



**HAL**  
open science

# Dynamique morphosédimentaire d'un segment côtier sableux: du Lycée Léon Mba (Libreville) à La Sablière (Baie d'Akouango)

Vivino Max Thierry Mouyalou

► **To cite this version:**

Vivino Max Thierry Mouyalou. Dynamique morphosédimentaire d'un segment côtier sableux: du Lycée Léon Mba (Libreville) à La Sablière (Baie d'Akouango). Géographie. Université Omar Bongo, Libreville., 2017. Français. NNT: . tel-01772394

**HAL Id: tel-01772394**

**<https://theses.hal.science/tel-01772394>**

Submitted on 20 Apr 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Université Omar Bongo  
Faculté des Lettres et Sciences Humaines  
Département de Géographie



Laboratoire d'Analyse Spatiale et des Environnements Tropicaux (LANASPET)

FORMATION DOCTORALE EN « SCIENCES GEOGRAPHIQUES »

THESE

en vue de l'obtention du grade de  
Docteur de l'Université Omar Bongo

Discipline : GEOMORPHOLOGIE LITTORALE

**Dynamique morphosédimentaire d'un segment  
côtier sableux: du Lycée Léon Mba (Libreville)  
à La Sablière (Baie d'Akouango)**

Présentée et soutenue publiquement le 14 juillet 2017 par :

**Vivino Max Thierry MOUYALOU**

Sous la direction de :

Jean Bernard MOMBO, Maître de Conférences CAMES, Université Omar Bongo.

**Membres du Jury**

Gilbert DAVID	Directeur de Recherche HDR, IRD, Montpellier (France)	Président
Mesmin TCHINDJANG	Professeur, Université de Yaoundé I (Cameroun)	Rapporteur 1
Jean Damien MALOBA MAKANGA	Maître de Conférences CAMES, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon)	Rapporteur 2
Jean Bernard MOMBO	Maître de Conférences CAMES, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon)	Directeur de thèse

**Année Universitaire 2016-2017**





Université Omar Bongo  
Faculté des Lettres et Sciences Humaines  
Département de Géographie



Laboratoire d'Analyse Spatiale et des Environnements Tropicaux (LANASPET)

FORMATION DOCTORALE EN « SCIENCES GEOGRAPHIQUES »

THESE

en vue de l'obtention du grade de  
Docteur de l'Université Omar Bongo

Discipline : GEOMORPHOLOGIE LITTORALE

**Dynamique morphosédimentaire d'un segment  
côtier sableux: du Lycée Léon Mba (Libreville)  
à La Sablière (Baie d'Akouango)**

Présentée et soutenue publiquement le 14 juillet 2017 par :

**Vivino Max Thierry MOUYALOU**

Sous la direction de :

Jean Bernard MOMBO, Maître de Conférences CAMES, Université Omar Bongo.

**Membres du Jury**

Gilbert DAVID	Directeur de Recherche HDR, IRD, Montpellier (France)	Président
Mesmin TCHINDJANG	Professeur, Université de Yaoundé I (Cameroun)	Rapporteur 1
Jean Damien MALOBA MAKANGA	Maître de Conférences CAMES, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon)	Rapporteur 2
Jean Bernard MOMBO	Maître de Conférences CAMES, Université Omar Bongo, Libreville (Gabon)	Directeur de thèse

**Année Universitaire 2016-2017**

## SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE.....	8
PREMIERE PARTIE :LE CONTEXTE PHYSIQUE ET D'APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA COTE NORD DE LIBREVILLE .....	21
Chapitre 1 : Cadre physique de l'étude .....	23
Chapitre 2 : Les agents de la dynamique.....	41
Chapitre 3 : Les méthodes et techniques d'analyse.....	78
DEUXIEME PARTIE : LES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DE LA PLAGE INTERTIDALE DE LA COTE NORD DE LIBREVILLE.....	109
chapitre 4 : Evolution morphosédimentaire de la plage intertidale de 2012 à 2015 .....	111
Chapitre 5: Cinématique du trait de côte de l'hotel Dialogue à la Baie d'akouango de 1977 à 2013	151
TROISIEME PARTIE : LES PARAMETRES SEDIMENTOLOGIQUES DE LA PLAGE INTERTIDALE DE LA COTE NORD DE LIBREVILLE.....	168
Chapitre 6: Les indices paramétriques des sédiments superficiels de la plage intertidale .....	170
Chapitre 7 : Les classes granulométriques des sédiments superficiels de la plage intertidale	193
Chapitre 8 : Approche modale de l'analyse granulométrique des sédiments superficiels de la plage intertidale .....	229
Chapitre 9 : Morphoscopie, minéralogie et calcimétrie des sédiments superficiels de la plage intertidale.....	257
CONCLUSION GENERALE .....	274
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	286
Annexes .....	304
Table des figures .....	320
Table des tableaux .....	327
Table des photos.....	330
Table des annexes.....	333
Table des matières .....	334

## **LISTE DES SIGLES, ABREVIATIONS ET ACRONYMES**

AFNOR : Association Française de Normalisation

Akouango V : Complexe touristique Akouango Village

Base GR: Base de la Garde Républicaine

BM : Bimodal

BP : Bas de Plage

CaCO<sub>3</sub> : Carbonates de calcium

CEFREM : Centre de Formation et de Recherché sur les Environnements Méditerranéens.

