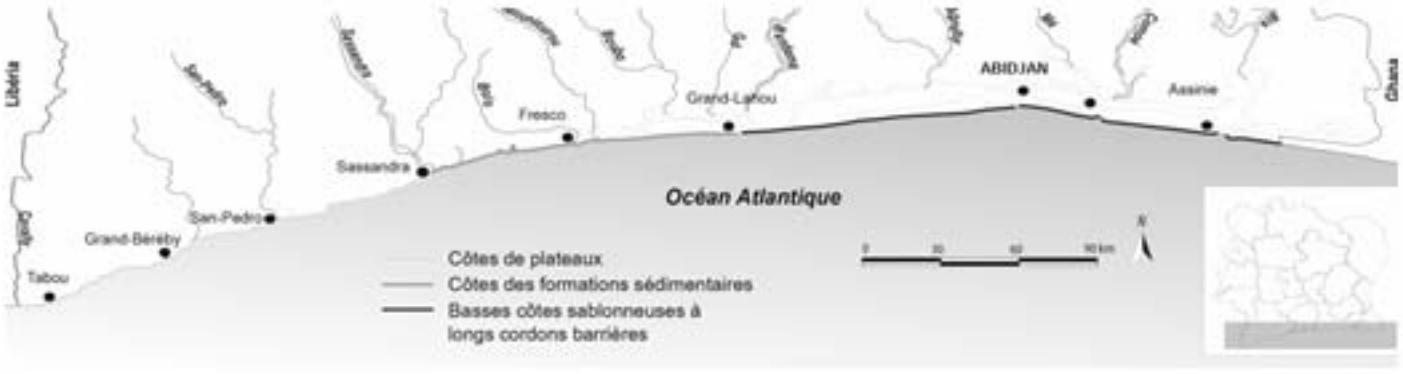
Compte rendu de la mission Néerlandaise sur l'érosion côtière en Côte d'Ivoire





December 2011

Table des Matières

Introduction 4
Impressions des lieux visités 5
Analyse Globale des Processus 14
Plan d'Action 16
Court Terme 16
Moyen Terme 19
Long Terme 20
Recommandations 20
Annexes 23
Liste de contacts 23
Bibliographie 24

Table de Figures

Figure 1: Principaux points chauds du littoral ivoirien 5
Figure 2: Signes d'érosion côtière à Assouindé 6
Figure 3: "Roll over" présent entre Assouindé et Assinie 6
Figure 4: Situation actuelle à Mondoukou 7
Figure 5: Embouchure fermée de la Comoé à Grand Bassam 7
Figure 6: Destruction d'habitations sur les rives de Gonzac, suite à la tempête d'Août 2011 8
Figure 7: Sévère pente observée sur la côte bordant l'autoroute et l'aéroport 9
Figure 8: Proximité de l'autoroute longeant l'aéroport à la mer 9
Figure 9: Destruction de restaurants et d'habitations par une forte érosion côtière 10
Figure 10: Migration de l'embouchure du Bandama depuis 1957 11
Figure 11: Érosion de la rive Ouest de l'embouchure 11
Figure 12: Épi d'arrêt et jetées Ouest et Est respectivement 12
Figure 13: Minage de sable sur les rives de San Pédro 13
Figure 14: Modèle conceptuel de la côte ivoirienne 17

Introduction

L'érosion côtière n'est pas un phénomène nouveau en Côte d'Ivoire. Divers travaux de recherche ont été menés depuis les années 80, la télédétection des régions côtières a fait son entrée dans le pays dans les années 90 et des modèles numériques ont récemment été développés. Cependant, ces connaissances théoriques n'ont jamais pris la forme de projets pratiques. Récentes tempêtes catastrophiques ont entrainé une prise de conscience sur la nécessité de développer des solutions dans une approche intégrée pour limiter les effets négatifs causés par l'érosion. En effet, le taux de recul est maintenant très inquiétant à certains sites, menaçant d'importantes infrastructures (aéroport, raffinerie, habitations, sites industriels). Pour cette raison, le Ministère de l'Environnement et du Développement Durable a reçu la visite d'experts Néerlandais à Abidjan afin de partager leur expertise avec les experts Ivoiriens dans le domaine de l'ingénierie côtière et de développer un plan d'action à court, moyen et long termes.

