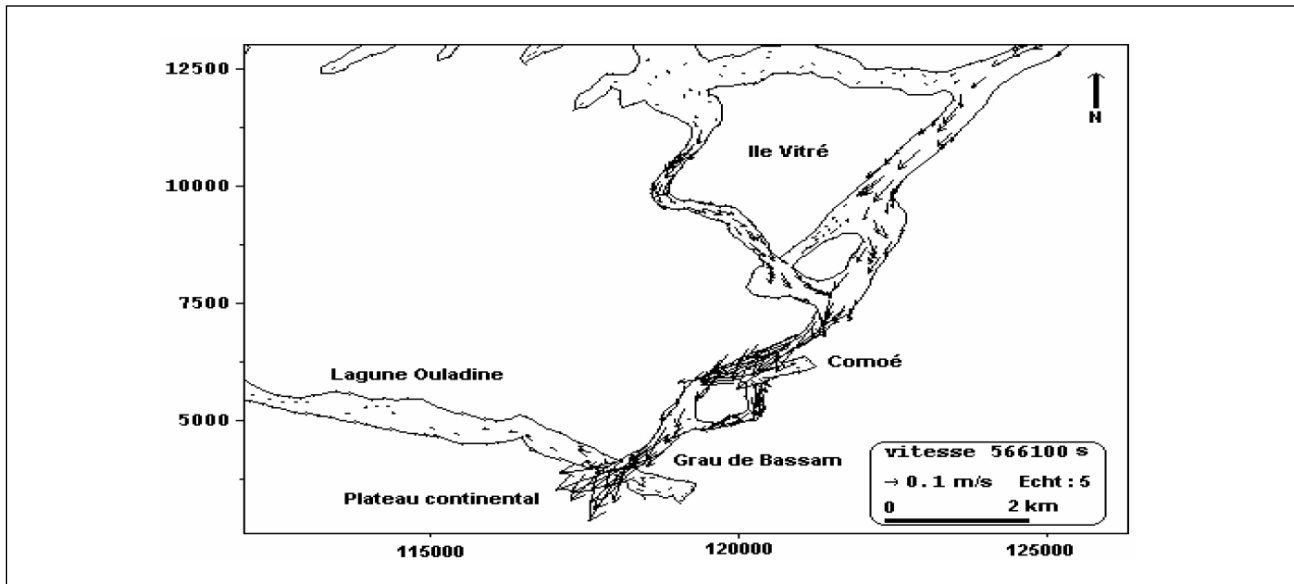


Figure 6. Circulation des masses d'eau en BM en étiage du Comoé au grau de Bassam.

Cartographie des courants des chenaux

Chenaux centraux

La lagune Ebrié possède deux grands chenaux : (i) De l'île Deblay à l'île Boulay, le chenal est irrégulier et de 12 m de profondeur. C'est le chenal central Ouest de la lagune. (ii) De l'île Désirée à l'île Vitré, la profondeur du chenal central Est varie de 2 à 5 m. L'analyse statistique des vitesses de courants montrent que, pour tous débits fluviaux, les vitesses sont très faibles dans ces chenaux centraux (vitesse moyenne de $0,0008665 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le chenal central Ouest et $1,32 \cdot 10^{-28} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le chenal central Est). Ces faibles vitesses de courants accroissent le risque d'envasement. Le dragage des chenaux s'imposera afin de faciliter la navigation et la circulation des masses d'eau.

Chenaux étroits

Le canal de Vridi, la «Z2P» à Abidjan (Figure 7) et le grau de Bassam sont des chenaux étroits dont les surfaces varient de $0,3$ à 1 km^2 . Le Figure 8 présente l'évolution des vitesses de courants lors d'un cycle de marée durant les forts débits fluviaux. Les vitesses de courants sont variables