CENAREST : Centre National de la Recherche Scientifique et Technologiques.

CES : Conseil Economique et Social

CG : Classe Granulométrique

CGSF : Classes Granulométriques Sable Fin

CGSTF : Classes Granulométriques Sable Très Fin

CIO : Convergence Interocéanique

CM : Classe Modale

CM : Caractère Modal

CNDIO : Centre National des Données et de l'Information Océanographiques.

DESMAR : Département des Sciences Marines

DGM : Direction Générale de la Météorologie.

DGPS: *Differential Global positional System*

DPM : Domaine Publique Maritime

DSAS: Digital Shoreline Analysis System

EL : E moussé-Luisant

EPR: *End Point Rate* (méthode des points extrêmes)

FIT : Front Intertropical

FN : Fil Niveleur

FSB ; Fil stadimétrique inférieur

FSH : Fil stadimétrique supérieur

G : Gravier

GPM : Gabon Port Management.

H. Tropicana : Hôtel Tropicana

HP : Haut de Plage

IGARUN : Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes

IGN : Institut Géographique National

INC : Institut National de Cartographie

LRR: *Linear Regression Rates* (taux de régression linéaire)

Lycée\_E : Lycée d'Etat de l'estuaire

MNT : Modèle numérique de terrain

MP : Moyenne Plage

NO : Nord-Ouest

NU : Non-Usé.

R. Otendé\_RD: Rive droite de la rivière Otendé

R. Otendé\_RG : Rive gauche de la rivière Otendé

R. Simba 1-RD : Rive droite de la rivière Simba 1

R. Simba 1-RG : Rive gauche de la rivière Simba 1

R. Simba aval : Aval de la rivière Simba

RM: Rond-Mat

RTK: *Real Time Kinematic*

RX : Rayons X

S. Kalikak : Sortie du quartier kalikak

SE : Sud-Est

SG : Sable Grossier

SIG : Système d'Information Géographique.

SM : Sable Moyen

SO : Sud-Ouest

SSE : Sud-Sud-Est

STF : Sable Très Fin

STG : Sable Très Grossier

TM : Trimodal

TS : Type Sédimentaire

UM : Unimodal

Villa enr : Villa protégée par des enrochements

Villa\_P\_PR : Villa privée du Président de la République

ZCIT : Zone de convergence intertropicale.

# **DEDICACE**

Je dédie ce travail à mes parents pour les nombreux sacrifices.

## REMERCIEMENTS

De toutes les pages qui constituent une thèse de doctorat, celles dédiées aux remerciements sont sans doute les plus délicates à écrire. En effet, bien que la thèse de doctorat soit un exercice individuel, elle est également le résultat des rencontres et des collaborations. Ainsi, c'est au nom de cette reconnaissance qu'on ne désire oublier personne dans les remerciements. Que ceux qui ne figurent pas dans cette liste me pardonnent.

Je tiens ainsi à remercier en premier lieu le Pr Jean Bernard MOMBO, le Directeur bienveillant de cette thèse, pour m'avoir fait confiance. Je le remercie doublement pour ses relectures nombreuses, et attentives, ainsi que pour ses conseils avisés et ses encouragements. Je remercie les membres du jury et plus particulièrement le Pr Gilbert DAVID qui me fait l'honneur de présider mon jury de soutenance. Mes remerciements vont également à l'endroit du Pr Jean Damien MALOBA MAKANGA et le Pr Mesmin TCHINDJANG pour avoir accepté la charge de rapporteurs.

Je remercie le Dr Magloir-Désiré MOUNGANGA pour m'avoir motivé dans ce travail de thèse, mais aussi les orientations des objets et objectifs de cette thèse au cours de nos nombreux moments d'échanges sur les plages gabonaises.

Je tiens également à exprimer les remerciements auxquels ont droit les personnes qui ont contribué à l'effort de mesure des profils de plages sur le site de La Sablière au compte du programme Dynamique Côtière du Département des Sciences Marines (DESMAR) de l'Institut de Recherche en Sciences Humaine (IRSH). Il s'agit de Propice ANGO MOUGOUBA, Auguste Paulin MBONDA, Hervé KOUMBI TETY et Brice Didier KOUMBA MABERT.