Impressions des lieux visités

Dans la semaine du 28 Novembre 2011, les principaux points chauds du littoral ivoirien ont été visités. Les points chauds ont été identifiés selon leur importance économique, sociale ou écologique et les enjeux qu'ils représentent dans un schéma directeur du littoral de l'Afrique de l'Ouest développé par l'UEMOA. Les figures suivantes schématisent les principaux points chauds.



Figure 1: Principaux points chauds du littoral ivoirien

29 Novembre 2011 - Est du littoral ivoirien

La partie Est du littoral Ivoirien est caractérisé par une forte population et par la présence d'un cordon situé entre un système lagunaire et le Golfe de Guinée, exposant ainsi le littoral à une importante vulnérabilité à l'érosion côtière.

Assinie et Assouindé

La ville d'Assinie, représentant une importante région touriste pour la Côte d'Ivoire, est particulièrement affectée par l'érosion côtière due à l'étroitesse du cordon. En effet, à certains endroits, le littoral est d'une largeur de seulement 40 mètres. De fortes fluctuations sont présentes, l'érosion est cependant prédominante. Un "roll over" peut aussi être observé, comme le présente la figure ci-dessous. Assouindé détient les mêmes caractéristiques et problèmes qu'Assinie.



Figure 2: Signes d'érosion côtière à Assouindé



Figure 3: "Roll over" présent entre Assouindé et Assinie

Mondoukou

Le littoral à Mondoukou n'expérience pas une érosion aussi importante qu'à Assouindé et Assinie. Cependant, si des travaux allaient être entrepris à Grand Bassam pour ouvrir l'embouchure de la Comoé, la côte risque d'être menacée par de sévères séries d'érosion. La figure suivante illustre la situation actuelle.



Figure 4: Situation actuelle à Mondoukou

Grand Bassam

Comme mentionné plus haut, la ville de Grand Bassam est située à l'embouchure de la Comoé, maintenant fermée depuis 12 ans, créant divers problèmes écologiques dans la lagune. Le minage de sable est également constaté du côté de la lagune, ainsi qu'une importante concentration de déchets de toute sorte en provenance de la mer, comme l'illustre la figure suivante.



Figure 5: Embouchure fermée de la Comoé à Grand Bassam

Gonzac

La ville de Gonzac, située en bordure d'Abidjan, a subi des épisodes de forte érosion, spécialement après une forte tempête survenue en Août 2011; un grand nombre d'habitations a lors été détruit. La route longeant Gonzac, reliant Abidjan à Grand Bassam, n'est maintenant qu'à 100m du littoral. La figure suivante traduit bien la gravité de la situation, et illustre aussi la couverture de déchets présente.



Figure 6: Destruction d'habitations sur les rives de Gonzac, suite à la tempête d'Août 2011

Aéroport

Une forte pente du littoral à cette localisation peut être observée, ainsi qu'un transport littoral réduit. La route longeant l'aéroport n'est maintenant qu'à 80m du littoral, menaçant ainsi d'importantes infrastructures, comme l'illustre la Figure 8. De plus, la construction d'une nouvelle autoroute a été suspendue. En effet, certaines sections déjà tracées se trouvent présentement à 70m de la côte, et prenant en compte l'actuel taux d'érosion, la viabilité du projet est compromise si aucune mesure n'est prise.



Figure 7: Sévère pente observée sur la côte bordant l'autoroute et l'aéroport



Figure 8: Proximité de l'autoroute longeant l'aéroport à la mer

Est du chenal de Vridi

Une forte érosion est observée à cette localisation. Dans les dernières années, des restaurants et des maisons ont été emportés par la mer. Des déchets et ordures sont aussi trouvés.



Figure 9: Destruction de restaurants et d'habitations par une forte érosion côtière

30 Novembre - Centre du littoral ivoirien

Grand Lahou

La ville de Grand Lahou, autrefois située dans la section centrale du littoral ivoirien, a été relocalisée 10 kilomètres plus loin dans les terres. En effet, la migration du chenal a causé une très forte érosion entraînant le déménagement de la majorité de la population. À l'exception de quelques familles de pêcheurs, le site a été déserté, malgré l'énorme potentiel touristique.

