



Etude de cas d'une Gestion Intégrée de Zone Côtière en Côte d'Ivoire : stabilisation du cordon sableux de Grand-Lahou

Aurélie LE DISSEZ¹, Régis WALTHER¹, Abé Delfin OCHOU², Eric Valère DJAGOUA², Hafsa OUATTARA²

1. ARTELIA, 6 rue de Lorraine, 38130 Echirolles, France
Aurelie.ledissez@arteliagroup.com
2. Ministère de l'Environnement et du Développement durable, Unité de Gestion du Projet WACA ResIp, Quartier ZINSOU Abidjan Cocody 7^{ème} Tranche, Côte d'Ivoire.
vdjagoua@yahoo.fr

Résumé :

Le village de Lahou Kpanda (Grand Lahou, Côte d'Ivoire), situé à l'Ouest immédiat de l'embouchure du fleuve Bandama, sur le cordon littoral de la lagune de Tagba, connaît une grande vulnérabilité à l'érosion côtière. Il est directement menacé par la migration de l'embouchure dont la vitesse moyenne a atteint 160 m/an sur les 10 dernières années, ainsi qu'à des risques d'inondation et de submersion marine que les effets du changement climatique vont exacerber. L'article présente l'étude menée depuis 2019 et financée par le programme WACA, qui a contribué au choix et au dimensionnement d'une solution durable pour la stabilisation du cordon sableux de Grand-Lahou.

Mots-clés :

GIZC, Migration de débouché tidal, Risques côtiers, Modélisations hydrosédimentaires, Projet WACA, Vulnérabilité à l'érosion côtière.

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

1. Introduction

Le village de Lahou Kpanda (Grand Lahou, Côte d'Ivoire), situé à 120 km d'Abidjan, à l'Ouest immédiat de l'embouchure du fleuve Bandama, sur le cordon littoral de la lagune de Tagba, connaît une grande vulnérabilité à l'érosion côtière (figure 1).

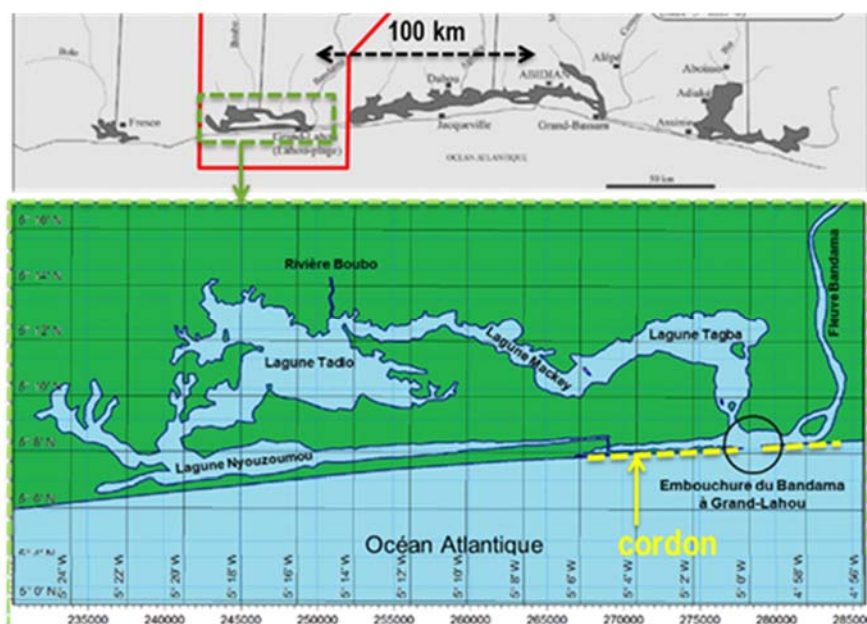


Figure 1. Localisation et caractérisation des lagunes ivoiriennes et présentation du système lagunaire de Grand-Lahou.

Ce village est menacé par la migration de l'embouchure dont la vitesse moyenne a atteint 160 m/an ces 10 dernières années (figure 2), ainsi qu'à des risques d'inondation et de submersion marine que les effets du changement climatique vont encore exacerber.

La stratégie suivie jusqu'à présent a été celle de l'adaptation et du repli, avec la création de la nouvelle ville de Grand Lahou, à 18 km, vers le relief en 1973. Cependant une partie de la communauté de pêcheurs est restée sur place et ses biens et son économie sont directement menacés aujourd'hui. Suite à un Plan d'Investissement Multisectoriel (PIMS) montrant les bénéfices à reconsidérer la stratégie à adopter pour une gestion économique et naturelle durable de la lagune, le programme WACA donne cette opportunité en finançant notamment les études techniques pour le choix et le dimensionnement d'une solution de stabilisation du cordon sableux. L'article présente les différents volets qui ont constitué ce projet ambitieux et en ont fait un exemple en termes de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC).

