



Modélisation du fonctionnement hydrodynamique de l'embouchure du fleuve Bandama, Grand-Lahou, Côte d'Ivoire

Kouakou Lazare KOUASSI¹, Moussa DEME², Kouakou Séraphin KONAN¹,
Boua Patrick YAHIRI¹, Diakaria KONÉ³, Martin SANCHEZ⁴, Kouamé AKA⁵

1. Centre de Recherche en Ecologie, Université Jean Lorougnon Guédé, 08 BP 109 Abidjan 08, Côte d'Ivoire. k_lazare@yahoo.fr
2. Département Infrastructures et Transport, Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny, BP 1083 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire. deme_moussa@hotmail.com
3. Office National de l'Eau Potable (ONEP), Direction des Ressources en Eau, Abidjan, Côte d'Ivoire. konediak@live.fr
4. Université de Nantes, UMR-6112 du CNRS - Planétologie et Géodynamique, 2 rue de la Houssinière, BP 92208, 44322 Nantes, France. martin.sanchez@univ-nantes.fr
5. Université Félix-HOUPHOUËT-BOIGNY, Abidjan, Côte d'Ivoire. akaraphael@yahoo.fr

Résumé :

L'érosion côtière constitue une réelle menace sur le littoral ivoirien et particulièrement à l'embouchure du fleuve Bandama. La dynamique hydrosédimentaire a entraîné le déplacement de la ville de Grand-Lahou dans la partie nord de cette région dans les années 70. L'érosion modifie non seulement le trait de côte mais entraîne une migration de l'embouchure du fleuve Bandama, détruisant ainsi habitations et plantations.

Cette étude, basée sur un modèle hydrodynamique 2D, réalisé à l'aide du logiciel Mike 21 HD, a permis de reconstituer l'écoulement dans l'estuaire de Grand-Lahou. Les courants les plus forts sont situés à l'embouchure et particulièrement dans la passe. En période d'étiage, les courants de flot atteignent 1,4 m/s dans la passe tandis qu'en période de crue, les forts débits tendent à bloquer les courants de flot et à intensifier particulièrement les courants de jusant. Les vitesses de courant atteignent 1,8 m/s dans la passe au jusant et sont réduites à 0,35 m/s au flot.

Cette étude doit se poursuivre par l'actualisation des données de bathymétrie et de courantologie pour accompagner le projet de construction du canal dans la lagune.

Mots-clé : Embouchure, Erosion, Stabilité, Fleuve Bandama, Côte d'Ivoire.

1. Introduction

L'estuaire de Grand-Lahou, lieu de rencontre entre le fleuve Bandama, la rivière Boubo, le système lagunaire de Grand-Lahou et l'Océan Atlantique représente, de part sa diversité écologique et environnementale, une importante source de subsistance et une source de revenu pour les populations riveraines dont la principale activité économique est la pêche traditionnelle (KONAN *et al.*, 2013). L'estuaire de Grand-Lahou subit des phénomènes sédimentaires qui ont pour conséquences la modification de la morphologie de l'estuaire et la migration de la passe d'Est en Ouest (WOGNIN *et al.*, 2008) et la variation significative des paramètres physico-chimiques des plans d'eau (KONAN *et al.*, 2009). Les tirants d'eau en lagune sont généralement faibles ; ce qui rend la navigation assez difficile.

La pêche qui occupait naguère plus 60% des activités de la population connaît une baisse et on assiste donc à une paupérisation plus accentuée de la population de Grand Lahou (ECOUTIN *et al.*, 1994).

Dans le but de redonner une vitalité à l'économie de la région, l'Etat ivoirien a construit une école de pêche à Grand-Lahou avec un port d'application et des bateaux pour les activités pratiques en eau continentale et en eau marine. Cependant, les bateaux de l'école de pêche ne peuvent pas accéder à la mer parce que la passe reste innavigable.

Pour permettre aux bateaux de relier le port et la mer, un projet de construction d'un chenal reliant le port d'application de l'école de pêche à la mer est envisagé.

Pour faire face aux problèmes hydrosédimentaires tels que ceux qui se produisent dans le système lagunaire de Grand-Lahou, plusieurs recherches développent des modèles numériques qui présentent de grands avantages dans la compréhension et la gestion des processus physiques liés à la dynamique des écoulements et au transport des sédiments (MISBAH *et al.*, 2014 ; AASTHA *et al.*, 2016 ; MUH *et al.*, 2016).