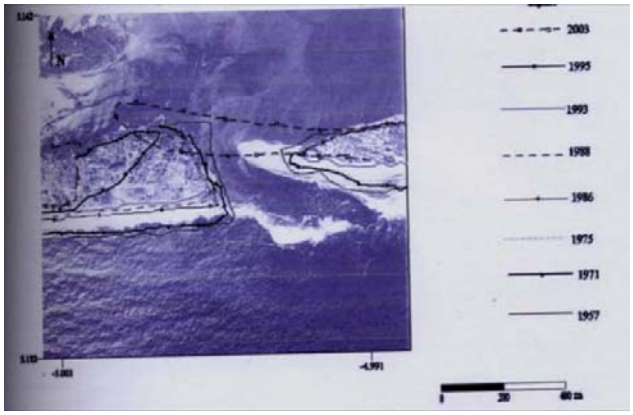


Figure 10: Migration de l'embouchure du Bandama depuis 1957



Figure 11: Érosion de la rive Ouest de l'embouchure

2 Décembre - Ouest du littoral ivoirien

San Pédro

La population de la ville de San Pédro est relativement faible, mais les enjeux économiques dans cette région sont importants, due à la présence du Port de San Pédro, premier exporteur de cacao en Côte d'Ivoire. Cependant, les activités portuaires sont présentement menacées par l'endommagement et la potentielle disparition de l'épi d'arrêt située à l'Ouest du port, ayant pour fonction l'arrêt du transit sédimentaire vers le port. En effet, sa disparition causerait ainsi un apport de sédiment dans le chenal et dans les trois bassins, augmentant la fréquence de dragage et donc le budget de fonctionnement du port. De plus, le port se verrait perturbé par la naissance d'une forte pression sur les deux ouvrages de protection (jetées Ouest et Est). Cette situation comporte de grands enjeux étant donné l'importance des activités économiques de la région.



Figure 12: Épi d'arrêt et jetées Ouest et Est respectivement

Le phénomène naturel d'érosion côtière a aussi causé la disparition de la route d'accès au village de Fanti et de quelques habitations. La situation est cependant aggravée par le minage de sable qui est actuellement autorisé directement sur les rives de San Pédro, ainsi réduisant l'apport sédimentaire des plages avoisinantes, dont certaines représentent un important potentiel touristique.



Figure 13: Minage de sable sur les rives de San Pédro

Analyse Globale des Processus contribuant à l'érosion

Même si les événements de la fin Août 2011 ont directement mené à une forte érosion de souvent des dizaines de mètres, il faut voir ce phénomène comme un symptôme d'une côte déjà affaiblie par une tendance érosive sur le long terme. Déjà après quelques mois, il y avait plusieurs signes de récupération des plages, signe que comme ailleurs, les profiles de plage ont un rythme naturel d'érosion et d'engraissement selon les saisons; les problèmes commencent seulement lorsqu'une tendance moyenne d'érosion est observée.

Les causes les plus importantes de l'érosion structurelle sont:

- Dérivé de transport littoral: quand le transport littoral est constant le long la côte, il ne mène pas à l'érosion, mais quand il y a une différence entre le transport entrant et le transport quittant un trait de côte, un changement de volume et de position de la ligne de côte se produit. Typiquement, ceci se produit près d'épis ou d'autres obstructions (par exemple près du Canal de Vridi, ou le long de côtes très courbés).
- Minage de sable: une cause évidente mais souvent sous-estimée. L'opération ouest de San Pédro est un exemple important.
- Perte au large: normalement très limitée quand on a une pente sous-marine faible, probablement importante près du Trou sans Fond.
- Perte à l'intérieur: par temps de grandes houles et de marées hautes, des ondes "infragravity" forcées par des groupes de vagues peuvent inonder les plages barrières et apporter beaucoup de sédiments à l'intérieur. Même si ça ne constitue pas vraiment une perte de sédiments, le phénomène cause une retraite de la ligne de côte importante sur une grande partie de la côte Ivoirienne. Il est important de noter que si ce processus se passe dans un endroit avec des points fixes, la retraite de la ligne de côte adjacente mène à un dérivé de transport.
- Migration des chenaux: les embouchures des fleuves ont des configurations très variables; à Grand Lahou par exemple, le mouvement du chenal de jusant vers l'Ouest a mené à une érosion de centaines de mètres dans les vingt dernières années.

