

SIMULATION 3D DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DANS LA PARTIE CENTRALE DE LA COTE SUD-EST DE COTE D'IVOIRE A L'AIDE DE DELFT3D-FLOW



3D SIMULATION OF SEDIMENT DYNAMICS IN THE CENTRAL PART OF THE SOUTHEAST COAST OF COTE D'IVOIRE USING DELFT3D-FLOW

| N'Guessan Eric Yao ¹ | Konan Roger Assie ^{1*} | and | Kouadio Florentin Tani ¹ |

¹: UFR-Environnement | Université Jean Lorougnon Guédé | Daloa, Côte d'Ivoire |

| DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11373747> | Received May 02, 2024 | Accepted May 28, 2024 | Published June 03, 2024 | ID Article | Konan-Ref8-5-18ajiras230524 |

RESUME

Introduction : L'envasement des chenaux naturels constituait un défi majeur pour les ingénieurs lors de la construction du port autonome d'Abidjan dans la lagune Ebrié. Malgré la construction du canal de Vridi, le problème d'envasement persiste dans la zone portuaire, nécessitant un désensablement régulier par les services du port. **Objectif** : Cette étude vise à identifier les zones d'envasement et à évaluer l'impact des variations climatiques saisonnières sur l'envasement. **Méthodes** : Pour mener cette étude, nous avons utilisé le logiciel DELFT-3D pour simuler les mouvements des sédiments pendant les périodes de crue et d'étiage dans les affluents. **Résultats** : L'étude a révélé que les mouvements de sédiments les plus significatifs se produisent dans le canal de Vridi et le chenal Est (entre la baie du Banco et la baie de Cocody), où les courants sont plus rapides. Elle a également montré que l'érosion commence plus tôt pendant les hautes eaux mais est plus longue et plus intense pendant les basses eaux. De plus, le fleuve Comoé impacte l'hydrodynamique de la lagune, car le mouvement des sédiments dans le chenal Est varie en fonction du régime du fleuve Comoé. **Conclusion** : Bien que cette étude ne quantifie pas le volume de sédiments déplacé, elle met en évidence les zones d'envasement significatif et montre les schémas de déplacement des sédiments pendant les périodes de hautes et basses eaux.

Mots-clés : Delft3D-Flow ; lagune Ebrié ; modélisation 3D ; inondation ; transport de sédiments.

ABSTRACT

Introduction: The silting-up of natural channels was a major challenge for engineers during the construction of the Abidjan autonomous port in the Ebrié Lagoon. Despite the construction of the Vridi Canal, the silting problem persists in the port area, necessitating regular desilting by the port's departments. **Objective:** This study aims to identify silting zones and assess the impact of seasonal climatic variations on silting. **Methods:** To conduct this study, we used DELFT-3D software to simulate sediment movements during flood and low-water periods in the tributaries. **Results:** The study revealed that the most significant sediment movements occur in the Vridi Canal and the East Channel (between Banco Bay and Cocody Bay), where currents are faster. It also showed that erosion starts earlier during high water but is longer and more intense during low water. Additionally, the Comoé River impacts the lagoon's hydrodynamics, as sediment movement in the eastern channel varies with the Comoé River regime. **Conclusion:** Although this study does not quantify the sediment volume moved, it highlights areas with significant silting and shows sediment movement patterns during high and low water periods.

Key-words: Delft3D-Flow; Ebrié lagoon; 3D modelling; flood; sediment transport

1. INTRODUCTION

L'une des raisons qui a favorisé le creusement du canal de Vridi est que dans l'optique de la construction du port d'Abidjan dans la lagune Ebrié, il fallait trouver une voie qui relie la lagune à la mer et qui ne serait pas obstruée par la dérive littorale. L'embouchure du fleuve Comoé à Grand Bassam (ouverture naturelle sur l'océan) tout comme les autres sites qui avaient été choisis pour relier la lagune à la mer (Figure 1) étaient régulièrement bouchés à cause de la dérive littorale [1]. Depuis la construction du port et le creusement du canal de Vridi, un dragage régulier est réalisé dans la lagune pour maintenir les profondeurs (voire les augmenter) et faciliter le déplacement des navires. Pour faciliter le travail des services de dragage du port, il serait intéressant de maîtriser le transit sédimentaire dans la lagune (zone de dépôt et d'érosion). Dans l'optique d'une meilleure connaissance du transit sédimentaire dans la lagune Ebrié, nous avons réalisé un modèle morphodynamique en 3D (pour prendre en compte tous les paramètres qui régissent transport des sédiments sur le fond) avec le module Flow de Delft3D. Cette étude a pour objectif de faire ressortir les zones de dépôt et d'érosion des sédiments moyens et grossiers, en d'autres termes étudier la variation de la topographie du fond de la lagune avec le temps.



Figure 1 : localisation de la zone d'étude.

2. METHODOLOGIE

Le module Flow du logiciel Delft3D a été utilisé pour mener cette étude. C'est le module qui traite de l'hydrodynamisme et du transport de sédiments. Ce module nous a permis d'étudier le transport des sédiments de sable moyen et grossier, mais il ne traite pas des sédiments fins, ces derniers étant plutôt traités par le module de qualité de l'eau appelé module WAQ. Le transport des sédiments sur le fond est régi par la formule de Van Rijn (1995) [5].

2.1 Configuration du modèle

Cette étude a porté sur le transport des sédiments (sables) moyens et grossiers de diamètre respectivement de 275 μm et 1000 μm non-cohésifs sur une période de treize jours soit 312 heures. Ce travail a été mené aussi bien durant la période de crue que d'étiage des affluents de la lagune (Comoé et Agneby). Ce laps de temps étant court pour apprécier les changements sur le fond, car ce processus est lent, par conséquent, nous avons multiplié le facteur morphologique (morfac) par 2000 pour donner une idée de ce qui pourrait se passer à long terme et donc mieux apprécier les variations bathymétriques. Concrètement, cela signifie que les résultats observés sont 2000 fois plus élevés que ce qu'on devait observer normalement. Pour la réalisation de notre modèle en 3D, nous avons réalisé une grille dans le plan vertical. Elle consiste en une grille régulière curvilinéaire à mailles rectangulaires (Figure 2) avec la taille des cellules variant entre 38×59 m² (canal de Vridi) et 288×210 m² (aux extrémités Est et Ouest de la zone d'étude).