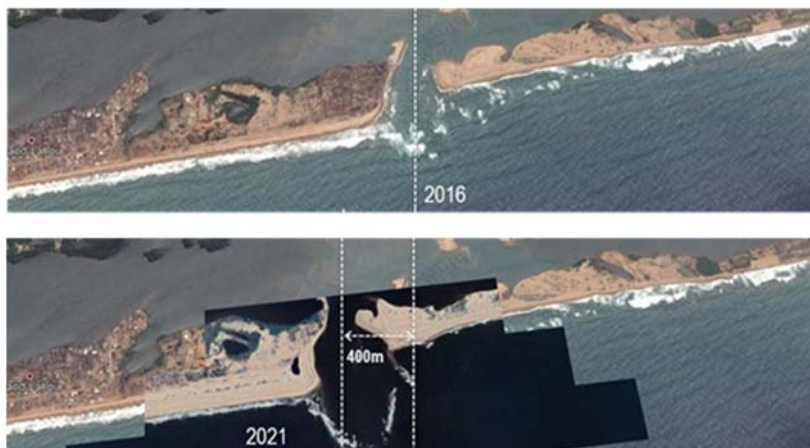
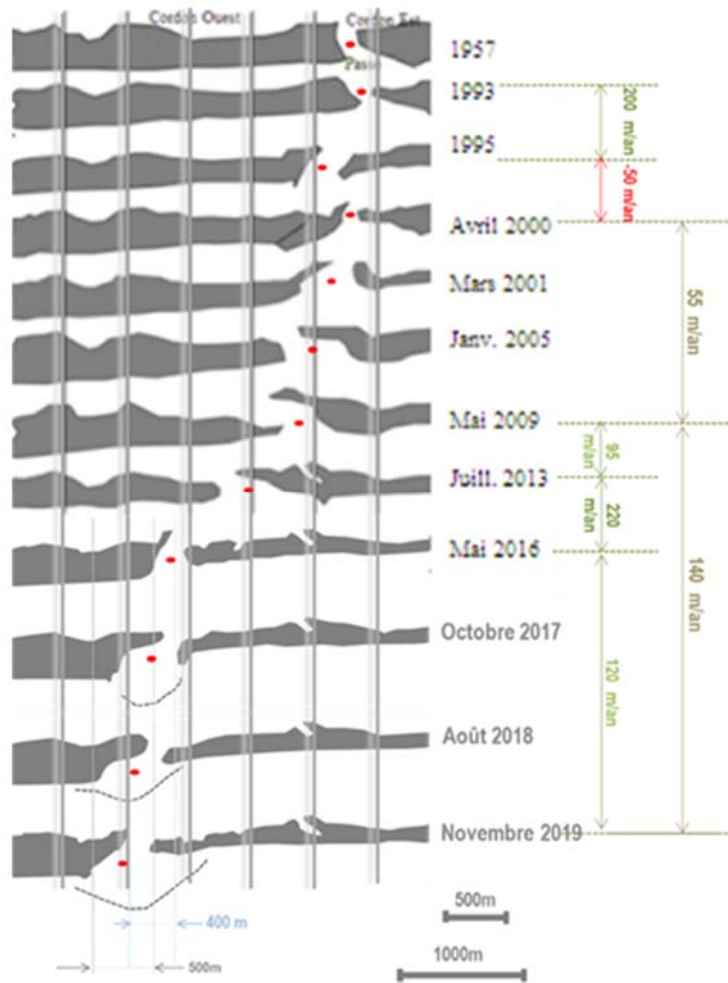


Figure 1. Evolution de l'embouchure de Grand Lahou de 1957 à 2021.

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

2. Compréhension de la problématique hydro-sédimentaire

2.1 Etat des connaissances au démarrage du projet

Le système composé de l'estuaire du Bandama, des lagunes, du cordon littoral et du grau, a fait l'objet de nombreux travaux scientifiques et publications depuis plus de 50 ans (BEDEVELOPMENT, 2017 ; DHI, 2015). Sur la base des données existantes dans la littérature et collectées auprès des parties prenantes (figure 3), il apparaît que la stabilité du grau est conditionnée par la conjonction des actions concomitantes des courants de marée (remplissage et vidange de la lagune) et du débit du fleuve d'une part, qui maintiennent l'embouchure ouverte, et de la dérive littorale générée par la houle d'autre part, qui a tendance à la fermer (ARTELIA, 2019).



Figure 2. Photographies de la réunion à la chefferie de Lahou Kpanda le 6/11/2019, et visite du cordon rendant compte de l'érosion active en rive Ouest de la passe.