- La montée du niveau de la mer: ceci peut avoir des conséquences de plus en plus importantes:
  - Pour une côte ininterrompue avec des dunes assez hautes, la "règle de Bruun" peut être appliquée, qui veut dire que pour chaque Z mètre de montée, la retraite de la ligne de côte est de (Z divisé par la pente) mètres.
  - Pour des côtes avec des barrières basses comme sur une grande partie de la Côte d'Ivoire, la transgression des barrières sera accélérée; une règle simple n'est pas facilement donnée, mais peut être trouvée avec un peu de recherche.
  - Les côtes adjacentes d'une embouchure peuvent éroder beaucoup plus rapidement lorsque les surfaces intertidales suivent le niveau de la mer et pour y achever, empruntent des sédiments de la zone littorale.

Dans la table ci-dessous se trouve un résumé de processus que nous estimons être importants pour les différents lieux visités pendant cette mission. Même si à ce moment les descriptions sont plutôt qualitatives, nous espérons que ceci donnera un peu direction à la recherche et à des efforts de quantification.

	Dérivé de transport littoral	Minage de sable	Perte au large	Perte à l'intérieur ('overwash')	Migration de chenal	Montée du niveau de la mer
Assinie/Assouindé	+			+		+
Mondoukou	+					+
Grand Bassam	+	+		+		+
Gonzac	++	++	++			+
Aéroport	++	++	++			+
Canal de Vridi	++		++			+
Grand Lahou	++			+	++	++
San Pédro	++	++				+

+ : processus important ++ processus très important

Plan d'Action

Un plan d'action, incluant des solutions à court, moyen et long termes, a été développé. Les objectifs pour ce plan d'action sont présentés ci -dessous:

- Protection d'infrastructures importantes;
- Protection des riverains;
- Amélioration et soutenance de toutes fonctions des plages en restaurant le bilan sédimentaire;
- Comprendre et modéliser les processus de l'érosion côtière;
- Développer la capacité de concevoir des solutions durables, utilisant le concept de "Bâtir avec la Nature"("Building with Nature").

Court Terme

Une base de données doit être bâtie afin d'avoir une vision globale des phénomènes hydrodynamiques le long de la côte ivoirienne. Les données relatives aux processus physiques doivent être collectées sur une base régulière, afin d'obtenir les tendances à long terme. Elles incluent les niveaux d'eau (houles), ondes et vents, courants et le débit des rivières. Les propriétés initiales des sédiments doivent être enregistrées, ainsi que les volumes annuels de dragage dans le canal de Vridi et au Port de San Pédro. Chaque cinq ans, les lignes de côtes doivent être déterminée à l'aide de photos aériennes, d'images satellites et GPS. Cependant, l'érosion des points chauds doit être surveillée plus fréquemment. De plus, il est important de mesurer la bathymétrie à toute les quelques années, ou plus fréquemment dans les zones plus dynamiques. Les rapports de recherches et de consultants, publications, données, modèles et notes sur les tempêtes devraient être gardés dans le même système de données, afin d'éviter toute confusion ou contradictions entre les chercheurs.

La création d'un modèle conceptuel de l'ensemble de la côte ivoirienne est essentielle pour la compréhension et la quantification du système. Un tel modèle permet l'identification des pertes de sédiments et les besoins sédimentaires pour chaque section de la côte.