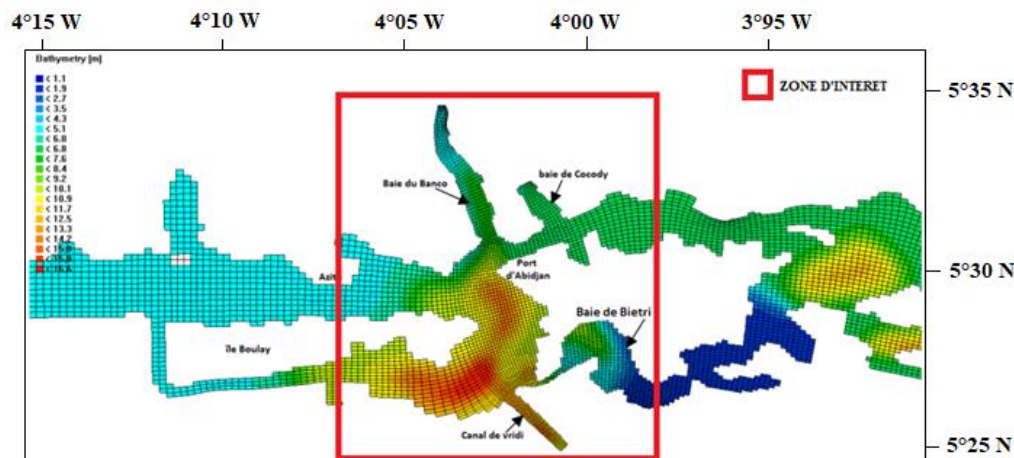


Figure 2 : Grille réalisée dans le plan horizontal et bathymétrie de la zone d'étude.

2.2 Condition initiale du modèle

Avant de définir les conditions aux limites, nous avons dans un premier temps fixé trois valeurs initiales pour définir les conditions de départ de notre modèle, à savoir le niveau d'eau, la concentration en sédiments et l'épaisseur de la couche

de sédiments. Le niveau d'eau initial a été fixé à 0 m, la concentration initiale de sédiments à 1 kg/m^3 et l'épaisseur initiale de la couche de sédiments sur le fond à 1 m. Le vent a été moyenné sur trois (03) mois (Figure 3), ce qui donne une vitesse de 3 m/s et une direction N225.

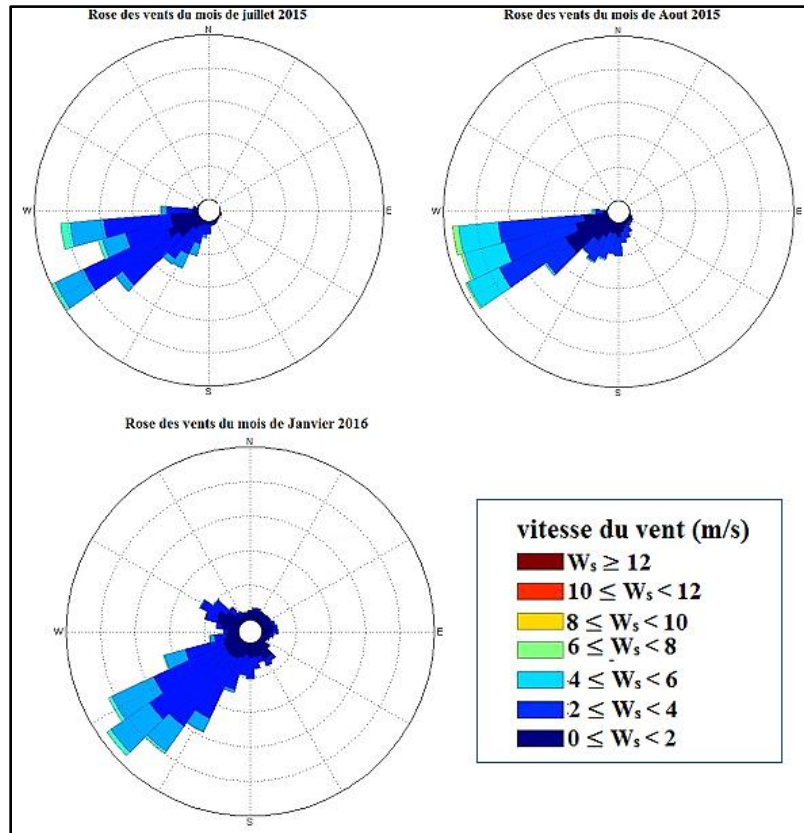


Figure 3 : Roses des vents réalisés pour trois (03) mois.

2.3 Conditions aux limites

Trois (03) types de limites ouvertes sont définis dans la zone d'étude : une limite amont, une limite aval et une limite supérieure. A la limite amont, nous avons l'embouchure de l'Agneby (Ouest) et l'embouchure de la Comoé (Est). L'entrée du canal de Vridi (sud) constitue la limite aval et un vent constant est fixé pour la limite supérieure. A l'embouchure de l'Agneby, nous avons un débit moyen mensuel de $15,1 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,051 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement. De même, à l'embouchure de la Comoé, nous avons un débit mensuel moyen de $518 \text{ m}^3/\text{s}$ et $0,840 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement. A l'entrée du canal de Vridi, on observe la variation du niveau d'eau pendant les périodes de hautes et basses eaux des rivières (Figure 4,5).

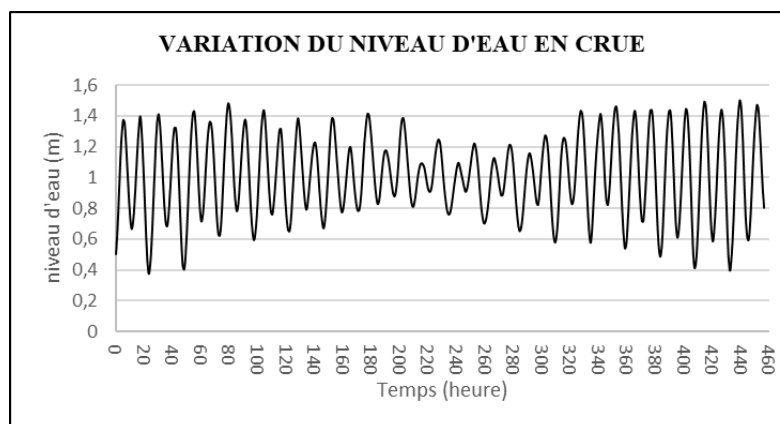


Figure 4 : variation du niveau d'eau à l'entrée du canal de Vridi en période de crue.