Je tiens à remercier très sincèrement l'équipe LMUSCA (*Littoral Multi Scale Analysis*) du Laboratoire CEFREM de l'Université Via Domitia de Perpignan pour sa contribution à la réalisation de ce travail : Raphael CERTAIN pour les orientations en lien avec la gestion des sédiments, Thierry COURP pour les analyse au RX, le Professeur émérite Jean Paul BARUSSEAU pour les analyses granulométriques et modales, le Professeur Pierre GIRESE pour la morphoscopie des grains de quartz et, enfin Nicolas ROBIN pour les outils de traitements granulométriques.

Je dis grand merci aux chercheurs de l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes (IGARUN). Au Pr Paul FATTAL et à Patrick POTTIER pour avoir rendu possible mes séjours scientifiques au laboratoire LETG-Nantes Géolittomer, UMR 6554-CNRS. À Mohamed MAANAN pour ses conseils lors des analyses en laboratoire.

À Marianne MEURGUES et Nicolas ROLLO pour la prise en main des équipements de topographie. À Baptiste LE MAUFF pour les échanges sur la corrélation des bilans sédimentaires aux flux énergétiques de la houle au large.

Un grand merci à Samuel ETIENNE de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes (EPHE) de Dinard (France) pour m'avoir permis de participer au Stage de géomorphologie et environnement littoral de l'EPHE de Dinard.

Je dis également merci au Dr Kouadio Salomon YAO, de l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody (Côte d'Ivoire) pour sa contribution dans l'étude des sédiments.

J'adresse mes sincères remerciements à Grégoire ABESSOLO et Raphael ONGUENE, de l'Université de Douala, pour leur contribution dans le calcul des bilans sédimentaires. Merci également à toi Arcade BOUKA (Bozizi) pour avoir mis à notre disposition ton équipement de topographie.

Je tiens à exprimer ma gratitude à Zéphirin MENIE OVONO de l'Ecole Normale Supérieure (ENS) de Libreville, pour son aide combien précieuse dans l'analyse de la cinématique du trait de côte. Je dis merci à Brice Didier KOUMBA MABERT pour son soutien dans l'élaboration des cartes. À titre posthume, que le Dr Julien MOMBE NGUEMA et Louis Georges INDJELE ADOUBOUA soient aussi honorés pour leurs actions diverses.

Je tiens à remercier très chaleureusement tous les membres du Département des Sciences Marines (DESMAR) de l'Institut de Recherche en Sciences Humaines (IRSH) pour l'esprit d'équipe.

*In fine*, je tiens à remercier ma famille et particulièrement mon épouse pour son soutien au quotidien.

# **INTRODUCTION GENERALE**

La côte est le lieu de rencontre entre le continent, l'océan et l'atmosphère. Ces trois environnements, contrôlés par de multiples processus physiques, interagissent au niveau du littoral (Carter, 1988 ; Boak et Turner, 2005). Les processus évoluent à différentes échelles spatio-temporelles jusqu'aux étroites interactions qui existent entre le fluide et le sédiment (Van Rijn, 1986). La plupart des plages sableuses sont en « équilibre dynamique » entre les processus d'érosion et d'accumulation (Bird, 1996 ; Cartier, 2011). Les estrans sableux sont des systèmes dynamiques qui peuvent être « stables », subir une érosion, ou bien avoir tendance à s'engraisser selon les forçages naturels et anthropiques (Paskoff, 1998 ; Paskoff, 2005 ; Paskoff et Clus-Auby, 2007), auxquels ils sont soumis. Dans le golfe de Guinée, ces processus sont bien visibles sur les côtes sableuses (Guilcher, 1954a ; Mombo et *al.*, 2000 ; Mombo et *al.*, 2007 ; MOUNGANGA, 2013), même si de nos jours la grande tendance est à l'érosion généralisée. Cette tendance sera davantage aggraver sous l'effet des changements climatiques (Paskoff, 1998 ; Peyrot, 2004 ; Esteves et *al.*, 2011).

En ce qui concerne le forçage naturel, l'explication serait dans la conjugaison de plusieurs principaux facteurs. Primo, il s'agit d'une pénurie de sédiments enregistrée depuis la fin de la transgression postglaciaire, il y a environ 6000 ans B.P. ; transgression qui a engendrée la baisse de la compétence des fleuves côtiers à charrier d'énormes quantités de sédiments (Delibrias et *al.*, 1973 ; Giresse et Moguedet, 1980 ; Giresse, 1989). Secundo, il s'agit de la variabilité des conditions hydrométéorologiques et, enfin tertio, il y a la remontée du niveau marin (Pirazzoli, 1993 ; Paskoff, 2001 ; Meur-Férec, 2006). À ces causes naturelles, s'ajoutent les multiples actions anthropiques, telles que le piégeage des sédiments par les barrages hydroélectriques le long des fleuves pourvoyeurs de sédiments, l'extraction de granulats côtiers et marins, l'érection des infrastructures de transport et des ouvrages divers sur le haut de plage et dans les zones de transferts sédimentaires. Tous ces facteurs participent aux déséquilibres de la dynamique sédimentaire et amplifient, de ce fait, le phénomène d'érosion côtière.