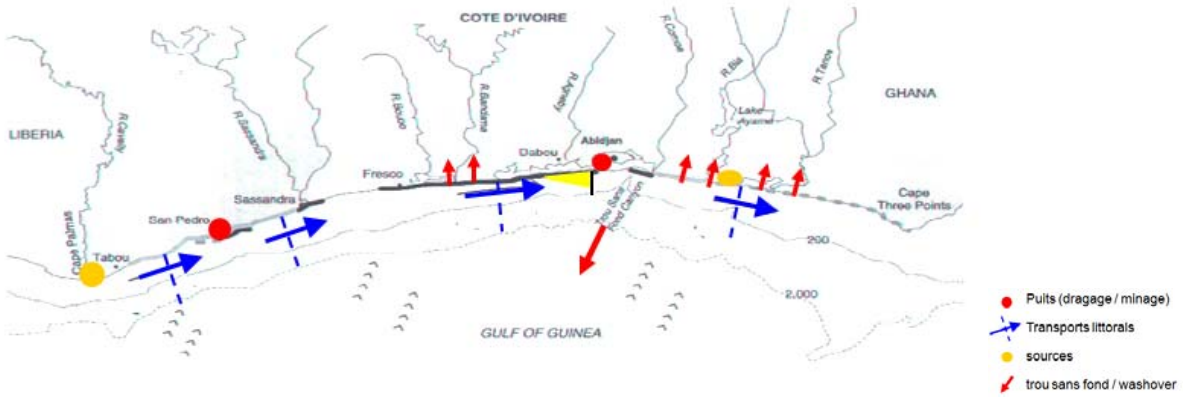


Figure 14: Modèle conceptuel de la côte ivoirienne

Le climat des vagues sur le long de la côte a été identifié comme devant faire l'objet d'une étude prioritaire. Il est important de noter que si les données de vagues ont étés collectées au large, celles-ci doivent être transformées à la zone côtière. Les données prises au large peuvent provenir soit d'une plateforme ou d'un modèle globale des houles.

Il est aussi recommandé de modéliser les lignes de côtes afin de prédire l'évolution de la côte pour les prochaines 10 à 50 années. La première étape serait de procéder à la calibration du modèle à l'aide de données historiques. Des prédictions autonomes peuvent ensuite être entreprises pour les années 2011 jusqu'à 2050. Finalement, des scenarios de prédictions peuvent être développés afin d'analyser les solutions potentielles et de prédire l'effet du changement climatique sur le littoral.

Le logiciel Delft3D à code source libre peut être utilisé pour simuler les marées, les houles et le débit des rivières ainsi que leur embouchure situées le long de la côte ivoirienne. Un tel outil de modélisation permet aussi de prédire la qualité de l'eau dans la lagune et le transport sédimentaire. La modélisation détaillée des points chauds (procédés hydrodynamiques, transport de sédiments et morphologie) peut aussi être effectué par Delft3D afin d'évaluer les impacts de brise-lames, de travaux de dragage et de rechargement des plages par exemple. De plus, il est préférable d'utiliser XBeach pour simuler les impacts dues aux tempêtes, étant donné la possibilité de modéliser l'évolution des profiles de côtes.

Les travaux suivants sont proposés:

- Création d'une base de données marine;
- Dérivation du climat des houles;
- Modèle conceptuel;
- Développement d'un modèle unidimensionnel de la côte;
- Développement d'un modèle côtier incluant les embouchures, les lagunes, le trou sans fond, etc.
- Modélisation des points chauds:
    - Hydrodynamique, transport sédimentaire et morphologie détaillés
    - Impact de tempêtes sur les profiles de plage

Les projets prioritaires, représentant les enjeux les plus importants, ont été identifiés comme étant ceux de l'Aéroport, de Port Bouet et Grand Bassam.

Moyen Terme

Les activités à effectuer au moyen terme sont identifiés ci-dessous:

- Institution d'observations systématiques;

  Effectuer et analyser les mesures de terrains et développer la connaissance des procédés. Mettre en place une prise de mesures continue du niveau d'eau (par exemple des stations de niveau d'eau dans les lagunes), des bouées et des centrales éoliennes. Diffuser les données dans les universités et instituts afin de partager les connaissances et les idées que ces données fournissent.

- Développement de capacité en modélisation;

  Éduquer le personnel dans l'application et l'interprétation des modèles mathématiques. Suivre des cours de modélisation.

- Création d'une Unité de Gestion Côtière;

  Développer une Unité de Gestion Côtière incluant la participation de membres provenant de différents Ministères, alimenté par les experts d'universités et de centres de recherche.

- Développement d'un Plan de Gestion Côtière et une Loi de la Côte, encadrée dans des arrangements internationaux;

  L'Unité de Gestion Côtière devrait développer un plan et une législation côtière afin de concevoir, construire et surveiller les interventions côtières.

- Institution de collaborations avec des pays voisins, échanges de données etc.;

  Contacter les pays voisins et faire un inventaire de leurs travaux et projets reliés au littoral.

- Évaluation continue des projets entamés.