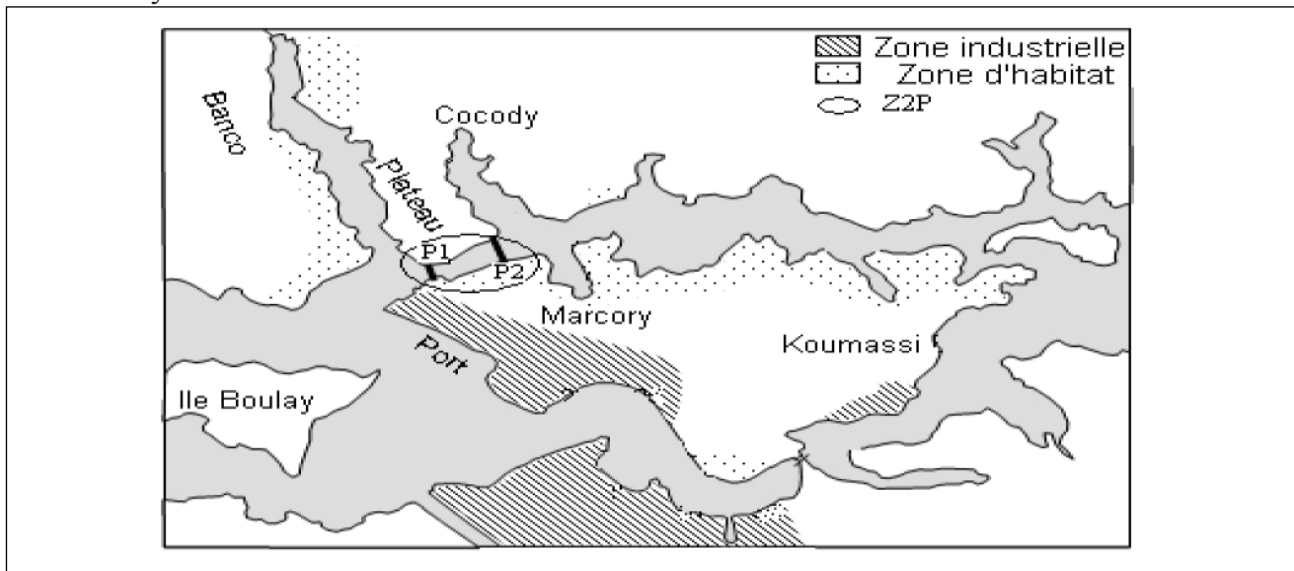


Figure 7. Zone des deux ponts 'Z2P' (P1 : Pont Houphouët, P2 : Pont De Gaulle).