Dans le but d'accompagner le projet de construction du chenal de Grand-Lahou, la présente étude se propose de modéliser le fonctionnement hydrodynamique de l'embouchure du Bandama et du système lagunaire de Grand-Lahou. Cette étude s'appuie sur la simulation numérique de la courantologie et de la propagation de la houle.

2. Site et méthodes

2.1 Site d'étude

La zone estuarienne de Grand-Lahou est située les latitudes 4°26 et 5°20 Nord et entre les longitudes 4°20 et 5°20 de longitude Ouest. Le système lagunaire de Grand-Lahou est essentiellement influencé par l'Océan Atlantique et le fleuve Bandama (figure 1).

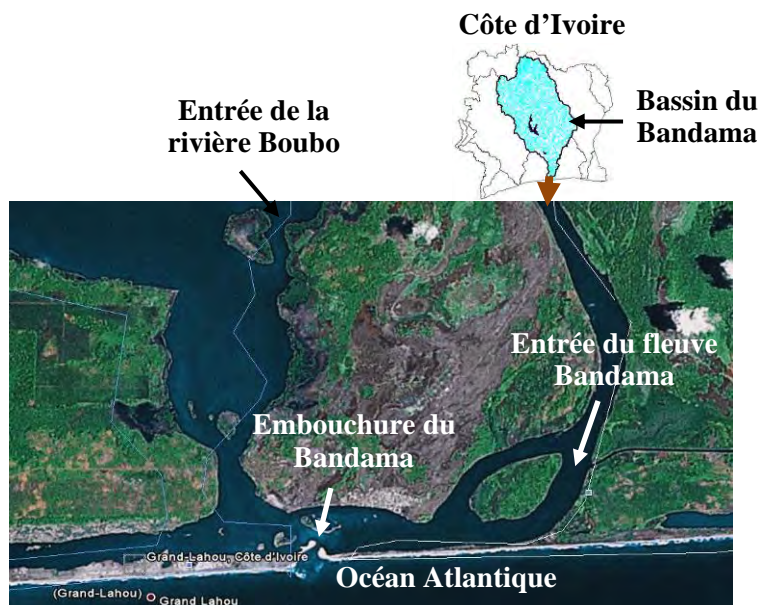


Figure 1. Localisation de la zone estuarienne de Grand-Lahou.

Le climat de la région de Grand-Lahou est de type équatorial, caractérisé par une grande saison sèche de décembre à mars, une grande saison de pluies d'avril à juillet, une petite saison sèche d'août à septembre et une petite saison de pluies d'octobre à novembre. L'hydrologie de l'estuaire est essentiellement sous l'influence des régimes du fleuve Bandama dominés par le régime tropical de transition du nord du bassin versant du fait de sa forme allongée, des cours d'eau côtiers et des saisons marines. Le fleuve Bandama est caractérisé à son arrivée en lagune par une première crue entre juillet et août (débit moyen de l'ordre de $250 \text{ m}^3/\text{s}$), une crue maximale en octobre (débit moyen de l'ordre de $750 \text{ m}^3/\text{s}$), et une période d'étiage entre mars et avril (débit moyen de l'ordre de $75 \text{ m}^3/\text{s}$).

La dynamique sédimentaire au niveau de l'embouchure du fleuve Bandama se traduit par une érosion et une migration de la passe d'Est en Ouest (figure 4). De même, il se pose des problèmes de navigation à cause des haut fonds (WOGNIN *et al.*, 2008).

2.2 Méthodes

2.2.1 Acquisition des données

Les données topographiques et bathymétriques utilisées dans la présente étude sont celles collectées en 2010 par l'entreprise *DRAG AFRIK SA* dans le cadre du projet de construction du chenal de Grand-Lahou. La zone des levés se situe entre $04^{\circ}58'37''$ et $05^{\circ}01'17''$ de longitude Ouest et $05^{\circ}07'04''$ et $05^{\circ}09'19''$ de latitude Nord, représentant une surface de 05 km^2 de plan d'eau et 01 km^2 sur la terre ferme.

Une analyse granulométrique a été entreprise pour apprécier les faciès sédimentaires.