  Apprendre de projets entrepris et en dériver des leçons de ces expériences.

Long Terme

À long terme, les activités suivantes sont recommandées:

- Institution d'un Observatoire Côtier;
- Formulation d'une stratégie par rapport au changement du climat et la montée du niveau de la mer.

  Les scenarios du changement climatique du 21e siècle démontrent une importante montée du niveau de la mer avec un maximum de 0.79m (par rapport à 1990), alors qu'une augmentation de la fréquence et de l'intensité des tempêtes est attendue (IPCC, 2007). De plus, il est probable que les conditions de vagues moyennes augmentent avec la hauteur moyenne des vagues et un changement dans la direction moyenne des vagues. Le changement climatique est également susceptible d'entraîner d'importantes variations futures du débit moyen et extrême des rivières qui pourraient affecter la position du littoral. La majorité ou la totalité de ces effets sont susceptibles d'avoir des impacts socio-économiques importants sur les communautés côtières de la Côte d'Ivoire.

Recommandations

Les actions proposées ci-dessus sont recommandées afin de mieux comprendre le système côtier. Par la suite, les mesures peuvent être soigneusement évaluées avant de construire les solutions. Les actions décrites dans le plan d'action à court, moyen et long termes peuvent commencer simultanément, mais nécessitent une attention particulière et une évaluation fréquente des progrès. Si nécessaire, UNESCO-IHE/Deltares peut participer dans le démarrage de ces activités et partager leurs expériences par rapport aux côtes visitées dans différents pays. UNESCO-IHE/Deltares se plairont de fournir plus amples détails sur les études proposées, notamment la planification et les coûts.

Concernant les trois points chauds qui ont été inspectés durant la semaine de visites des différentes régions côtières de la Côte d'Ivoire, il est recommandé d'investiguer les différentes solutions aux différents problèmes. Certains détails sont exprimés ci-dessous:

Point Chaud 1: Aéroport - Autoroute

Il est évident que ce site représente un problème urgent qui devra être adressé dans un futur proche. Il est recommandé de démarrer la collection de données axée sur le recueil de données marines et historiques, d'échantillons sédimentaires, de conditions météorologiques, etc. Basé sur ces données, un modèle conceptuel de cette section du littoral peut être développé, incluant le Canal de Vridi et le Trou sans Fond. Un modèle numérique est grandement recommandé afin d'étudier les différentes alternatives, i.e. rechargements des plages, épis ou une combinaison des deux. Une tâche importante devrait être la recherche de sources appropriées de sable, soit dans la lagune, dans le trait de côte de l'Ouest du Canal de Vridi ou sur le fond marin au large des côtes. Les entreprises de dragage devraient être contactées pour leur expérience et leurs capacités en Afrique de l'Ouest.

Durée typique d'une telle étude: 3-6 mois.

Point Chaud 2: Grand Bassam

La fermeture de l'embouchure de la Comoé a des conséquences potentiellement importantes pour l'écosystème de la lagune due à la décharge d'eau douce passant par la lagune au lieu de par l'embouchure. L'écosystème s'adapte lentement à l'eau douce. La réouverture de l'embouchure aurait un impact important sur l'écosystème actuel et doit être étudiée. Les effets sur l'écosystème lagunaire ainsi que sur les plages adjacentes et le littoral doivent être étudiés avant la prise de décision. Il est recommandé de développer un modèle numérique pour cette zone pour être en mesure d'évaluer les changements de salinité dans lagune et les effets d'érosion sur le littoral adjacent.

Durée typique d'une telle étude: 2-4 mois.

Point Chaud 3: Port de San Pédro

La sédimentation observée au tombolo et près de la structure semble avoir diminué l'apport en sédiments de la zone portuaire. Ceci peut conduire à l'érosion du niveau du lit à proximité du brise-lames principal. Si un tel phénomène se produisait, le brise-lames risquerait d'être endommagé par l'exposition à de plus hautes vagues. Il est recommandé d'investiguer ces hypothèses en commençant par la collecte de données locales, de sondages, de conditions météos et marines, de données de dragage, etc. L'analyse de données et un modèle conceptuel permettra de mieux saisir les causes principales de la sédimentation, et donc d'érosion. Il est recommandé de développer un modèle numérique pour évaluer la situation actuelle et pour prévoir les tendances futures. Un tel modèle peut facilement être utilisé pour simuler et évaluer des mesures alternatives dans le secteur du port.