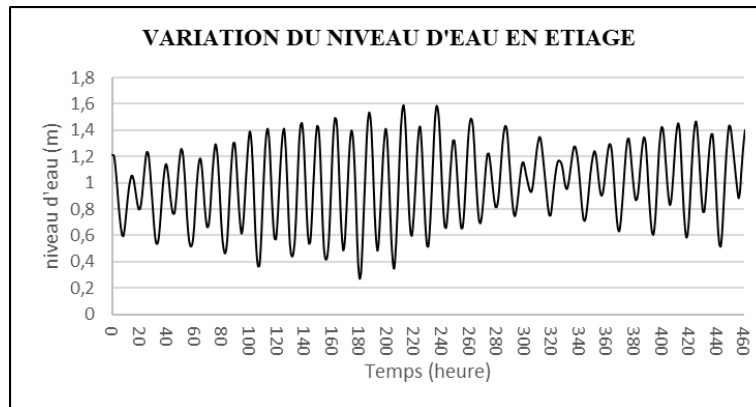


Figure 5 : variation du niveau d'eau à l'entrée du canal de Vridi en période d'étiage.

2.4 Calibrage du modèle

La réalisation du modèle 3D nécessite un calibrage qui s'est porté sur plusieurs points : tout d'abord, le calibrage a porté sur le coefficient de rugosité, ensuite nous avons calé la viscosité et la diffusivité de l'eau pour finir sur le pas de temps de nos simulations.

Le coefficient de rugosité a été calé selon la formulation de Manning. La viscosité et la diffusivité verticale ont été exprimées avec le modèle de turbulence k-Epsilon (k- ϵ), l'échelle de longueur d'Ozmidov est restée à 0. Les tests en eux-mêmes ont consisté à :

- Dans le cas de la rugosité du fond, comparer les valeurs de niveau d'eau fournies par le modèle et celles enregistrées par des marégraphes avec différentes valeurs du coefficient de Manning.
- Comparer les vitesses horizontales et verticales des courants sur la colonne d'eau pour calibrer la viscosité/diffusivité de l'eau.
- Comparer les niveaux d'eau simulés avec ceux mesurés pour déterminer le meilleur pas de temps pour notre simulation.

La qualité des résultats des différents tests de sensibilité réalisés a été vérifiée grâce à trois (03) indicateurs scientifiques : le coefficient de corrélation (r), le coefficient de détermination (R^2) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE). Le calibrage du modèle s'est fait en trois points de notre zone d'étude : du Sud vers le Nord, on a l'appontement, le fascinage et la capitainerie (Figure 5) où le port d'Abidjan a installé des marégraphes.

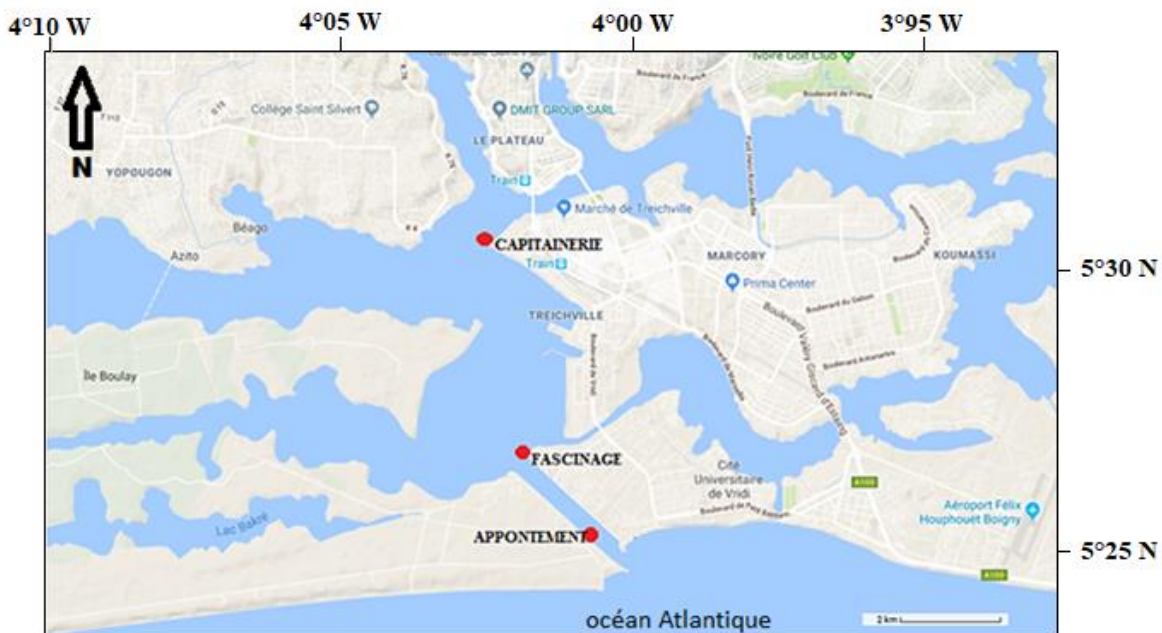


Figure 6 : Localisation des stations marégraphiques dans la lagune Ebrié.

Le calibrage en trois (03) points a montré que la qualité du modèle baisse lorsqu'on s'éloigne de l'océan Atlantique. Toutefois, les indicateurs statistiques montrent que le modèle est bon, car pour le calibrage de la rugosité $RMSE < 0,2$ (Figure 6) et pour celui de la viscosité/diffusivité $RMSE = 0,4$ (Figure 6) [2,4].