## **1. Objet de l'étude**

Les plages sableuses sont parmi les milieux les plus largement étudiés dans l'analyse des processus en géomorphologie littorale. Une caractéristique fondamentale de ces environnements sédimentaires est leur dynamique oscillant entre phase d'érosion et d'engraissement. Le présent travail a pour objet l'étude de la dynamique morphosédimentaire

des plages intertidales situées sur la rive droite de l'estuaire du Komo. Géomorphologiquement, il s'agit de l'unité de plage sableuse limitée au Sud par l'épi de l'hôtel Dialogue et au Nord par le Cap Santa Clara.

## **2. Champs de l'étude**

Notre étude intitulée « Dynamique morphosédimentaire d'un segment côtier sableux : du lycée Léon Mba (Libreville) à La Salière (Baie d'Akouango) » s'inscrit dans plusieurs champs disciplinaires. Cette pluridisciplinarité est exigée par la complexité de la zone côtière, dont la dynamique est régie par l'interaction de multiples forçages naturels et anthropiques. Cette complexité impose l'utilisation de multiples méthodes complémentaires dans le but d'améliorer la compréhension des différents mécanismes qui régissent le secteur côtier étudié. Trois grands champs disciplinaires se trouvent au cœur de notre analyse.

Le premier champ est géographique. Il s'agit de la géographie physique, qui aborde les questions de géomorphologie littorale (Pinot, 1991). Cette approche de la géographie physique du littoral en milieu sédimentaire a été d'un apport conséquent dans le domaine de la morphologie. Elle porte sur l'étude des profils de plage, le suivi du trait de côte et l'estimation des bilans sédimentaires. À ces éléments de morphologie, il faut ajouter le traitement des questions d'environnement, d'espace, de territoire, de mutations spatiales (Guyot, 2003). La géographie a également été utilisée en tant que science sociale à travers l'utilisation des conclusions de ce travail pour les aspects socio-économiques en lien avec la mise en place d'un plan de gestion et d'aménagement de la zone côtière.

Le deuxième champ est géologique, pour les questions d'analyse sédimentologique. Il s'agit notamment de la granulométrie, la morphoscopie, la minéralogie et, enfin, la calcimétrie.

## **3. Choix et intérêt scientifique de l'étude**

De par leur position à la frontière du continent et de l'océan, les zones côtières forment des interfaces très dynamiques et qui restent encore mal connues à l'heure actuelle. De plus, la dégradation des plages par l'érosion côtière entraîne des conséquences dommageables sur des nombreuses activités socio-économiques. De ce fait, la compréhension de la dynamique côtière représente un vaste domaine d'investigation pour la recherche fondamentale et les sciences naturelles à travers l'analyse des processus dynamiques, les constituants du milieu et leurs interactions mutuelles. Dans ce contexte, les sujets de recherche fondamentale sur les

milieux côtiers rejoignent les intérêts sociaux, économiques et stratégiques. Il apparaît clairement qu'une meilleure connaissance de la dynamique morphosédimentaire des environnements côtiers permet un développement plus harmonieux et plus durable des activités socio-économiques dans ces zones frontières dynamiques.

Le choix du sujet au cœur de notre travail de recherche se justifie par le caractère préoccupant que constitue la manifestation de l'aléa érosion côtière sur les plages du Gabon en général, et celles de Libreville en particulier. Au Gabon, la problématique de l'érosion côtière n'est pas nouvelle et a fait l'objet de travaux de recherche autour des aspects de géologie, géomorphologie, biogéographie et de développement durable en zone côtière (Bonfille, 1964 ; Giresse, 1969 ; Mombo, 1991 ; Mombé Nguema, 2000 ; MOUNGANGA, 2001 ; Ondo Assoumou, 2006 ; Rabenkogo, 2007 ; Menié Ovono, 2010). Cependant, en dépit de cette littérature, de nombreuses zones d'ombre demeurent toujours sur la compréhension de la dynamique morphosédimentaire des plages sableuses. Ce phénomène, bien qu'étant constant dans le temps, certains événements paroxysmiques viennent régulièrement rappeler la fragilité de l'espace côtier aux attaques de la mer (Pilkey and Hume, 2001 ; Di Stefano et *al.*, 2013) et, donc, de la nécessité de disposer d'informations convenables sur la dynamique du trait de côte, particulièrement dans les environnements où l'érosion se manifeste avec acuité.