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

Les caractéristiques hydrologiques (débits) du fleuve Bandama et de la rivière Boubo ont été obtenues auprès de la Direction de l'Eau du Ministère des Infrastructures Economiques de la Côte d'Ivoire. Le débit du fleuve a été observé pendant 56 ans (1954-2010) à Tiassalé, station hydrométrique située à environ 100 km de l'embouchure de Grand-Lahou et représentant plus de 97% de la superficie totale du bassin versant du Bandama. Cette station n'est pas perturbée par les effets de la marée dynamique du littoral. Les données pluviométriques de la ville de Grand-Lahou ont été acquises auprès de la Société d'Exploitation et de Développement Aéroportuaire, Aéronautique et Météorologique (SODEXAM). Les données de houle et de vent ont été obtenues auprès de l'United Kingdom Meteorological Office (UKMO) au point de grille du maillage UKMO (004,72° N - 005,42° W) situé à environ 65 km au Sud-Ouest de Grand-Lahou. Les marées ont été mesurées lors des campagnes menées en janvier 2011 et en janvier-février 2012 par l'entreprise *DRAG AFRIK SA* à l'embouchure du Bandama en mer. Par ailleurs, compte tenu de l'insuffisance de ces données de marée, les variations des niveaux d'eau ont été extraites du modèle global de DHI. Des mesures de courants ont été réalisées à l'aide d'un courantomètre ADCP, Workhorse Rio Grande de RD Instruments. Les mesures ont été réalisées sur quatre (4) radiales (figure 2). Pour chacune des quatre radiales (R1R2, R3R4, R5R6 et R7R8) un jaugeage en marée basse et un autre en marée haute ont été effectués du 29 juin au 1^{er} juillet 2012. Les données obtenues du jaugeage concernent les vitesses moyennées des courants sur la verticale, la vitesse moyenne et le débit total dans la section.



Figure 2. Position des radiales de mesure de courants à l'embouchure du Bandama.

2.2.2 Modélisation hydrodynamique

Le modèle hydrodynamique a été réalisé à l'aide du logiciel Mike 21 HD. Celui-ci permet de résoudre les équations aux dérivées partielles gouvernant le problème, à savoir, l'équation de la continuité et les équations de la conservation de quantité de mouvement intégrée sur la colonne d'eau (KOUASSI *et al.*, 2013).

2.2.3 Conditions de forçage et paramétrage du modèle

La marée dans l'Océan Atlantique et le débit du fleuve Bandama sont les principaux agents de forçage dans ce modèle hydrodynamique.

Les paramètres de calage pertinents dans cette étude sont les frottements sur le fond et le débit du fleuve Bandama. Un débit du fleuve Bandama de 220 m³/s a été utilisé pour la période de calage du 30 juin au 1^{er} juillet 2012, période correspondante à la campagne de mesure de débits et de vitesses de courant.

Un coefficient de rugosité Manning de 32 (m^{1/3}/s), en moyenne a été utilisé sur l'ensemble du modèle à part l'entrée de la lagune Tagba où un coefficient Manning de 10 a été imposé à cause de la présence des vases.

3. Résultats

3.1 Bathymétrie et maillage

Le système lagunaire de Grand-Lahou est constitué des lagunes Niouzoumou, Tadjou, Mackey et Tagba. La lagune Tagba est le seul exutoire en mer de ce système lagunaire. Le maillage est composé d'éléments triangulaires non structurés permettant ainsi d'affiner la résolution du modèle dans les zones d'intérêt. La taille des mailles a été ajustée suivant la morphologie des fonds et la précision souhaitée. Ainsi, la taille des mailles varie de 10 m au niveau de l'embouchure à 1000 m au large (figure 3).