2.2 Actualisation de l'analyse du système

Des investigations complémentaires de terrain (mesures topo-bathymétriques, niveaux, courantologie, houle) et des études hydrauliques et métocéaniques menant à la quantification du transit littoral mensuel et annuel, la chronique des débits mensuels du Bandama, la vitesse de migration du grau depuis 1957, montrent en premier lieu l'existence de l'ouverture d'un grau pérenne (diagramme d'Escoffier) et la présence d'un delta de jusant marqué au-devant assurant un pont sédimentaire de part et d'autre du débouché pour le transit orienté majoritairement Est-Ouest.

L'analyse diachronique de la position du grau montre que celui-ci migre d'abord faiblement dans les années 60 puis notablement depuis les années 90 d'Est en Ouest soit dans la direction opposée au transit littoral net. Ce sens de migration contre intuitif résulte de l'érosion progressive de la rive Ouest de la passe et de l'accrétion progressive de la

rive Est. La passe présente, par ailleurs, une forte variabilité saisonnière de sa forme en plan, des flèches orientées Nord-Sud se développant au gré périodes de crue et d'étiage du Bandama. L'analyse des images satellites montre que la vitesse annuelle de migration de la passe est variable, de 0 et 350 m/an, plus élevée depuis 2010 (160 m/an en moyenne sur la période 2010-2019). Cependant aucune corrélation n'apparaît entre la vitesse annuelle de migration et les évolutions des différents paramètres environnementaux (houle, débits du Bandama), qui expliquerait cette augmentation récente de la vitesse de migration qui menace directement le village de Lahou Kpanda de disparition.

2.3 Modèle numérique

Afin de mieux comprendre et reproduire cette dynamique complexe, à court et moyen termes, du système lagunaire de Grand-Lahou incluant le Bandama, le grau et le cordon dunaire, un modèle numérique morphodynamique innovant est développé, permettant, au moyen d'un seul et même outil, de calculer les évolutions des fonds en réponse aux forçages (marée, courant général, courant de vidange et de remplissage dans la passe, houle, débit du Bandama) et reproduire l'évolution du grau (sa migration) en couplant deux (2) principes (figure 4).

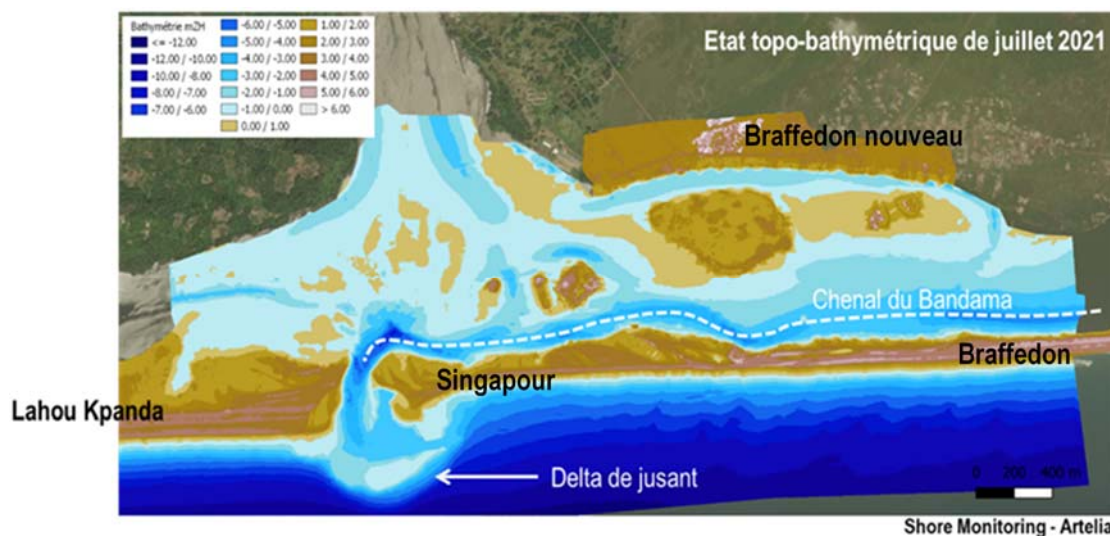


Figure 4. Modèle Numérique de Terrain, issu de la concaténation des levés topographique et bathymétrique de juillet 2021.

Ce sont :

- la chaîne de modélisation TELEMAC-Mascaret et ses modules d'hydrodynamique 3D, houle et hydrosédimentaire calculant le transport sédimentaire (dont le transit littoral) et les évolutions des fonds induites dans la lagune et la zone « near-shore » au-delà de la ligne de déferlement, mais pas les processus cross-shore à la côte, érodant de façon non réaliste le trait de côte à long terme ;

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

b) un modèle de trait de côte 1D permettant de reprofiler automatiquement les petits fonds de la fringe littorale (entre le trait de côte et la profondeur de fermeture) en reconstruisant un profil d'équilibre (Dean) par transfert de masse le long de ce profil. Ainsi, le modèle hybride, présenté en détail dans OUDART (2021), calcule à chaque pas de temps et en chaque nœud du maillage, la houle, le courant, le transport sédimentaire et les évolutions des fonds induites et, à intervalle de temps régulier, le reprofilage automatique des fonds de la zone de déferlement en appliquant un profil d'équilibre par transfert de masse le long de ce profil (voir figure 5).