Le secteur littoral du Nord de Libreville à la Baie d'Akouango présente un grand intérêt pour notre travail de recherche. Cela se justifie à plus d'un titre. Tout d'abord à cause du fait qu'au cours des plusieurs décennies, de grands changements y ont été enregistrés, suite à d'importants reculs du trait de côte mettant en péril de nombreux enjeux (Mombé Nguema, 2000, MOUNGANGA, 2001). Ensuite, c'est la dernière unité de plages sableuses d'importance pour l'ensemble des plages de Libreville et Akanda. Il convient alors d'améliorer l'état des connaissances sur les processus de transport et de sédimentation sur ces plages sableuses, qui présentent déjà de nombreux indices de vulnérabilité en lien avec les dispositions actuelles en termes d'occupation de l'espace. À titre d'exemple, la plage du Lycée Léon Mba, qui est l'espace récréatif et de loisir le plus important de Libreville et ses environs, souffre de nos jours d'un inquiétant démaigrissement. À cet espace de loisir, il faut ajouter les infrastructures et activités socio-économiques situées sur le boulevard du bord de mer et la zone résidentielle de La Sablière dans la Baie d'Akouango, qui sont menacés par le recul du trait de côte.

Au vue de cette situation, l'érosion côtière constitue de fait un risque qu'il convient de prendre en compte dans le cadre d'une politique globale centrée autour d'un plan de gestion et d'aménagement de la zone côtière en général, et particulièrement dans les secteurs soumis à

l'érosion côtière (Mombo, 2005 ; Mombo et *al.*, 2007 ; Mounanga, 2013). Notre travail de recherche s'inscrit dans ce contexte.

#### **4. Problématique**

La mobilité du trait de côte est un problème très complexe, du fait que la zone côtière est le siège de fortes interactions entre les forçages climatiques et anthropiques. Ces interactions créent une grande variété des conditions de forçage, à diverses échelles spatio-temporelles responsables de la dynamique côtière (Reeve and Spivack, 2004). De ce fait, la gestion d'une concentration accrue de population pourrait devenir préoccupante en termes d'organisation spatiale dans un contexte aggravant des changements climatiques (Rahmstorf, 2007), où l'élévation du niveau moyen de la mer sera vraisemblablement responsable de multiples bouleversements agissant directement sur l'hydrodynamisme et la sédimentation (Bruun, 1962 ; Camfield et Morang, 1996 ; Zhang et *al.*, 2004 ; Church and White, 2006 ; Nicholls et *al.*, 2007 ; Ranga Rao et *al.*, 2009 ; Birrien, 2013).

Ainsi, le but de cette recherche est de comprendre les évolutions de la dynamique morphosédimentaire de la plage intertidale à différentes échelles spatio-temporelles. Pour atteindre notre objectif, trois questions fondamentales vont orienter notre analyse.

- *Primo*, la mobilité du trait de côte, entre l'hôtel Dialogue et le Cap Santa Clara, est-elle due aux fortes interactions entre les forçages climatiques et anthropiques?
- *Secundo*, quelle est la part des forçages climatiques et celles anthropiques dans cette mobilité du trait de côte?
- les deux types de forçages aux interactions combinées sont-ils une préoccupation en termes d'organisation spatiale dans un contexte aggravant des changements climatiques et d'élévation du niveau de la mer?

#### **5. Objectifs et formulation des hypothèses**

L'étude de la dynamique morphosédimentaire des plages est indispensable pour la compréhension des processus qui régissent leur fonctionnement. Cela se justifie car la principale préoccupation, pour les années à venir, doit être l'obtention des données et des informations convenables sur le sens de l'évolution des zones côtières en général et du trait de côte en particulier. De ce point de vue, les objectifs de notre recherche sont les suivants :

- Faire une analyse de la dynamique morphosédimentaire des plages intertidales ;
- Comprendre les processus qui régissent leurs évolutions ;

- Elaborer des bases de données en lien avec la dynamique côtière pour accompagner l'aménagement et la gestion de la zone côtière.

Notre travail de thèse, bien que n'étant focalisé que sur un segment côtier des communes de Libreville et Akanda, s'intègre néanmoins pleinement dans une démarche plus vaste relative à la mise en place d'un programme de planification de la zone côtière du Gabon. Dans ce contexte particulier, l'une des démarches visée par ce travail est la compréhension, à différentes échelles spatio-temporelles, en se basant sur le triptyque « passé-présent-avenir », de la dynamique morphosédimentaire de la plage intertidale de l'hôtel Dialogue au complexe touristique "Akouango Village" dans la Baie Akouango, sur un linéaire côtier de 15 km. Ce travail se focalise sur une approche centrée autour du transport sédimentaire, qui est un processus clé, puisqu'il intervient directement dans les phénomènes de recul ou d'avancée du trait de côte. De ce fait, la connaissance et la compréhension de la dynamique morphosédimentaire des plages intertidales revêt de multiples intérêts. En lien avec les objectifs énoncés, les hypothèses suivantes ont été retenues à savoir :

- ✓ Les plages intertidales se caractérisent par un déficit en terme d'apport sédimentaire ;
- ✓ La dynamique morphosédimentaire des plages intertidales est influencée par les forçages naturels et anthropiques
- ✓ Une meilleure compréhension de la dynamique côtière est indispensable dans l'orientation des choix d'aménagements et usages futurs de la zone côtière.