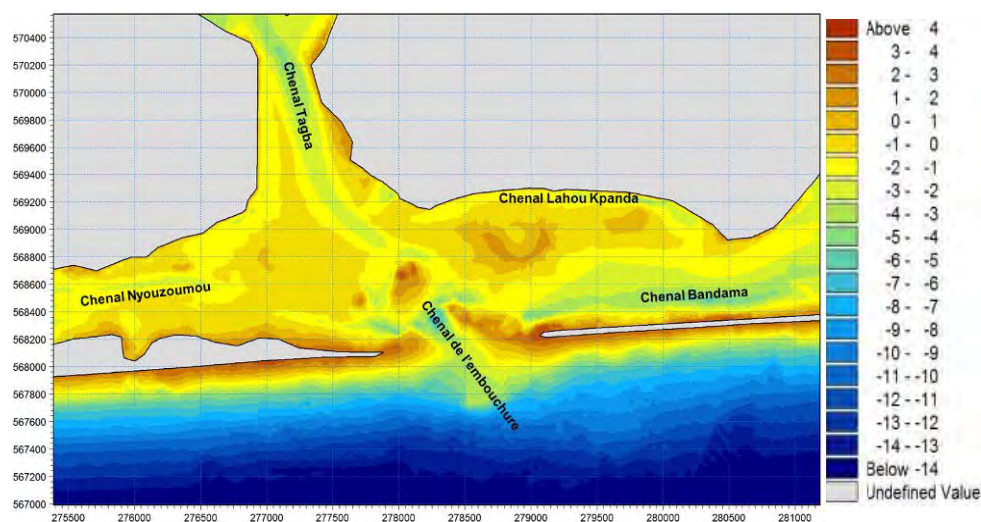


Figure 3. Bathymétrie de l'embouchure du fleuve Bandama (2010).

3.2 Modèle hydrodynamique

La dynamique de l'écoulement dans la baie lagunaire de Grand-Lahou a été appréciée sur un cycle de marée en utilisant un débit du fleuve Bandama de $220 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le calage du modèle.

La marée à Grand-Lahou est de type semi-diurne (période de 12h 25 mn) à forte inégalité diurne. Elle est de type micro tidal avec un marnage en vive-eau qui est de l'ordre de 1,4 m et le marnage en morte-eau de l'ordre de 0,6 m. On observe chaque jour deux pleines mers de niveaux relativement proches, mais deux basses-mers de niveaux différents de l'ordre de 0,4 m.

Le niveau d'eau moyen au large de Grand-Lahou est d'environ +0,78 m CM. La surélévation moyenne dans la baie lagunaire est de l'ordre de 10 cm par rapport au niveau moyen dans la zone littorale. Les courbes de marée présentent une allure globalement symétrique avec une égalité des temps de flot et de jusant (figure 4).

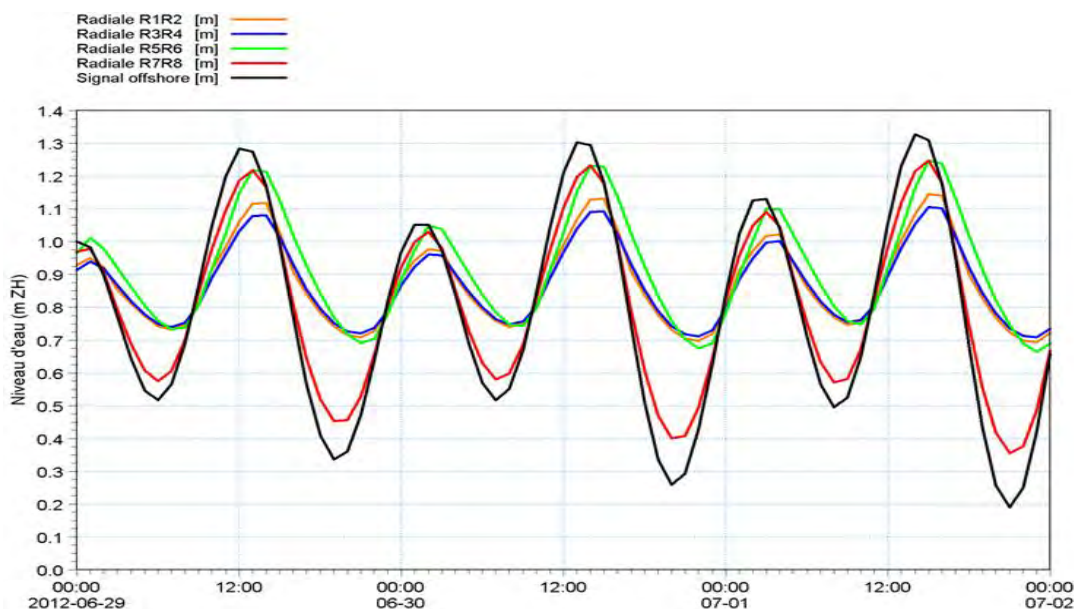


Figure 4. Niveaux d'eau modélisés dans la baie lagunaire et au large de Grand-Lahou.