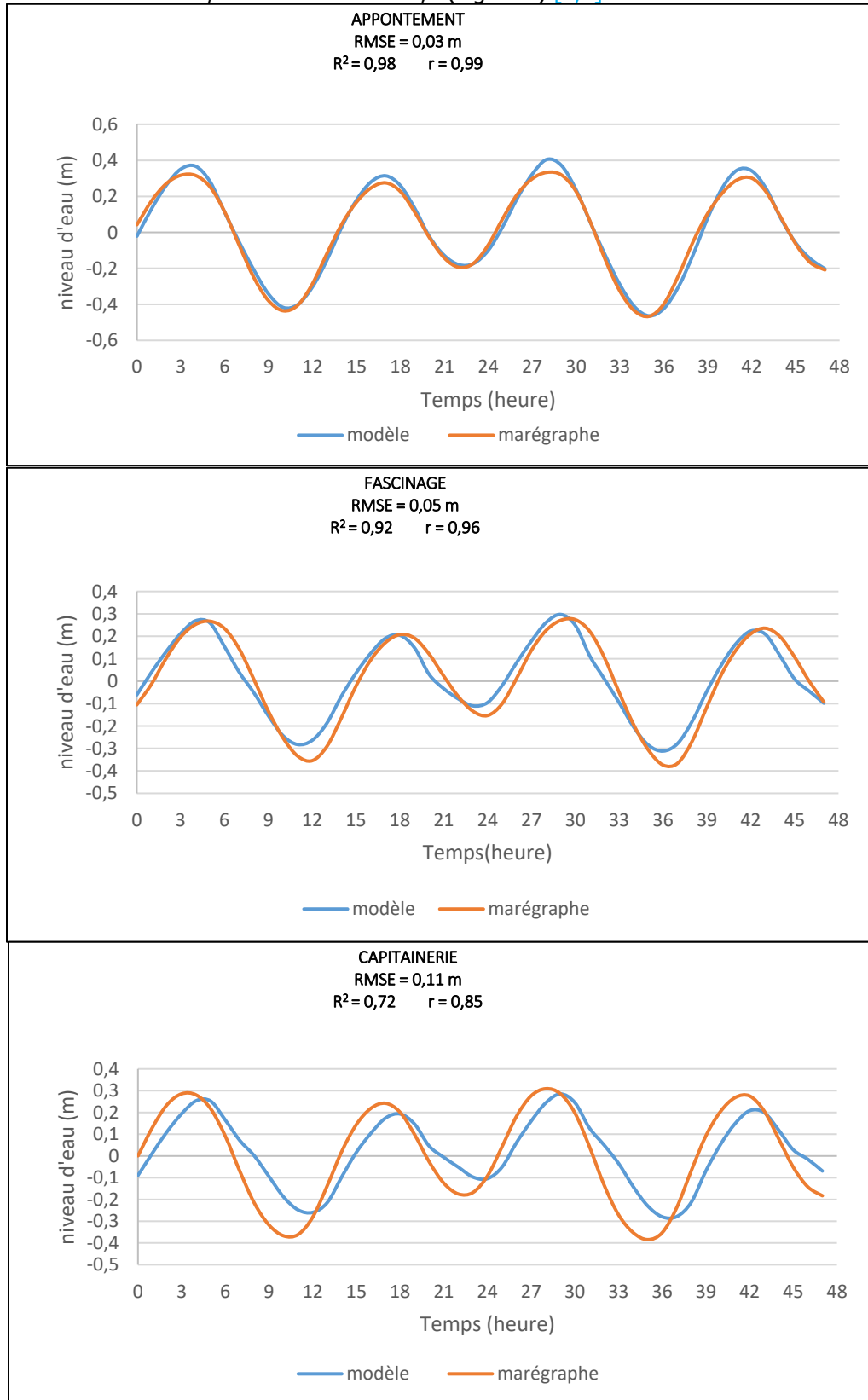


Figure 6 : Meilleurs résultats issus du calibrage de la rugosité.

Le calibrage de la viscosité de notre zone d'étude s'est fait en seul point : l'apportement. Ce choix a été fait parce que c'est en ce point que le calibrage de la rugosité a donné les meilleurs résultats (Figure 7). La baisse de qualité du modèle lorsqu'on s'éloigne de l'océan a été déjà mise en évidence par Van Rijn (2009) [5]. La résolution de cette situation fera l'objet d'une étude qui consistera à calibrer le modèle en chaque point. Cela permettra de déterminer en chacun de ces points, les valeurs de chaque paramètre à calibrer pour lesquelles le modèle est excellent. Les valeurs des paramètres choisies à l'issue du calibrage de notre modèle sont consignées dans le tableau 1.

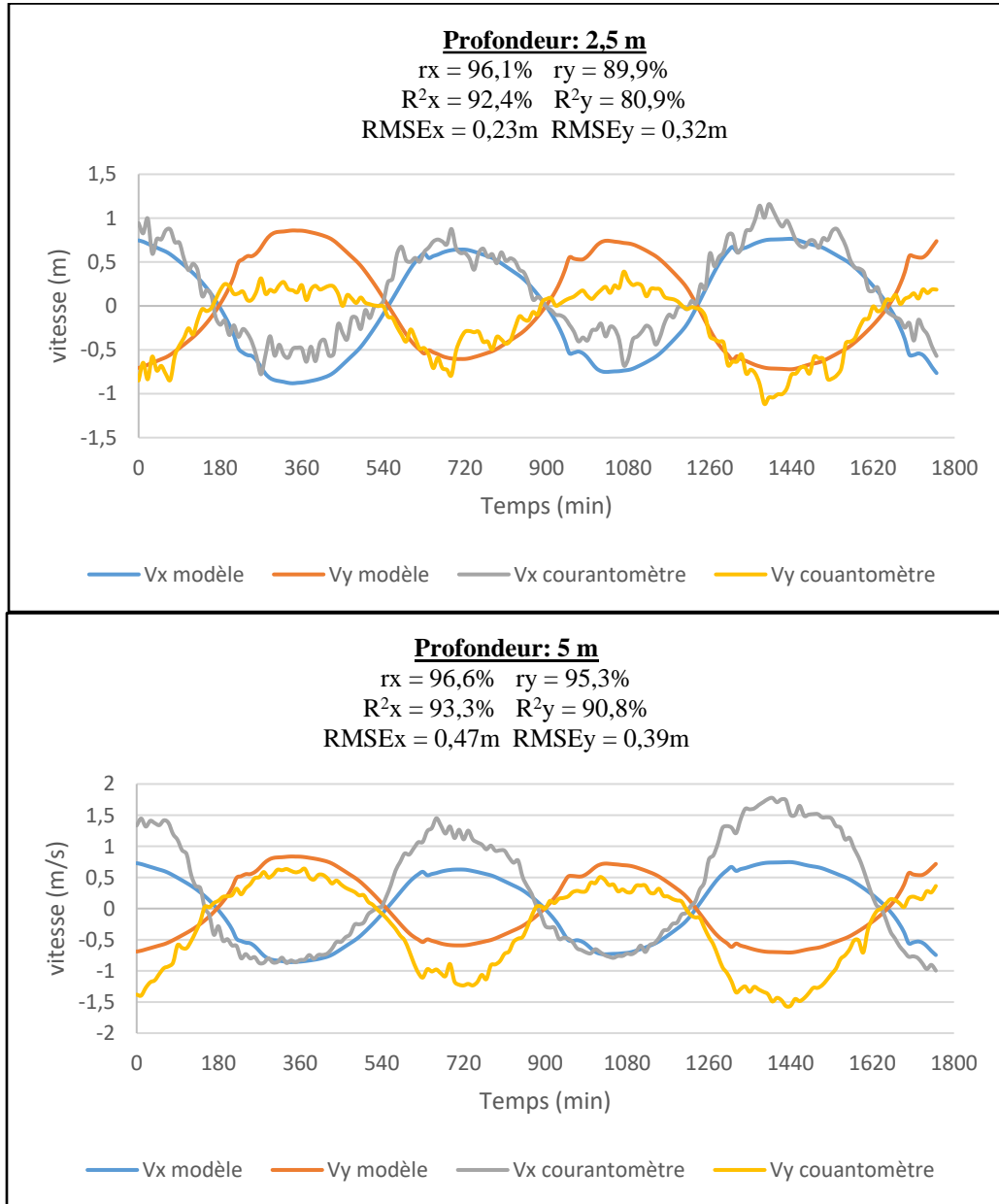


Figure 7 : Meilleurs résultats issus du calibrage de la viscosité/diffusivité.