## **6. Définition des concepts clés**

Plusieurs concepts ont été utilisés dans ce travail et qu'il convient de définir. Il s'agit de :

- Plage intertidale : Partie de la côte située entre les limites extrêmes des plus hautes et des plus basses marées.
- Erosion côtière: Phénomène d'origine naturel et accentué les actions anthropiques matérialisé par le recul du trait de côte suite à un déficit en sédiments.
- Progradation : Migration de la ligne de rivage en direction du continent suite à une accumulation des sédiments.
- Bilan sédimentaire : Différence entre les apports et les pertes en sédiments sur une plage.

- Sédiments superficiels : Sédiments situés au niveau des cinq premiers centimètres de la couche supérieure de la plage intertidale.
- Trait de côte : Ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques (définition du SHOM). Pour notre étude, le trait de côte a été matérialisé par la limite de la végétation.
- Facteurs anthropiques : Forçages relatifs aux activités humaines sur les processus côtiers.

## **7. Approche théorique**

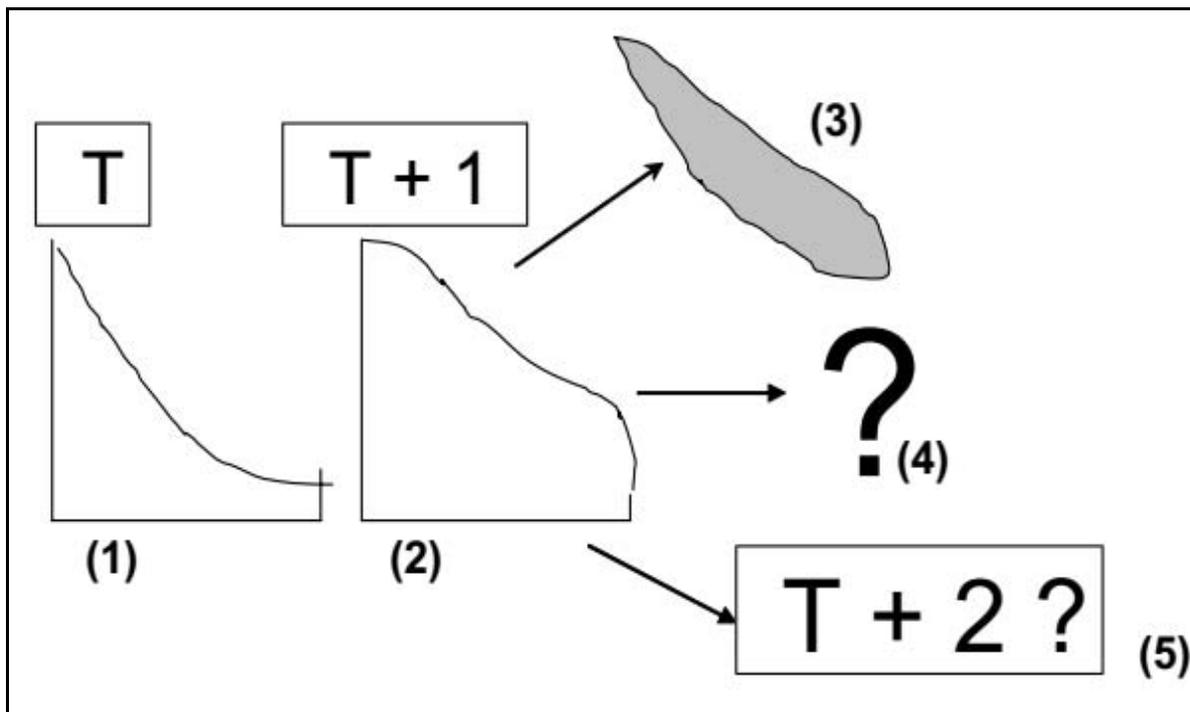
Cette étude propose une approche systémique par le couplage d'observations et de quantifications à la fois par l'utilisation des SIG (outils permettant d'obtenir une vision multi-échelle et multi-date) et par expérimentation *in situ*. En effet, Une démarche méthodologique appropriée a été adoptée englobant à la fois les aspects thématiques et différentes échelles spatio-temporelles (Aubry, 2010 ; Faye et *al.*, 2011 ; Le Guern et *al.*, 2014).