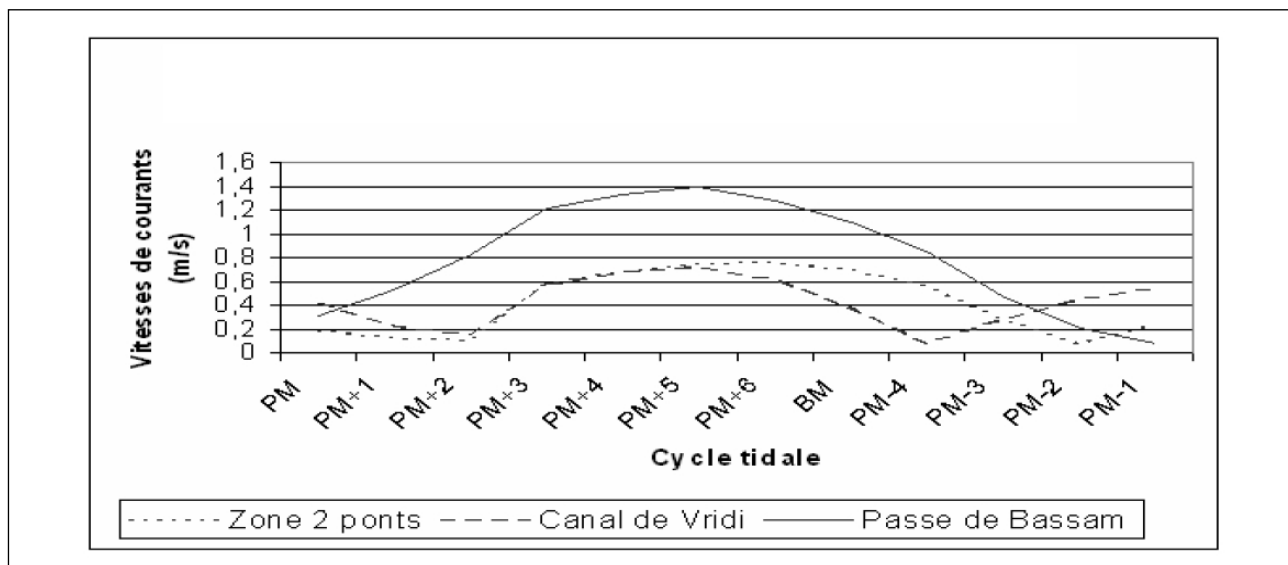


Figure 8. Evolution diurne de la vitesse des courants en période de crue.

d'un chenal à l'autre. Ainsi ; dans le canal de Vridi et la «Z2P», les courbes d'évolution sont *endents de scie*. Mais ces variations montrent une relation entre l'intensité des courants et les circulations d'eau. En effet, les fortes vitesses de courants s'observent lors de la sortie des courants fluviaux en mer et les faibles vitesses lors des courants de flot. Ceci trouve son origine dans les crues fluviales. Par contre, la courbe des vitesses de la passe de Bassam est en *cloche*. En outre toutes les circulations d'eau se font vers la mer (courants fluviaux). Ceci ne permet pas d'établir un rapport entre les vitesses de courants et les transferts d'eau.

Lors de la crue du Comoé, les courants ont une vitesse minimale de $0,08 \text{ m.s}^{-1}$ dans les chenaux. Le grau de Bassam présente de fortes vitesses de l'ordre de $1,4 \text{ m.s}^{-1}$. Par contre, les vitesses sont identiques dans le canal de Vridi et dans la «Z2P» ($0,6 \text{ m.s}^{-1}$). En outre, la «Z2P» présente un bouchon permanent. De fortes vitesses s'observent dans ce chenal lors d'un cycle de marée. Les vitesses des courants de la «Z2P» sont supérieures à celles du canal de Vridi en période de crue (PM+5, PM+6, BM, PM-4 et PM-3). Ce phénomène dure 5 h à cause du fort débit du Comoé. Ainsi, l'écoulement reprend de la vitesse avec le rétrécissement de la section de passage. Il n'y a pas d'envasement dans la mesure où les courants sont suffisamment élevés pour empêcher le dépôt des sédiments (Figure 9).

Transferts de masses d'eau et régime fluvial

Les circulations d'eau entre la lagune Ebrié et la mer sont de type lagunaire et marin. Ces transferts sont quantifiés. Lors de la crue, dans un M1E ou un M2E, les transferts lagunaires et les transferts marins s'équilibrent au canal de Vridi, soit 6 h par transfert. Mais au grau de Bassam, les transferts marins sont inexistant (0 h) car le type lagunaire dure 12 h. Ce type est donc très dominant dans ces transferts (Tableau 2).

Le nombre d'exutoires permanents est un facteur important dans l'équilibre des circulations d'eau. Dans le scénario à un M1E, les transferts de type marin et lagunaire s'équilibrent dans le temps et pour tout régime fluvial. Cet équilibre est rompu dans le M2E. En effet, en période de crue, les transferts de type lagunaire confèrent un caractère continental à Bassam. Par contre, à Abidjan, le type marin est dominant.