Tableau 1 : Résultats du calibrage du modèle.

| Rugosité du fond | Viscosité | | Diffusivité | | Pas de temps |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|--------------|
| | Horizontale | verticale | horizontale | verticale | |
| $n = 0,05 \text{ m}^{-1/3s}$ | $v_H = 1 \text{ m}^2/s$ | $v_V = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/s$ | $D_H = 1 \text{ m}^2/s$ | $D_V = 5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/s$ | 1 min |

3. RESULTATS

3.1. Transport de sédiments moyens

En période de crue (Figure 8), à $T_0 + 24h$ (h : heure), l'érosion a commencé dans le canal et les sédiments érodés se retrouvent déjà dans le bassin central de la lagune. A $T_0 + 72h$, alors que l'érosion se poursuit dans le canal de Vridi, on constate que l'érosion débute dans le chenal Est de la lagune entre les baies de Cocody et de Banco. L'éventail de dépôt des sédiments issus du canal de Vridi prend de l'ampleur et devient de plus en plus large. Quant aux sédiments issus de l'érosion dans le chenal Est, ils sont transportés à l'Ouest de la zone d'érosion (vers la baie du banco) et se propage vers le bassin central. A partir de $T_0 + 120h$, jusqu'à la fin de notre simulation ($T_0 + 312h$), l'érosion se poursuit dans les deux (02) zones précitées. Les éventails de dépôts s'élargissent au fur et à mesure, l'épaisseur des dépôts s'amincit au fur et à mesure qu'on s'éloigne des zones d'érosion.

En période d'étiage (Figure 9), en comparaison à la période de crue, l'érosion se fait plus lentement mais est plus intense. À $T_0 + 24h$, très peu de sédiments sont en mouvement dans le canal, il y a très peu de sédiments dans le bassin central. À $T_0 + 72h$, le canal de Vridi est érodé. Toutefois, la surface érodée et l'éventail de dépôt qui en découle sont plus petits que ceux obtenus au même moment en période de crue. Dans le chenal Est, l'érosion commence à peine. À $T_0 + 120h$, l'érosion dans le canal est identique à celle obtenue au même moment en période de crue. Par contre, dans le chenal Est, on constate que l'érosion se poursuit. Elle est moins intense mais se fait sur une surface plus grande en comparaison à ce qui se passe en période de crue au même moment. A partir de $T_0 + 168h$, l'érosion se poursuit progressivement. La zone d'érosion qui part du canal s'étend sur une distance d'environ 700 mètres dans le bassin central. Dans le chenal Est, la surface d'érosion s'étend sur toute la distance séparant les deux (02) baies. Contrairement à ce qui a été observé lors de la crue, cette fois-ci les sédiments érodés sont transférés vers l'Ouest (à l'entrée de la baie de Cocody).

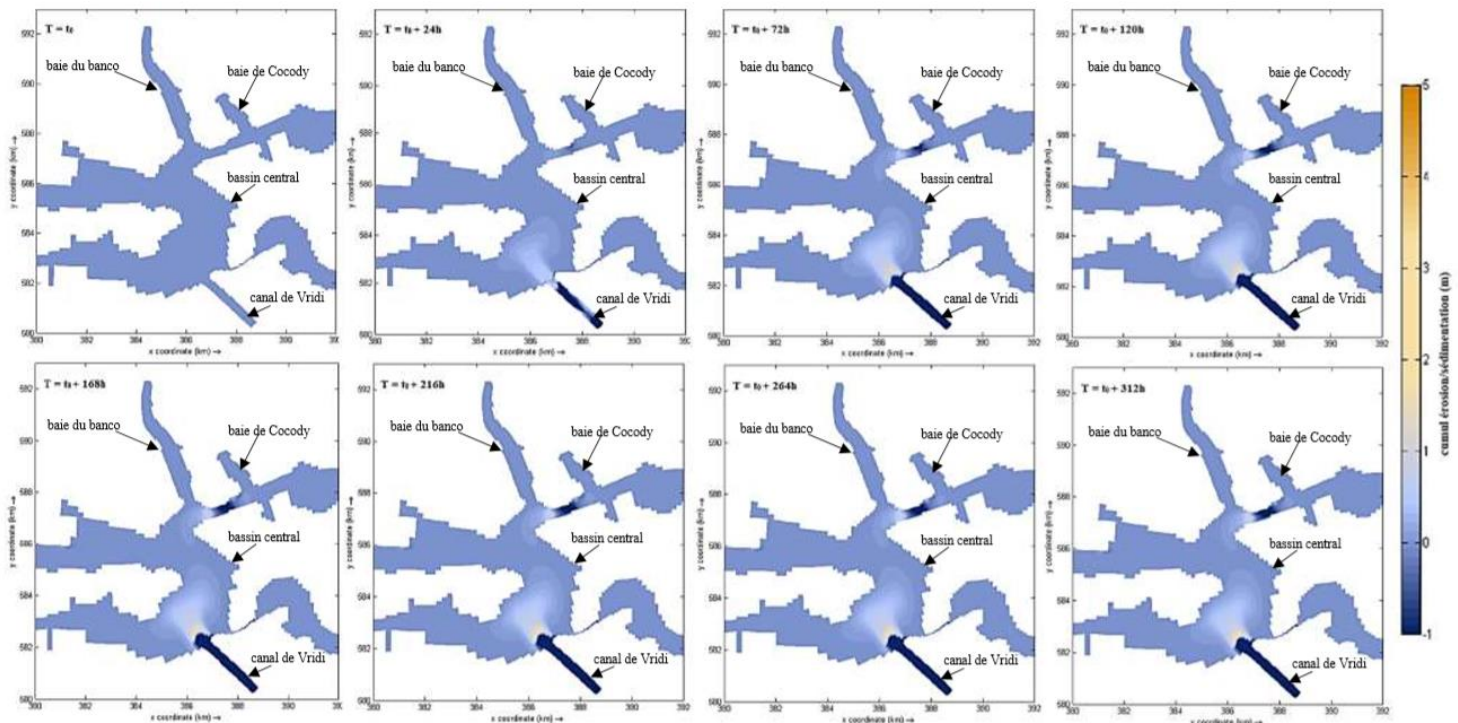


Figure 8 : Transport des sédiments moyens dans la lagune Ebrié en période de crue.