Le présent travail a été réalisé à l'aide d'un effort méthodologique en raison de la diversité des processus (hydrodynamiques, morphologiques et sédimentaires), impliqués dans la dynamique morphosédimentaire, et de leur large gamme d'actions sur les objets étudiés au niveau de la plage intertidale (formes et évolutions de la plage, variation du transit littoral, évolutions spatiales et temporelles du trait de côte). Cela a été rendu possible grâce à la mise en place d'un suivi morphologique (notamment les levés topographiques) et sédimentologique (collecte et analyse des sédiments) basée sur l'utilisation d'outils adaptés aux domaines d'étude (niveau optique de chantier).

## **8. Etude de la dynamique morphosédimentaire des plages**

La compréhension du fonctionnement d'un milieu côtier peut se résumer en cinq étapes clés (Figure. 1, ci-après).

Figure 1: Les cinq étapes de compréhension du fonctionnement d'un environnement côtier .



Source : Desmazes, 2005.

- (1) Observation de l'environnement côtier au temps « T ».
- (2) Observation de l'environnement côtier au temps « T+1 ».
- (3) Description des évolutions entre « T » et « T+1 ».
- (4) Explication des mécanismes à l'origine des évolutions.
- (5) Prédiction des évolutions futures du milieu, et leur mise en interaction avec les constructions littorales actuelles et futures.

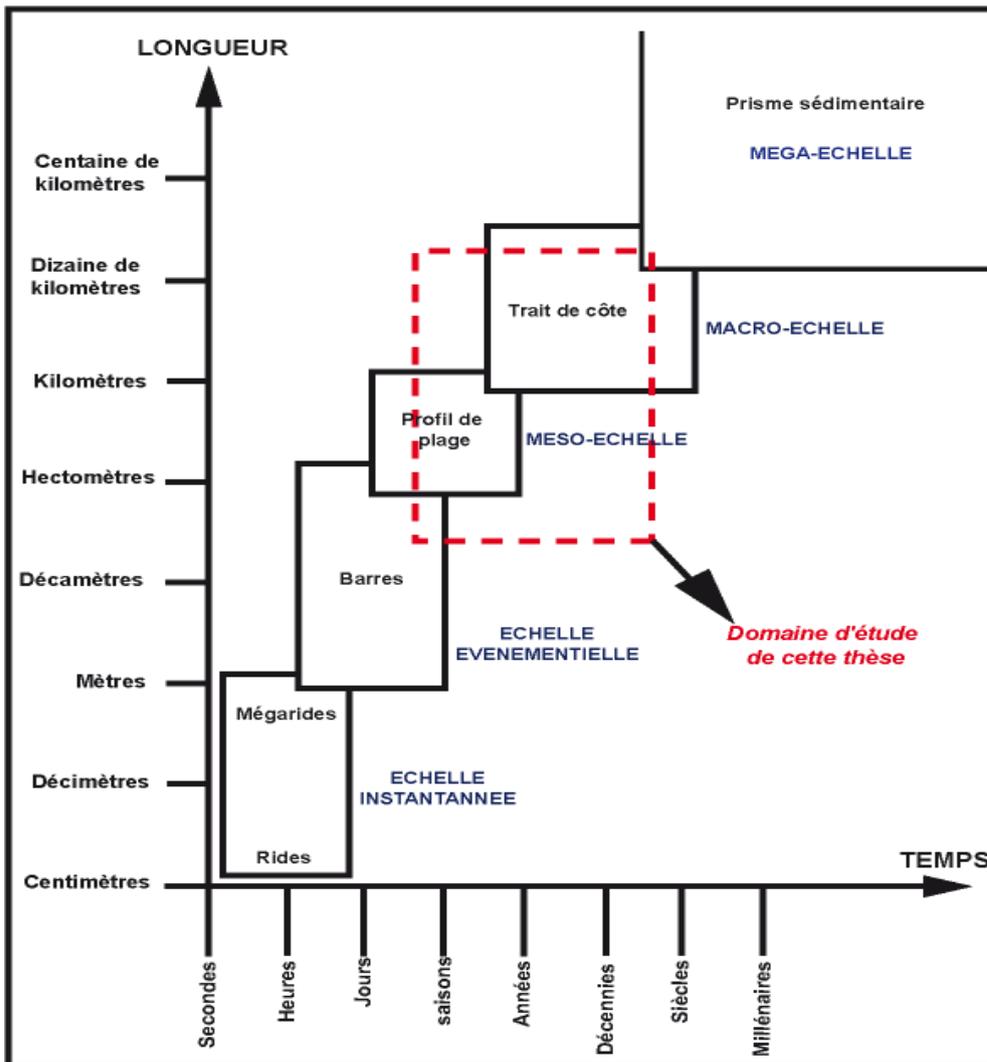
Ces cinq étapes sont indispensables au développement de la connaissance du domaine côtier. Elles prennent en compte deux approches complémentaires, qui sont l'observation du milieu et la compréhension des mécanismes responsables des évolutions. Pour l'aboutissement d'une telle démarche, il est indispensable d'employer une large palette de méthodes et d'outils (Pinot, 1995), qui seront présentés en détails dans le chapitre 3 du présent travail intitulé les méthodes et techniques d'analyse.