En outre, dans le M2E, les transferts lagunaires, en période de crue, sont très importants (6 h -canal de Vridi et 12 h -grau de Bassam). Aussi, le type marin est plus long lors du faible débit fluvial

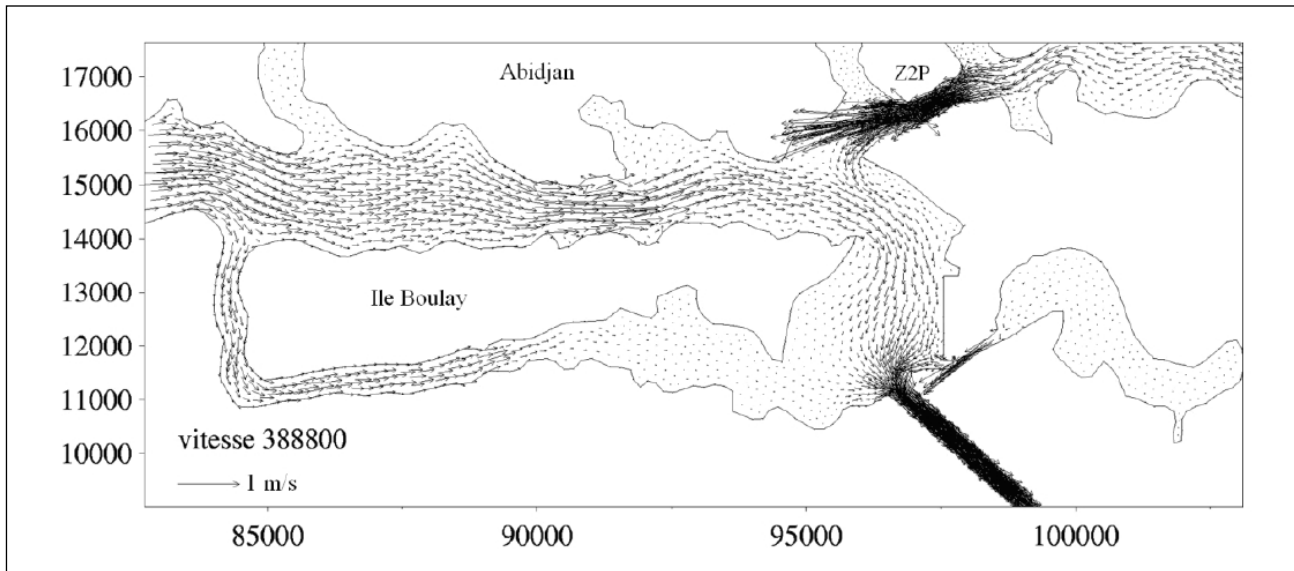


Figure 9. Z2P en période de crue du Comoé.

Tableau 2. Transferts de masses d'eau dans un cycle diurne dans les M1E et M2E.

	Exutoire unique : Canal de Vridi		Deux exutoires : Canal de Vridi		Deux exutoires : Grau de Bassam	
	Crue	Etiage	Crue	Etiage	Crue	Etiage
PM	↑	↑	↑	↑	↓	↑
PM+1	↑	↑	↑	↑	↓	↑
PM+2	↓ ↑	↑	↑	↑	↓	↓
PM+3	↓	↓	↓	↓	↓	↓
PM+4	↓	↓	↓	↓	↓	↓
PM+5	↓	↓	↓	↓	↓	↓
PM+6	↓	↓
BM	↓	↓	↓	↓	↓	↓
PM-5	↓	↓	↓	↓	↓	↓
PM-4	↓ ↑	↓	↑ ↓	↑	↓	↑ ↓
PM-3	↑	↑	↑	↑	↓	↑
PM-2	↑	↑	↑	↑	↓	↑
PM-1	↑	↑	↑	↑

↑ : Transferts de type marin (courant de flot) ; ↓ : Transferts de type lagunaire (y compris courant de jusant) ; ↓↑ : Vortex

(7 h -Vridi et 6 h -Bassam) que durant la crue (6 h -Vridi et 0 h -Bassam). Les déséquilibres observés, d'une part entre les transferts de type lagunaire et marin, et d'autre part au sein de chaque type de transfert d'eau aux différents débouchés, trouvent leur origine dans le nombre d'exutoire de la lagune. Ainsi, le nombre de débouché détermine l'équilibre des transferts d'eau.