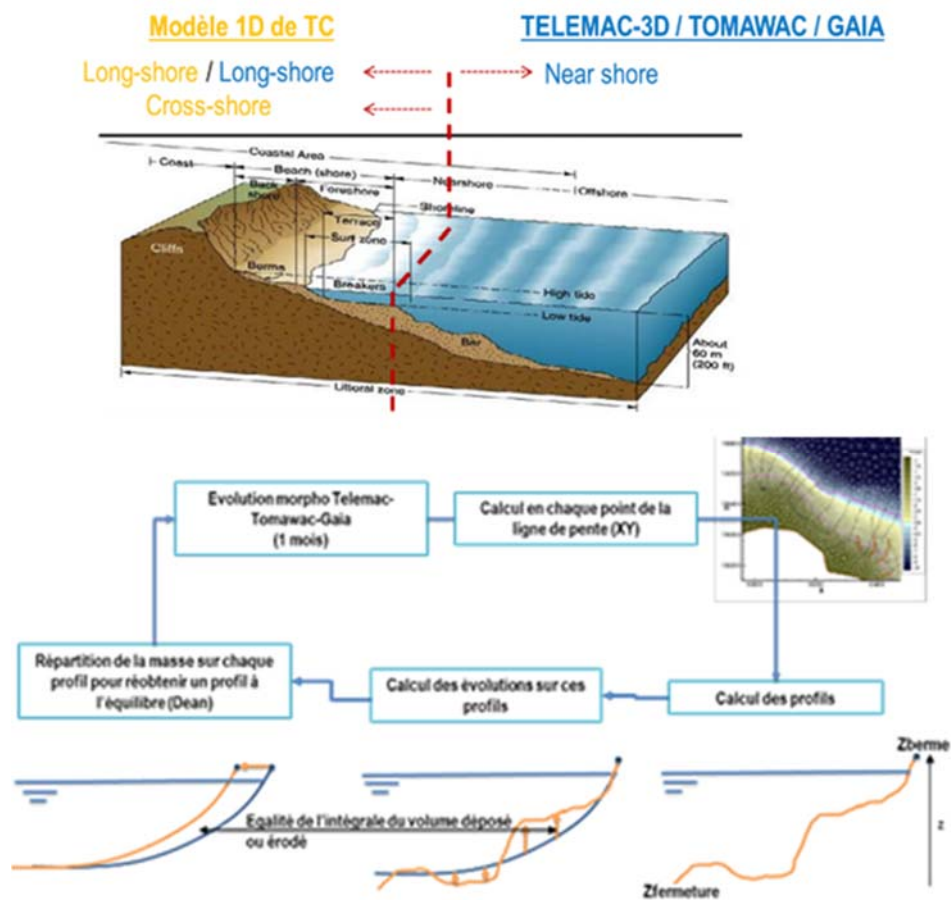


Figure 5. Zone de validité des deux approches couplées et principes du modèle hydro-sédimentaire hybride.

Le modèle est calibré hydrauliquement sur une campagne de mesure de 2 mois offrant un jeu de données optimal en termes de niveau, courant et houle, tant dans le chenal du Bandama que dans le domaine côtier, en étiage comme en crue du Bandama. Le calage morphodynamique consiste en la reproduction des évolutions saisonnières de la passe (court terme) ainsi que sa migration (moyen terme - 3 ans).

2.4 Apport majeur du modèle numérique

Le modèle innovant et opérationnel a permis une avancée significative dans la compréhension et la reproduction des mécanismes en jeu dans la migration de la passe actuelle. C'est la modélisation numérique qui a notamment permis de mettre en évidence le rôle des courants hélicoïdaux dans la migration updrift (sens opposé au transit littoral), leurs effets tridimensionnels développés au pied de la berge Ouest de la passe en situation de forte vidange participant à l'érosion de celle-ci, comme décrit par AUBREY (1984):

- a) ces courants sont générés par la réorientation brutale des flux de vidange (N-S ou ENE – OSO) contraints, dans la frange littorale, de s'aligner au courant de houle O-E;
- b) ils se développent à l'extrados de la courbure de la passe (rive Ouest) et participent à l'érosion de la rive Ouest, entretenant la courbure de la passe même lorsque celle-ci migre dans le sens opposé au transit.