Sous l'effet des marées, la variation du niveau d'eau est accompagnée d'un changement de sens d'écoulement des eaux. L'écoulement se fait d'amont en aval durant les périodes de jusant et d'aval en amont durant les périodes de flot. La figure 5 présente un exemple de résultat de simulation des vitesses moyennées sur la verticale.

Au sein de la lagune, les courants les plus forts sont situés à l'embouchure, dans la passe et de part et d'autre de l'îlot central.

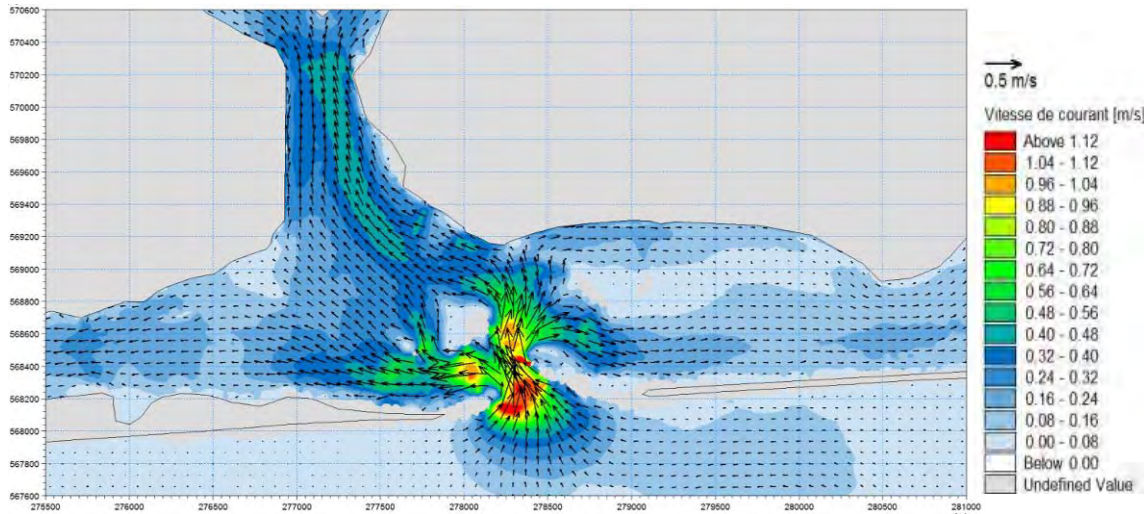


Figure 5. Champ d'écoulement modélisé au 30 juin 2012, période de flot, 12:00.

Sur chaque radiale, une simulation des débits instantanés intégrés sur la section a été effectuée (figure 6 ; les débits négatifs représentent les débits sortant de la lagune).

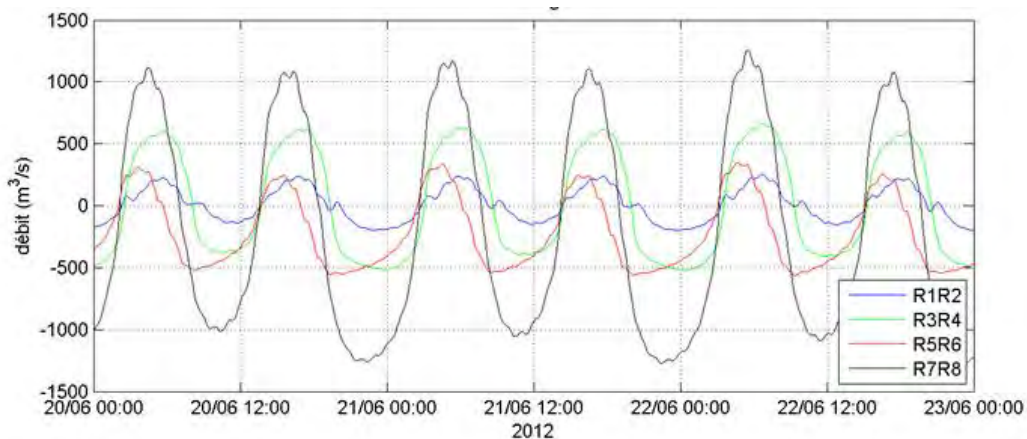


Figure 6. Résultats de modélisation de débits instantanés intégrés sur les radiales; simulations avec un débit amont du Bandama de 220 m³/s.