Analyse du bilan de masse d'eau du M2E en lagune Ebrié

La Figure 10 présente la variation journalière de la quantité de masses d'eau aux entrées et aux sorties de la lagune Ebrié (Vridi et Bassam). Les flux entrants et sortants ont un bilan de masse négatif lors du flot (Canal de Vridi ; -32,17 m³ et Grau de Bassam : -54,31 m³) et positif durant le jusant (+136,40 m³ à Vridi et +72,50 m³ à Bassam). La baisse de la quantité d'eau s'observe durant 7 h en crue et un accroissement de la quantité d'eau (5 h). Ainsi, le bilan de masses d'eau reste positif à Abidjan et négatif à Bassam. Les transferts de masses d'eau s'opèrent préférentiellement

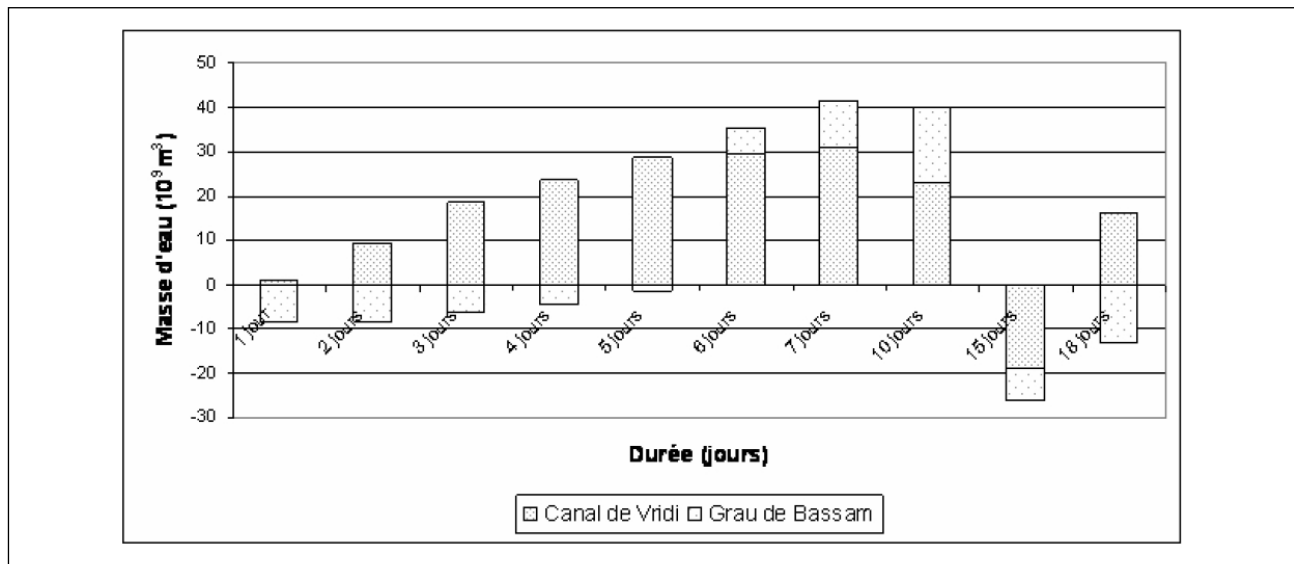


Figure 10. Évolution du bilan de masse en période de crue à Vridi et Bassam (Monde, 2004).

par le canal de Vridi. Les flux en période de crue du Comoé permettraient un effet de chasse significatif.

Durant un cycle de marée, le débit fluvial conditionne le bilan de masse des transferts de masses d'eau. Ainsi, la crue du Comoé entraîne un bilan de masses d'eau positif dans les deux exutoires. En outre, la vitesse des courants de jusant est plus importante que celles du flot lors des crues. Ceci faciliterait la vidange de crue de l'exutoire (Monde, 2004).

Mais cet autocurage sera de courte durée, de l'ordre de 2 mois (crue du Comoé). En effet, les essais de réouverture artificielle de l'exutoire du Comoé montrent la difficulté à maintenir permanente cette passe (Koffi *et al.*, 1991). Une solution serait la mise en place des digues de calibrages simples avançant en mer à différentes profondeurs, permettant de stabiliser l'exutoire ; des digues de calibrage simples associées à un dispositif de barrage dans la lagune de façon à limiter les entrées de sables en flot au niveau du débouché et des digues de calibrages avec prolongement de la digue Ouest (Abidjan) de façon à protéger l'entrée de la passe, des houles dominantes SSW (PAA 2001).