A l'intrados, se développe une zone d'ombre hydraulique propice à la sédimentation et l'accrétion d'une flèche sableuse. En résulte une migration dans le sens opposé au transit, que le modèle reproduit avec les taux observés dans la nature comme le montre les évolutions des fonds calculées et illustrées en figure 6.

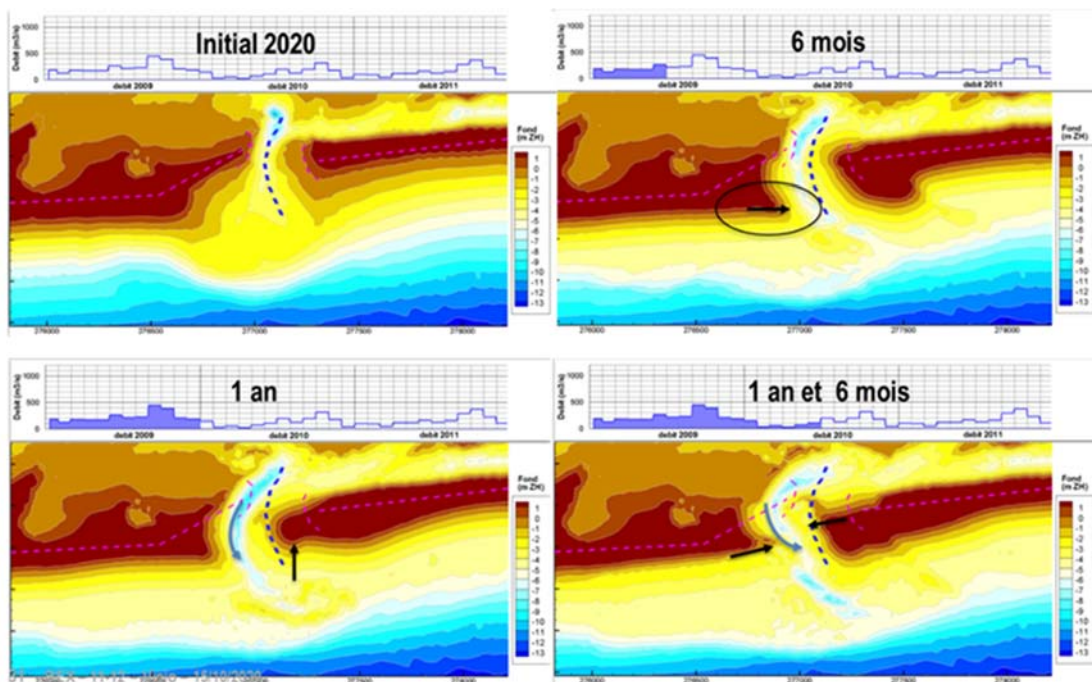


Figure 6. Bathymétrie initiale (état 2020) et bathymétries issues de la modélisation : après 6 mois – après 1 an - après 1 an et 6 mois.

Le modèle a permis également la mise en évidence du rôle du delta de jusant dans le by-pass naturel du transit de part et d'autre du débouché et de l'influence de la position du grau le long du cordon sableux dans le mécanisme de sa migration. La simulation de la morphodynamique du système pour trois (3) localisations différentes (Ouest, Centre et

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

Est) du grau (figure 7.) a montré que le sens et le taux de migration de la passe sont fortement liés à la répartition des flux Est/Ouest de part et d'autre de la passe, entrant ou sortant de la lagune : si le flux Est est supérieur au flux Ouest, la migration opère vers l'Est et inversement ; et plus le déséquilibre est fort, plus la vitesse de migration annuelle est importante. La position Centre, qui est aussi la localisation historique de la passe du temps du comptoir colonial (avant 1965) présente un relatif équilibre et une meilleure stabilité naturelle de la passe, ce qui expliquerait la longévité de la passe historique alors tout juste renforcée sur sa berge Ouest d'un épi déflecteur.