Une comparaison des valeurs mesurées et modélisées des débits a été effectuée afin de valider les résultats. La reproduction des écoulements apparaissant de façon générale être en bonne cohérence avec les données mesurées, le modèle hydrodynamique a ainsi été utilisé pour simuler la période du 12 juin au 2 juillet 2012, avec les conditions de débits suivantes : Etiage (Bandama 75 m³/s ; Boubo 0 m³/s), Première crue (Bandama 220 m³/s ; Boubo 0 m³/s), Deuxième crue (Bandama 750 m³/s ; Boubo 20 m³/s), Crue maximale (Bandama 1500 m³/s ; Boubo 20 m³/s). Les figures 7 et 8 donnent une illustration de la distribution des courants dans la lagune au flot pour des débits du Bandama de 75 et 750 m³/s. En période d'étiage, les courants de flot atteignent 1,4 m/s

Thème 2 – Dynamique sédimentaire

à l'embouchure et 0,4 m/s dans le chenal de Tagba. En revanche, en période de crue, les forts débits tendent à bloquer les courants de flot à et intensifier particulièrement les courants de jusant. Le secteur Ouest (vers la lagune de Nyouzoumou) est moins influencé par la marée et les débits du Bandama. La majorité du volume de la lagune semble circuler par le chenal de Tagba.

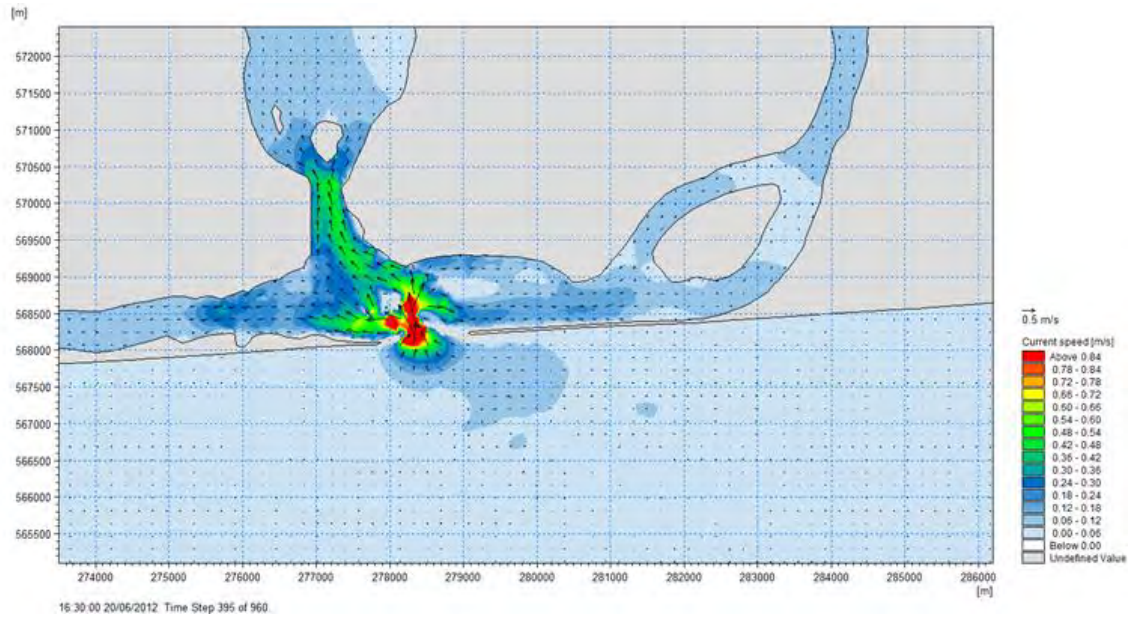


Figure 7. Champ d'écoulement modélisé en étiage ($75 \text{ m}^3/\text{s}$) pendant le flot (20/06/2012).