CONCLUSION

Les modèles 2DH de la lagune Ebrié fournissent des hauteurs d'eau et de courants en fonction de l'heure et de la marée. Les modèles en lagune permettent de faire des simulations sur 25 jours. Les simulations numériques, pour le M2E permettent de cerner les circulations de masses d'eau en lagune. Ces travaux font une description de la courantologie, quantifient et établissent les interactions entre les régimes fluviaux et les transferts de masses d'eau. Ainsi, en période de crue, les circulations de masses d'eau se font uniquement en direction du plateau continental (par le grau de Bassam). Ces échanges particuliers durent 7 h et s'accompagnent de vortex.

Le transfert de masses d'eau vers la mer est lié à la crue du Comoé. Durant un cycle de marée, le débit fluvial du Comoé conditionne le bilan de masse des transferts de masses d'eau. Ainsi, la crue du Comoé entraîne un bilan de masses d'eau positif au Canal de Vridi et à la passe de Bassam.

Maintenir deux ouvertures permanentes pour une lagune constitue un caractère particulier pour un environnement peu profond. L'ouverture du grau de Bassam présente un intérêt. L'effet chasse est très significatif et les courants de jusant sont plus importants durant un cycle tidal et une

évolution de longue durée. Cela permettrait l'élimination en mer des végétaux flottants, la remontée de l'intrusion saline et le curage des fonds lagunaires. La mise en place de digues calibrées assurerait le maintien de la passe lors de l'étiage.

RÉFÉRENCES

- Brenon, I.; Monde, S.; Pouvreau, N. & Maurin JC. 2004. Modeling hydrodynamics in Ebrié lagoon (Côte d'Ivoire). *Journal of African Earth Science* 39:535-540.
- Durand, JR. & Guiral, D. 1994. Hydroclimat et hydrochimie. In Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Milieux lagunaires. T.2 *Edit. Orstom*, pp.59-90
- Guiral D., & Ferhi A. 1992. Hydrodynamics of Ebrié lagoon as revealed by a chemical and isotopic study. *Hydrobiologia* 245: 65-74
- Hervouet JM., & Van Haren L. 2001. Note de Principe TELEMAC-2D version 3.0, EDF, Rapport HE-43/94/052/A, France, 90p.
- Koffi, K.P.; Abe, J.; & Amon, KJB. 1999). Contribution à l'étude des modifications hydrosédimentaires consécutives à la réouverture artificielle de l'embouchure du Comoé à Grand-Bassam. *Journal ivoirien d'océanologie et de limnologie*. Vol. I, n°2 : 47-60.
- Monde, S. 2004. Étude et modélisation hydrodynamique de la circulation des masses d'eau dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). *Thèse de Doctorat d'État*, Université Cocody, Côte d'Ivoire.
- PAA-Port Autonome d'Abidjan 2000. Minutes de sondes n°2000-7-001, n°2000-7-004, n°1996-7-001 et n°1993-7-001 de la zone lagunaire d'Abidjan, Document interne, Côte d'Ivoire.
- PAA, -Port Autonome d'Abidjan 2001. Étude sur modèle physique sédimentologique pour une ouverture permanente de l'embouchure de la Comoé. *Rapport 55-2014 R2. Sogreah*, France.
- Ramany, BP. 1980. Le système lagunaire Ebrié en Côte d'Ivoire : fonctionnement hydrodynamique et salinité. *Thèse de Doctorat d'Ingénieur*, Institut National Polytechnique Toulouse, France.
- Tastet, JP. 1979. Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo et Bénin). *Thèse de Doctorat d'État*, Université Bordeaux I, France.

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE

Sylvain Monde
Département de Géosciences Marines
Université de Cocody, UFR-STRM
B.P. 582
Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Email: sylvain.monde@univ-cocody.ci