Durée typique d'une telle étude: 2-4 mois.

Nous croyons que les trois points chauds décrits ci-haut sont les plus urgents, bien que Grand-Lahou et l'est du Canal de Vridi sont aussi soumis à une importante érosion.

IHE/Deltares se plairont de fournir plus amples détails sur les études proposées, notamment la planification et les coûts.

Annexes

Liste de contacts

NOM ET PRÉNOM	FONCTION	CONTACTS	EMAIL
Loukou Yao Guillaume	Directeur de cabinet	90910876	gylouk@africaonline.co.ci
Ambassadeur Jeanne Guehe	Conseiller Technique	04472520	jeanneouleguehe@gmail.com
Prof. Ochou Abé Delfin	DG Environnement	08260809	ochouad@yahoo.com
Diby Martin	Directeur CIAPOL	08055731	dibmartino@yahoo.fr
Pr. Affian Kouadio	Doyen UFR des Sciences de la Terre et des Ressources Minière	05836909	k_affian@yahoo.fr
Dr. Koffi Koffi Philibert	Représentant du CRO	05718209	phikokour@yahoo.fr
Yao K. Salomon	Doctorant - CRO	07354469	yksalomon3@yahoo.fr
Dagoua Eric Valère	Représentant du CURAT	05474480	vdjagoua@yahoo.fr
Boussou Keontin Bako	Chef de service - CIAPOL	07568517	Bako3leo@yahoo.fr
Pr. Hauhouot Assepo	Représentant de l'Institut de Géographie Tropicale de l'Université de Cocody	07847396	c_hauhouot@yahoo.fr
Lombardo Cédric	Be Development	06721150	cedric@bedevelopment.net
Sombo Tano	Directeur Protection de la Nature	07615712	sombotano@yahoo.fr
Roelvink Dano	Prof. d'ingénierie côtière - Unesco-IHE	+31629284473	d.roelvink@unesco-ihe.org
Luijendijk Arjen	Ingénieur côtier - Deltares	+31652063780	arjen.luijendijk@deltares.nl
Van Bruggen Frits	Premier Secrétaire - Ambassade des Pays-Bas	58086706	frits-van.bruggen@minbuza.nl
Blouin Noémie	MSc. Unesco-IHE	+31683592995	bloui1@unesco-ihe.org

Bibliographie

Références disponibles:

- **Abe** J. et al., 1993, Morphologie et hydrodynamique à l'embouchure du fleuve Bandama.
- **Abe** J., 2002. Cote d'Ivoire Coastal Zone Phase 1: Integrated Environmental Problem.
- **Abe** J., 1995, Influence des structures de protection d'un canal portuaire sur la morphologie de la côte: le Canal de Vridi en Côte d'Ivoire.
- **Jallow** B. et al, 1999. Coastal zone of the Gambia and the Abidjan region in Cote d'Ivoire: sea level rise vulnerability, response strategies, and adaption options, Climate Research.
- **Tastet** J.P. et al, 1985, La dynamique sédimentaire littorale devant Abidjan: Impact des aménagements.
- **UEMOA**, 2010. Schéma directeur: Étude du suivi du trait de cote et schéma directeur du littoral d'Afrique de l'Ouest.
- **Varlet, H. ,** 1958, Usines hydrauliques, Paris, Eyrolles.
- **Wognin**, 2005. Grand-Lahoe, Africa Geoscience Review.
- **Yao**, S., 2009, Dynamique d'un périmètre littoral portuaire: La côte de San-Pédro, Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire.

Présentations:

- **Affian**, Érosion en Côte d'Ivoire: une vision synthétique.
- **CRO,** Impacts des marées de tempête du 30 Août au 2 Septembre 2011 sur le littoral de Port-Bouet et Assinie
- **Lombrado**, Réflexion pour un programme intégré de valorisation de l'estuaire de la Comoé et de protection littoral.

Memos par Pr. Affian:

- Débit des fleuves qui se jettent dans la lagune Ebrie
- Localisation du fleuve Comoé
- Profil de plage à l'embouchure de la Comoé à Grand Bassam