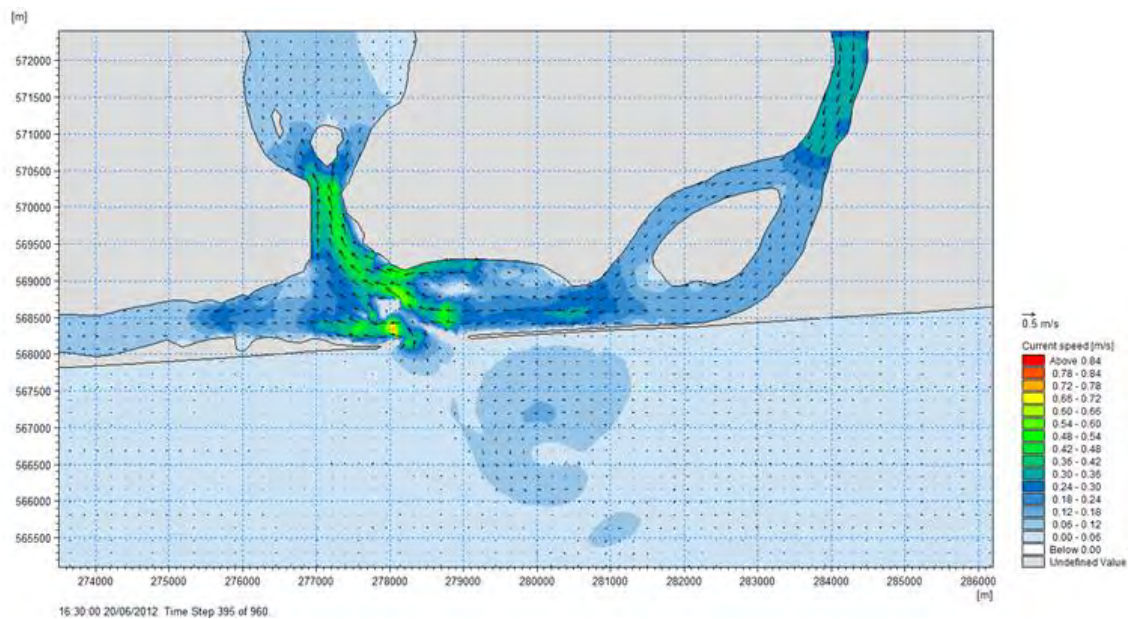


Figure 8. Champ d'écoulement modélisé en crue moyenne ($750 \text{ m}^3/\text{s}$) pendant le flot (20/06/2012).

4. Discussion

Les phénomènes hydrodynamiques à l'embouchure du fleuve Bandama sont sous l'influence du fleuve Bandama, de la rivière Boubo, du système lagunaire de Grand-Lahou et de l'Océan Atlantique. Le dynamisme du milieu est surtout marqué par les débits du Bandama et les flux océaniques.

Selon WOGNIN *et al.* (2008), la dynamique de marée dans l'estuaire du Bandama créerait un point nodal, zone d'accumulation des particules en suspension, et dont la position varie en fonction du débit du Bandama. Par fort débit, le panache turbide est expulsé en mer, avec une tendance à s'évacuer vers l'Est, du fait de l'orientation des courants de jusant dans la passe et des courants sur le plateau continental.

Au niveau de Grand-Lahou, malgré la migration de l'embouchure due aux mouvements hydro-sédimentaires et à la dérive littorale, l'embouchure reste toujours ouverte contrairement à l'embouchure du fleuve Comoé tel que rapporté par ADOPO *et al.* (2008). Cela peut être dû au fait que les débits du Bandama sont relativement suffisants pour pénétrer dans l'Océan Atlantique pendant les périodes de jusant et surtout pendant les crues du fleuve.

L'étude du transport des sédiments, avec une bonne base de données, permettra de mieux comprendre le fonctionnement de l'estuaire de Grand-Lahou qui subit une migration vers l'Ouest selon WOGNIN (2008). En effet, les études et notamment les modèles hydrodynamiques et les modèles de transport des sédiments permettent de comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire des hydrosystèmes et de garantir la réussite des projets et la protection de l'environnement (HUSSAM, 2010 ; MISBAH, 2014 ; JOONGU, 2015 ; AASTHA *et al.*, 2016).

5. Conclusion

Le modèle hydrodynamique réalisé à l'embouchure du fleuve Bandama montre que, au sein de la lagune, les courants les plus forts sont situés à l'embouchure, dans la passe et de part et d'autre de l'îlot central. Les courants de flot et de jusant sont aussi intenses dans le chenal de la lagune de Tagba, par où circulent les volumes d'eau les plus importants.