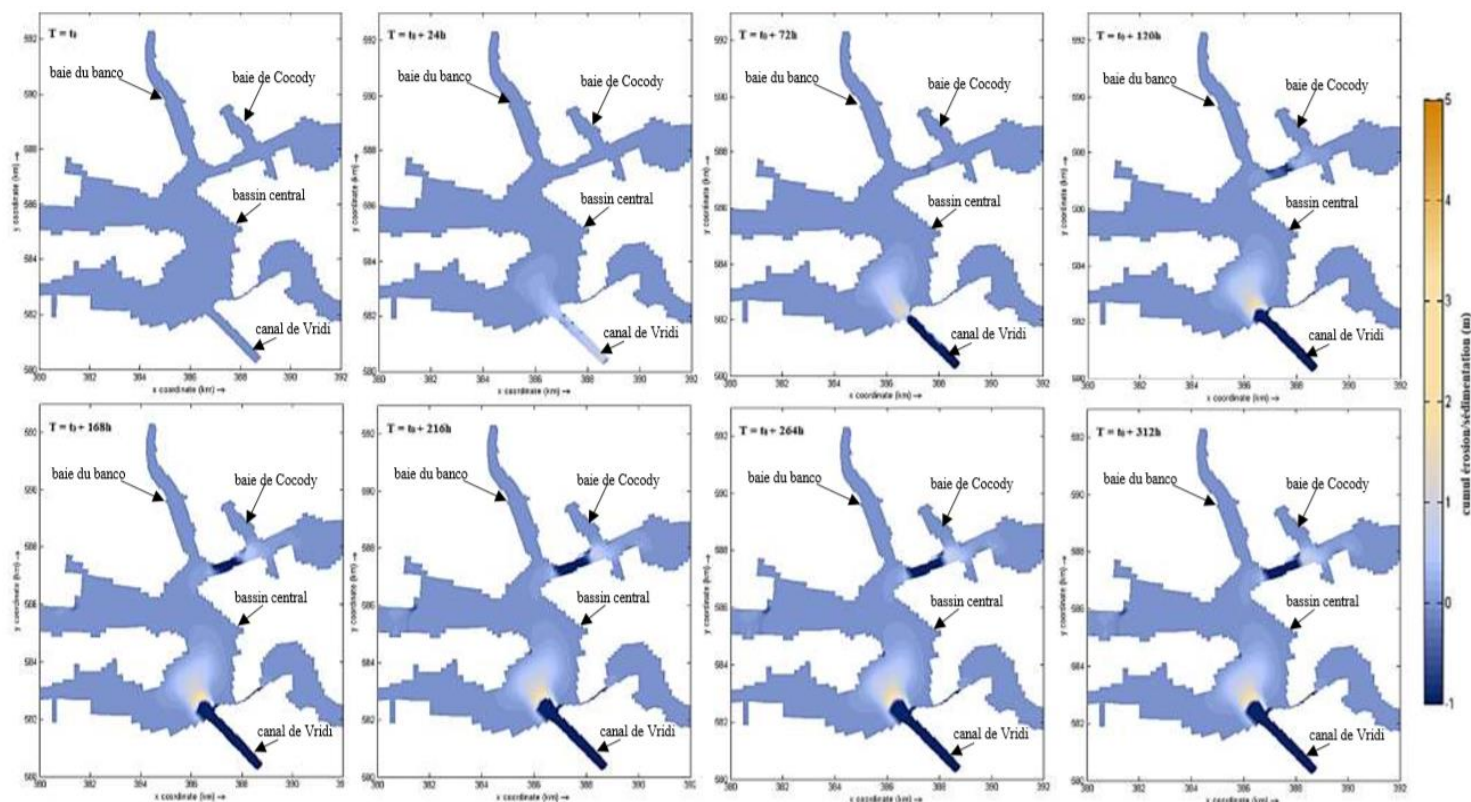


Figure 9 : Transport des sédiments moyens dans la lagune Ebrié en période d'étiage.

3.2. Transport de sédiments grossiers

En période de crue (Figure 10), à $T_0 + 24h$, les sédiments érodés dans le canal de Vridi commencent à peine à atteindre le bassin central. A $T_0 + 72h$, tous les sédiments érodés dans le canal se retrouvent dans le bassin central. L'éventail de dépôt est restreint et localisé juste à l'entrée du bassin central. On constate aussi une faible érosion dans le chenal Est entre les baies de Cocody et de Banco. Les sédiments érodés dans cette zone se déposent à l'Ouest de la zone d'érosion (vers la baie du Banco). A $T_0 + 120h$, il n'y a pas de grande différence avec la situation précédente ($T_0 + 72h$) ; seule la quantité de sédiments déposée à l'entrée du bassin central augmente. De $T_0 + 168h$ jusqu'à la fin de la simulation ($T_0 + 312h$), la configuration est pratiquement identique à celle observée à $T_0 + 120h$.

En période d'étiage (Figure 11), à $T_0 + 24h$ l'érosion commence à peine dans le canal de Vridi, le mouvement des sédiments est circonscrit dans le canal. A $T_0 + 72h$, les sédiments érodés dans le canal commencent à se déposer juste à l'entrée du bassin central de la lagune. A $T_0 + 120h$, tous les sédiments érodés dans le canal sont déposés juste à l'entrée du canal. On constate aussi un début d'érosion dans le chenal Est entre les baies de Cocody et du Banco. A $T_0 + 168h$, l'érosion continue, les surfaces d'érosion continuent de s'agrandir. L'érosion dans le canal s'étend maintenant jusque dans le bassin central, quant au chenal Est la surface érodée couvre la moitié de la distance séparant la baie de Cocody à celle du Banco. Les sédiments érodés dans le chenal Est sont cette fois-ci déposés à l'Est de la zone d'érosion (du côté de la baie de Cocody). De $T_0 + 216h$ jusqu'à $T_0 + 312h$, l'érosion s'accroît et les surfaces d'érosion s'agrandissent. La surface d'érosion ayant débuté dans le canal a atteint le bassin central où elle s'étend sur une longueur d'environ 450 m. L'érosion est plus intense sur le côté gauche que sur côté droit qui est l'endroit où les sédiments s'accumulent. L'érosion qui a lieu dans le chenal Est s'étend sur plus de la moitié de la distance séparant la baie de Cocody à la baie du Banco.