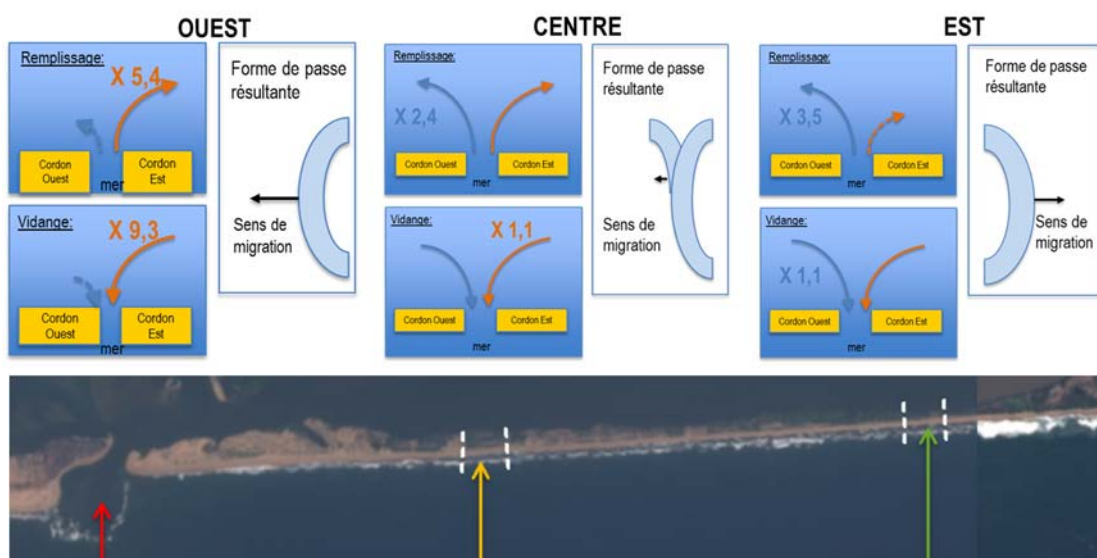


Figure 7. Répartition des flux de part et d'autre de la passe selon sa localisation et sens de migration induit.

3. Gestion intégrée pour l'appropriation et la pérennisation du projet

L'Unité de Gestion du Projet WACA (Ministère en charge de l'Environnement) a œuvré dans les règles de l'art de la GIZC pour garantir l'implication des parties prenantes dans les différentes phases de l'étude, afin de garantir une acceptation et une appropriation de la future solution par les différents acteurs locaux : organisation d'ateliers de restitution et de validation de l'étude scientifique et technique auprès d'un Comité Technique, mise en place d'un Comité de Suivi Local du Projet (figure 8) et organisation de visites de terrain, d'enquêtes, de consultations et d'ateliers de validation à l'issue des phases charnières du projet. L'UGP a également veillé à la prise en compte des effets du changement climatique à l'horizon 2050 et à la promotion de solutions de gestion durable du site dans l'analyse multicritère nourrissant la concertation pour le choix de la solution. Enfin, pour accompagner la mise en œuvre de la solution, l'UGP coordonne les Etudes d'Impacts Environnemental et Social, l'étude d'un système d'alerte précoce, un programme de soutien aux populations par la promotion d'activités génératrices de revenus, un programme de renforcement des capacités pour la conservation des

mangroves ainsi que la mise en œuvre d'un cadre de Politique de Réinstallation et un mécanisme de gestion des plaintes.



Figure 8. Première réunion du Comité Local de Suivi du Projet (CLSP) tenue à Grand Lahou le 20 mai 2021.

4. Choix et dimensionnement de la solution de stabilisation du cordon

A l'issue de la phase de préfaisabilité, le choix de la solution d'aménagement préférentielle du cordon sableux de Grand Lahou a été fait de façon concertée avec les parties prenantes du projet en octobre 2020.