Le secteur Ouest (vers la lagune de Nyouzoumou) est moins influencé par la marée et les débits du Bandama ; les flux restent faibles du fait de la présence d'un petit canal qui réduit les circulations dans ce secteur.

6. Remerciements

Nous remercions sincèrement le Ministère de l'Enseignement Technique et de la Formation Professionnelle de la République de Côte d'Ivoire qui a financé cette étude. La réalisation de ce modèle a été soutenue par le Groupe DHI à qui nous adressons nos remerciements pour leur contribution à nos travaux.

7. Références bibliographiques

- ADOPO K.L., KOUASSI K.L., WOGNIN A. V.I., MONDE S., MÉLÈDJE N. H., AKA K. (2008). *Characterization of the sediments and morphology of the Comoé river mouth (Grand-Bassam, Côte d'Ivoire)*. Revue Paralia, Vol. 1, pp 2.1–2.10. <http://dx.doi.org/10.5150/revue-paralia.2008.002>
- AASTHA C., RIJAN B. K., AHUTI S. (2016). *Assessment of Sediment Load of Langtang River in Rasuwa District, Nepal*. Journal of Water Resource and Protection, Vol.8, pp 84-92. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2016.81007>
- ECOUTIN J.M., DURAND J.R., LAE R., HIÉ J.P. (1994). *L'exploitation des stocks, In environnement des ressources aquatiques de Côte d'Ivoire, les milieux lagunaires, Tome II*. pp 339-444.
- HUSSAM AI-R. (2010). *Transport of Suspended Solids in Dammam (Saudi Arabia) Coastal Areas: Fish Market Works*. Journal Water Resource and Protection, Vol. 2, pp 540-544. <http://dx.doi.org/10.4236/jwarp.2010.26061>
- JOONGU K., HONGKOO Y. (2015). *Survey and Analysis of the Sediment Transport for River Restoration: The Case of the Mangyeong River*. Open Journal of Civil Engineering, Vol. 5, pp 399-411. <http://dx.doi.org/10.4236/ojce.2015.54040>
- KONAN K.S., KOUASSI A.M, ADINGRA A.A., GNAKRI D. (2009). *Spatial and temporal variation of fecal contamination indicators in Graand-Lahou lagoon, Côte d'Ivoire*. Journal of Applied Biosciences, Vol. 23, pp 1422-1435.
- KONAN K.S., KOUASSI K.L., KOUAMÉ K.I., KOUASSI A.M., GNAKRI D. (2013). *Hydrologie et hydrochimie des eaux dans la zone de construction du chenal du port de pêche de Grand-Lahou, Côte d'Ivoire*. Int. J. Biol. Chem. Sci., Vol. 7(2), pp 819-831. <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.37>
- KOUASSI K.L., KOUAMÉ K.I., KONAN K.S., SANCHEZ ANGULO M., DEMÉ M., MÉLÈDJE N.H. (2013). *Two-Dimensional Numerical Simulation of the Hydro-Sedimentary Phenomena in Lake Taabo, Côte d'Ivoire*. Water Resources Management, Vol. 27, N°12, pp 4379-4394. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0417-x>
- MISBAH U., JAHIR B. A., ZAHIRUL H. K., G. M. JAHID H., TAUHIDUR R. (2014). *Two Dimensional Hydrodynamic Modelling of Northern Bay of Bengal Coastal Waters*. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, Vol. 3, pp 140-151. <http://dx.doi.org/10.4236/cweee.2014.34015>
- MUH A.M. AI, DESY W.T., IDHAM N., AYU F., WIDIANA R. (2016). *The Morphodynamics of Wulan Delta and Its Impacts on the Coastal Community in Wedung Subdistrict, Demak Regency, Indonesia*. Journal of Environmental Protection, Vol. 7, pp 60-71. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2016.71006>
- WOGNIN V., MONDE S., COULIBALY A., KOUASSI K.L., ADOPO L., AFFIAN K., AKA K. (2008). *Waters Model Circulation in the Estuary of Bandama. Rivers Flows and Tide condition's Incidence*. European Journal of Scientific Research, Vol. 19(2), pp 304-314.