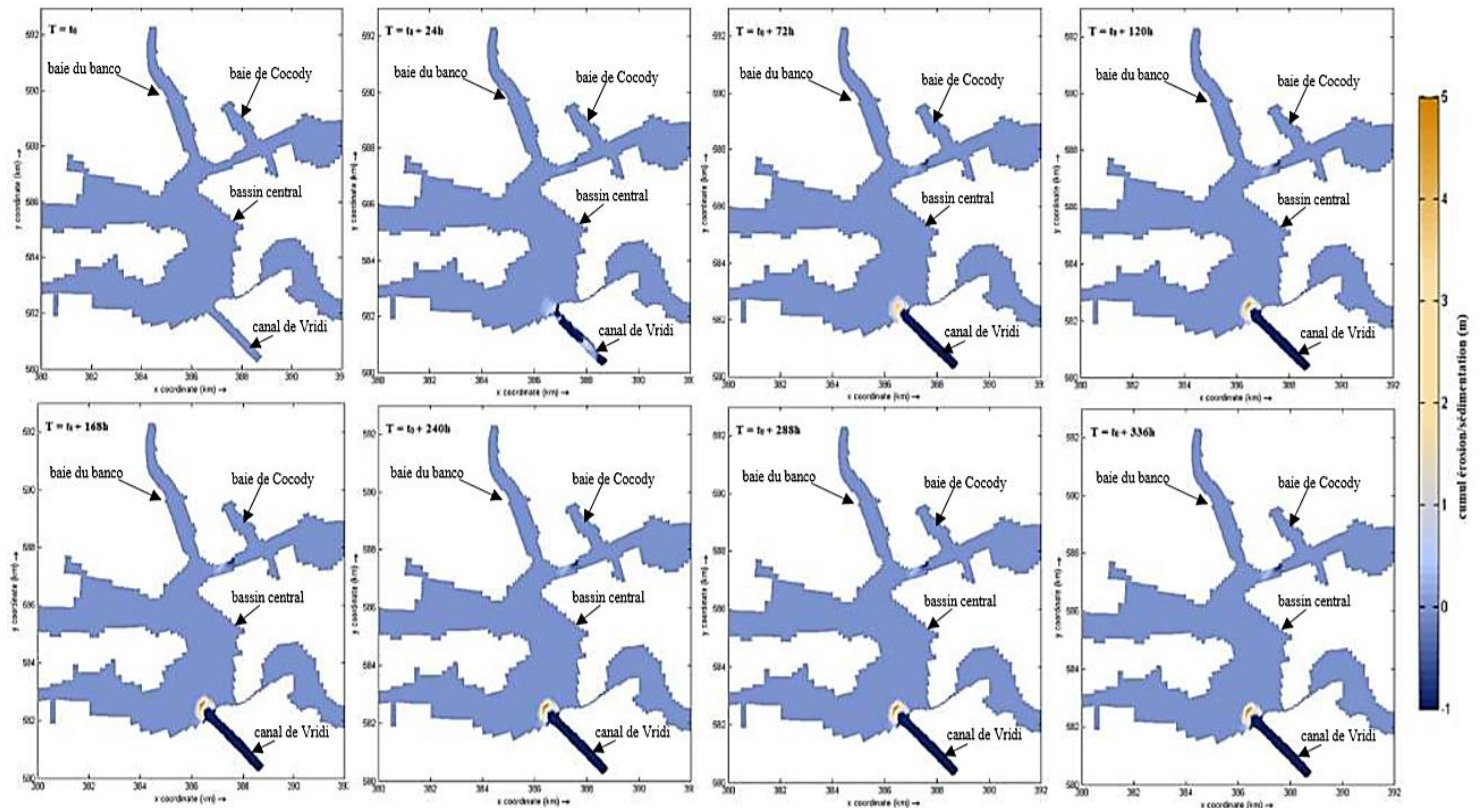


Figure 10 : Transport des sédiments grossiers dans la lagune Ebrié en période de crue

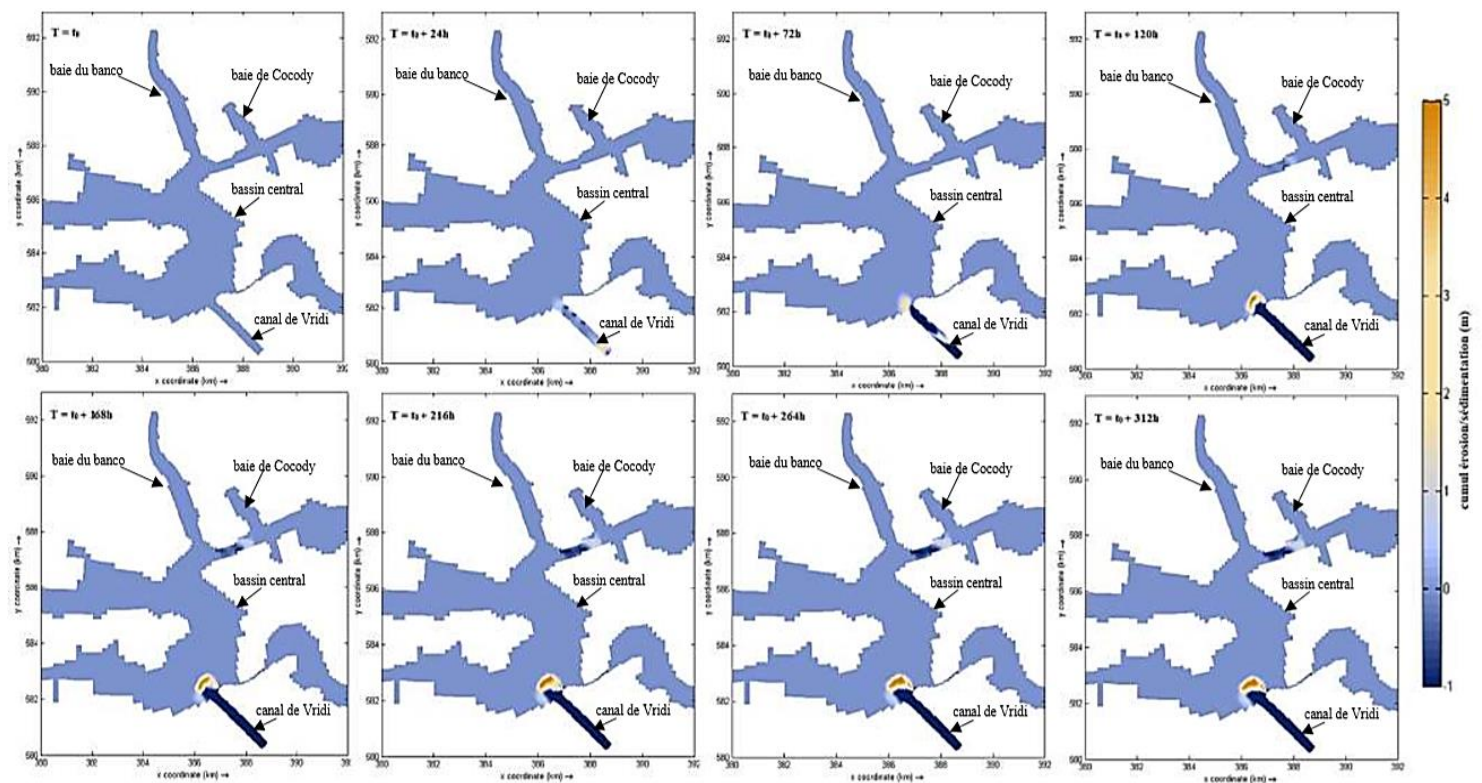


Figure 11 : Transport des sédiments grossiers dans la lagune Ebrié en période d'étiage.