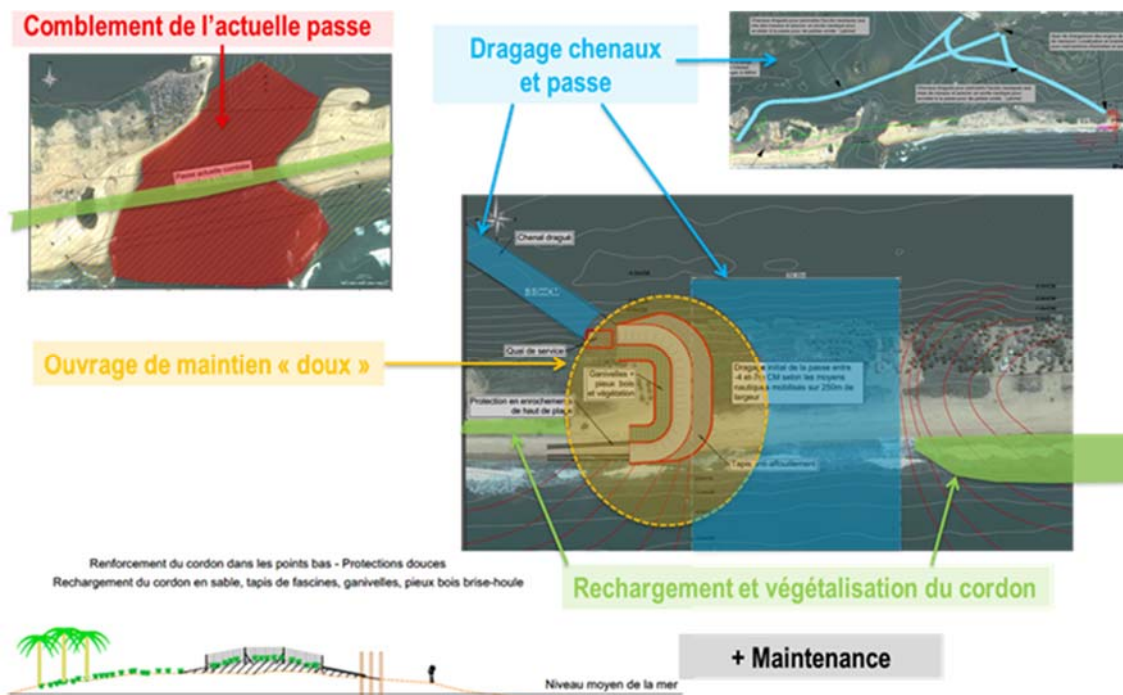


Figure 9. Principes d'aménagement de la solution préférentielle « CENTRE ».

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

Cette solution consiste en cinq (05) composantes illustrées en figure 9 : comblement de la passe actuelle, ouverture d'une nouvelle passe à 2.5 km à l'Est de l'actuelle, ouvrage de maintien de la berge Ouest au moyen de techniques d'ingénierie douce (matelas Réno anti affouillement lesté d'enrochement dans la zone exposée à la houle, figure 10), dragage de chenaux de navigation dans la lagune, rechargement du cordon pour limiter la submersion marine dans les zones basses, composantes soutenues par un poste d'entretien crucial à la pérennité de la solution. Le choix fort a été fait de ne pas interférer avec le transit littoral ni avec la berge Est de la future passe pour préserver au maximum le caractère naturel du cordon, aux dépens d'un accès nautique à la mer à de plus gros navires qu'actuellement. Pour ceux-là, est prônée la possibilité de passer par le canal d'Azagny (moyennant son dragage), la lagune Ebrié et le canal de Vridi.

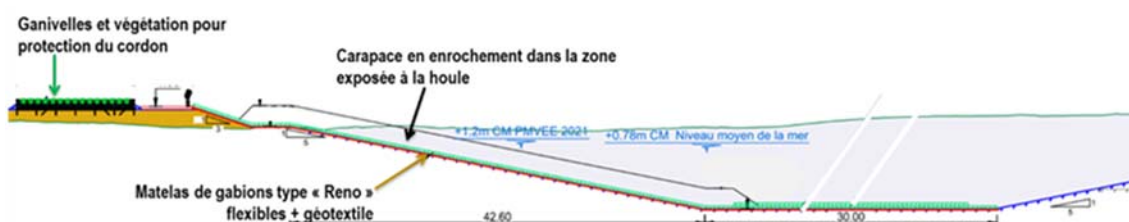


Figure 10. Protection mixte gabions/enrochements de la berge Ouest - section type.

Le dimensionnement de la solution et de ses composantes a nécessité des campagnes de mesures géotechniques et géophysiques, dont la recherche d'obstacle dans les fonds susceptibles d'être dragués. Une étude de phasage de l'ouverture de la nouvelle passe et de la fermeture de l'actuelle, point crucial de la réussite des travaux, a été menée, s'appuyant sur le modèle numérique présenté précédemment. Par ailleurs pour lever les incertitudes de conception relatives aux ouvrages de maintien de la berge Ouest de la nouvelle passe, un modèle physique sédimentologique 3D (à fonds mobiles) a été mis en œuvre (figure 11).



Figure 11. Vue du modèle physique (A) - Vue des fonds de la future passe et de l'ouvrage de maintien de la berge après 3 cycles annuels.

Ce modèle, d'une échelle de réduction en plan de 1/250, s'étend sur une emprise modèle de 20 m selon l'axe Ouest-Est et 5 m selon l'axe Sud-Nord, pour reproduire un linéaire nature de 7 000 m de rivage, jusqu'à des profondeurs de -12 m CM. Il a permis de vérifier la profondeur maximale d'affouillement, les phénomènes d'érosion en limite d'ouvrage, le comportement du tapis anti-affouillement en situation d'érosion des fonds avoisinants, la faisabilité du phasage de fermeture de la passe actuelle identifié par le modèle numérique. Outre son intérêt pour le dimensionnement de l'ouvrage de maintien, le modèle physique est aussi un outil didactique offrant une visualisation réelle des phénomènes et les forçages en jeu dans ce système complexe.