4. DISCUSSION

Le transport des sédiments (grossiers et moyens) est régi par l'écoulement des eaux sur le fond qui les transporte soit par saltation, soit par roulement ou par glissement (selon la taille des grains). Des études antérieures [5,6,7] ont montré que l'intensité des courants dans la lagune est généralement faible ($< 1\text{m/s}$). Cette intensité baisse lorsqu'on s'éloigne du canal de Vridi. Toutefois, les courants sont accélérés dans les endroits étroits de la lagune comme le canal de Vridi et les chenaux. C'est l'accélération des courants dans ces zones qui est la cause des érosions localisées (canal de Vridi et chenal Est).

L'écoulement des eaux dans la lagune Ebrié pendant la période de crue et d'étiage des affluents (Comoé et Agneby), dans le plan horizontal comme dans le plan vertical a été étudié par des études antérieures [3,7]. La présente étude a montré l'impact marquant du fleuve Comoé sur la circulation des eaux dans la lagune en période de crue. Le fort débit du fleuve en période de crue ($\approx 500\text{ m}^3/\text{s}$ pour la simulation) crée des courants dirigés constamment vers la lagune. Ces courants sont donc opposés aux courants de marée lors du flow et accentuent ceux du jusant. Il a également montré que les courants dans la lagune étaient plus forts en crue qu'en étiage. La forte intensité des courants en période de crue explique pourquoi l'érosion y débute plus tôt qu'en étiage. Par contre, toujours en crue, les courants de jusant dont l'intensité est accentuée par ceux générés par le fleuve Comoé, ont tendance à annihiler les effets dus aux courants de flot. Ceci pourrait expliquer pourquoi l'érosion est plus longue et intense en étiage qu'en crue.

L'intensité de l'érosion (et la taille de l'éventail de dépôt) dépend aussi de la taille des sédiments. En effet, plus la taille des sédiments est petite, plus leur déplacement est important. Ils sont fortement érodés et leur éventail de dépôt est beaucoup plus large. Dans le chenal Est, la position de l'éventail de dépôt par rapport à la zone d'érosion est fonction du régime du fleuve Comoé. Quand le fleuve est en étiage, l'éventail de dépôt est localisé à l'Est de la zone d'érosion, c'est-à-dire à l'entrée de la baie de Cocody. Quand le fleuve est en crue, les sédiments sont déposés à l'Ouest de la zone d'érosion soit à l'entrée de la baie du Banco. Cette configuration confirme la prédominance des courants de marée en étiage alors qu'en crue ce sont les courants du fleuve qui prédominent dans cette zone de la lagune.

5. CONCLUSION

Cette étude a permis de montrer le mouvement des sédiments dans la lagune Ebrié en période de crue et d'étiage des fleuves affluents. Les mouvements de sédiments varient selon la localisation sur la lagune, le régime des fleuves et selon la taille des sédiments (moyen ou grossier). Le mouvement des sédiments (moyens ou grossiers) s'opère à des endroits bien précis de la lagune : dans le canal de Vridi et le chenal Est entre la baie de Cocody et celle du Banco. A ces endroits, les courants sont les plus rapides. Dans le canal de Vridi où on a les vitesses les plus grandes, l'érosion est plus importante que dans le chenal Est.

Nous avons aussi montré l'influence du fleuve Comoé sur le mouvement des sédiments en période de crue dans le chenal Est en particulier. En effet, le fort débit du fleuve impacte le mouvement des sédiments érodés dans la zone (et donc sur la position de l'éventail de dépôt) : Alors qu'en étiage les sédiments érodés sont déplacés dans le sens de propagation de la marée dans la lagune (vers la baie de Cocody), ils sont en période de crue déplacés vers la baie du Banco (dans le sens d'écoulement des eaux venant du fleuve). Enfin, la taille des sédiments détermine la quantité de sédiments déplacée. Plus les sédiments sont petits, plus ils seront mis en mouvement et par conséquent plus grande sera la surface érodée (et par ricochet la taille de l'éventail de dépôt).

Remerciements : Nous sommes reconnaissants envers les évaluateurs pour leurs commentaires pertinents et constructifs qui ont permis d'améliorer le document.

6. REFERENCES

1. Durand JR, Chantraine JM. L'environnement climatique des lagunes ivoiriennes. *Rev Hydrobiol Trop*. 1982;15(2):85-113.
2. Fernandes EHL, Dyer KR, Niencheski LFH. Calibration and validation of the TELEMAC-2D model to the Patos Lagoon (Brazil). *J Coast Res Spec Issue*. 2001;34:470-88.
3. Monde S. Étude et modélisation hydrodynamique de la circulation des masses d'eau dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire). Doctoral dissertation, Univ Abidjan; 2004. 324 p.
4. Putra SS, Wegen M, Reynolds J, Dam AV, Solomatine DP, Roelvink JA. Multi Station Calibration of 3D Flexible Mesh Model: A Case Study of the Columbia Estuary. *Procedia Environ Sci*. 2015;28:297-306.
5. Van Rijn LC, Kroon A. Sediment transport by currents and waves. In: *Coastal Engineering*. 1993. p. 2613-28.
6. Wango TE. 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). Doctoral dissertation, Univ Cocody; 2009. 187 p.
7. Yao NE. Modèle hydrodynamique et transport des sédiments (DELFT3D-FLOW) dans la lagune Ebrié. Doctoral dissertation, Univ Felix Houphouët Boigny; 2018. 244 p.



How to cite this article: N'Guessan Eric Yao, Konan Roger Assie, and Kouadio Florentin Tani. SIMULATION 3D DE LA DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DANS LA PARTIE CENTRALE DE LA COTE SUD-EST DE COTE D'IVOIRE A L'AIDE DE DELFT3D-FLOW. *Am. J. innov. res. appl. sci.* 2024; 18(6): 12-22. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.11373747>

This is an Open Access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>