Concernant l'impact des travaux envisagés sur l'évolution du littoral, l'étude a identifié trois grandes problématiques concernant:

- (a) le réalignement du littoral au niveau de la passe actuelle suite à sa fermeture, qui se traduira à terme par une érosion au niveau de Lahou Kpanda et une accrétion devant Singapour et Braffédon. Les modèles (physique et numérique) montrent que ce phénomène est partiellement compensé par la migration vers la côte du volume non dragué du delta de jusant de la passe actuelle suite à sa fermeture. Une expertise de l'évolution du trait de côte à court moyen et long terme en tenant compte des effets du changement climatique (voir figure 12) prévoit un recul du trait de côte au niveau de Lahou Kpanda de 15 m à 15 ans et 35 m à 10 ans, et conclut à la recommandation d'un suivi régulier du littoral, sans rechargement initial mais une provision pour risque de 20 000 m³/an de sable pour l'entretien du cordon et la défense des habitations si besoin, valorisant le sable issu des dragages d'entretien prévus dans l'étude du mode de gestion des travaux de maintenance ;



Figure 12. Expertise de l'évolution du trait de côte à 30 ans au voisinage de l'actuelle passe après comblement.

- (b) le piégeage du transit littoral dans la formation du delta de jusant de la nouvelle passe, et l'érosion temporaire associée en aval. Le modèle physique a permis de quantifier l'évolution du bypass sédimentaire au niveau du delta de jusant et le recul du trait de

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes

côte en berge Est, corroborant les estimations obtenues par le modèle numérique, et définissant ainsi le rechargement de plage préventif aval transit de la nouvelle passe ;
(c) la présence de zones basses du cordon soumises au risque de submersion marine et de création de brèche. Un rechargement en haut de cordon pour rehausser les zones inférieures à 4.8m CM a été recommandé.

Enfin une étude du mode de gestion des travaux de maintenance a été menée pour proposer un cadre assurant la réussite et la durabilité de la solution sur les, moyen et long, termes.

5. Conclusion

La méthode mise en œuvre au cours de l'étude de préfaisabilité afin de trouver une solution pour la stabilisation du cordon sableux du complexe lagunaire de Grand-Lahou, où se rencontrent trois (3) écosystèmes aquatiques (fleuve Bandama, lagune Tagba et océan atlantique) est novatrice. Elle a nécessité des études scientifiques et techniques appuyées par des outils innovants et ambitieux depuis l'évaluation des risques jusqu'au choix de la position « Centre » présentant un relatif équilibre et une meilleure stabilité naturelle de la nouvelle passe. Ces mêmes outils ont permis ensuite le dimensionnement et le phasage de la solution compte tenu des contraintes fortes du milieu : le phasage des opérations de dragage et de remblais et rechargements, l'équilibre remblais-déblais, l'optimisation de l'ouvrage de maintien de la berge Ouest de la nouvelle passe et du tracé des chenaux dans la lagune, ... Enfin, la concertation avec toutes les parties prenantes, la diffusion auprès des parties prenantes des résultats probants pour une validation concertée et une convergence vers la solution préférentielle, a permis de mettre en place un cadre de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) pour la pérennisation des acquis de ce projet d'adaptation et de résilience des populations et de l'environnement du complexe lagunaire de Grand-Lahou face aux changements climatiques.

6. Références bibliographiques

- AUBREY D. G., SPEER P. E. (1984). *Updrift migration of tidal inlets*, The Journal of Geology ; Vol. 92, No. 5, pp. 531-545. <https://doi.org/10.1086/628890>
- BEDEVELOPMENT (2017). *Appui à la préparation du plan d'investissement pour la ville de Grand Lahou, République de Côte d'Ivoire*. Rapport de synthèse – Atelier de validation.
- COCO G., ZHOU Z., VAN MAANEN B., OLABARRIETA M., TINOCO R., TOWNEND I. (2013). *Morphodynamics of tidal networks: Advances and challenges*. Marine Geology, 346, pp 1-16. doi: 10.1016/j.margeo.2013.08.005
- DHI (2015). *Projet d'aménagement et de réhabilitation de l'embouchure du Bandama à Grand-Lahou*. Rapport final.

*XVII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil
Chatou 2022*

KOUASSI P A. (2010). *Stratégies comparées de l'exploitation des plans d'eau lagunaire de Côte-d'Ivoire*. Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux Vol. 251, pp.347-363, <https://doi.org/10.4000/com.6038>

LEMASSON R., REBERT J-P. (1973). *Les courants dans le golfe Ivoirien*. Ed Orstom., sér. Octanogr., L~OI. XI, n° 1, pp 67-95.

https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cahiers/oceanographie/19646.pdf

LOUDART T., WALTHER R., LE DISSEZ A. (2021). *Innovative 3D hydrosedimentary modelling of migrating inlets*. TELEMAC-MASCARET User Conference, October 2021.

<https://hdl.handle.net/20.500.11970/108313>

VAN DER WEGEN M. (2013). *Numerical modeling of the impact of sea level rise on tidal basin morphodynamics*. Journal of Geoph. Research: Earth Surface, 118(2), pp. 447-460. <https://doi.org/10.1002/jgrf.20034>

Thème 6 – Gestion durable des zones littorales et estuariennes