## 9. Approche multi-scalaire

L'analyse morphodynamique sédimentaire d'un système côtier nécessite une approche fondamentale basée sur la délimitation des échelles spatiales et temporelles prises en considération. Plusieurs auteurs (De Vriend, 1991 ; Stive et *al.*, 1991 ; Stive et *al.*, 2002 ; Larson & Kraus, 1993 ; Terwindt & Kroon, 1993 ; Cowell & Thom, 1994 ; Levoy, 2000 ; Van Rijn, 2011) ont proposé des découpages qui relient le temps nécessaire à la mise en

équilibre du système étudié et leurs tailles. Le découpage spatio-temporel pris en compte dans cette étude (Figure 2, ci-après) est issu de la synthèse des réflexions et théories développées par ces auteurs. Il est important de préciser que les limites des différentes échelles se superposent partiellement.

**Figure 2:** Les compartiments emboîtés du système côtier à différentes échelles de temps et d'espace



Source : Levoy, 2000 modifié.

Cependant, ces échelles constituent des cadres d'études utiles pour la détermination des processus responsables de la formation et de la mobilité des formes sédimentaires étudiées (Levoy, 2000 ; Robin, 2007). Outre cette approche théorique, il nous est aussi paru indispensable lors de l'analyse des résultats d'établir un découpage en lien avec les différents enjeux que l'on enregistre dans l'espace d'étude.

Pour chaque échelle, des outils et des protocoles différents ont été mis en place avec une prédominance sur le couplage des techniques des Systèmes d'Information Géographiques (SIG), la géomatique pour les plus grandes échelles pour le suivi du trait de côte, et des mesures sur le terrain pour les échelles plus fines (Certain, 2002 ; Gensac, 2012 ; Le Guern, 2014).

Fort de ce qui précède, les objectifs de ce travail reposent sur trois échelles de temps (Maspataud, 2011), à savoir :

➤ ***à court terme, l'échelle "évènementielle" : de plusieurs jours à un mois :***

- analyser à partir des mesures *in-situ* les variations du profil transversal de la plage intertidale ;
- déterminer les impacts des forçages météo-marins sur l'évolution morphologique du profil côtier, lors des épisodes à fortes énergies ou tempétueux (érosion/accumulation sur la zone intertidale, ainsi que le recul du trait de côte).

➤ ***du court à moyen terme, de l'échelle mensuelle à saisonnière jusqu'à pluriannuelle :***

- analyser la variabilité interannuelle des paramètres granulométriques ;
- estimer les tendances évolutives du trait de côte et l'évolution morphologique du profil côtier, après et entre les différents épisodes érosifs qui se sont produits durant la période de notre étude ;
- évaluer la capacité de la côte à retrouver un état de référence de son équilibre dynamique, ou au contraire l'irréversibilité des changements morphologiques constatés, au travers d'événements liés aux forçages naturels ou à des facteurs externes.

➤ **à moyen terme : de plusieurs années à plusieurs décennies :**

- retracer, sur des périodes allant d'une dizaine d'années à plus de cinquante ans, les tendances évolutives du trait de côte à partir d'une analyse diachronique de photographies aériennes.
- identifier l'influence des facteurs anthropiques et naturels dans les variations spatio-temporelles du trait de côte depuis les années 1977 à 2013.

## **10. Revue de littérature de morphodynamique des plages de Libreville et Akanda**

L'analyse de la dynamique morphosédimentaire des plages au cœur de notre étude ne date pas de nos jours. Dans le passé quelques travaux ont été réalisés et fournissent une base essentielle pour notre recherche (Mombo, 1992). Aujourd'hui encore malgré les ravages occasionnés par le recul du trait de côte sur les activités socio-économiques, la mise en place de programme de suivi de la dynamique morphosédimentaire des plages demeure encore très embryonnaire, comme le justifie la faiblesse des sources bibliographiques de référence disponibles. En dépit de cette faiblesse, dans la zone d'étude bien de problèmes en lien avec notre problématique ont déjà été élucidés.

L'estuaire du Komo et les facteurs tectoniques à l'origine de sa mise en place ont été décrits par Lasserre (1958). Par la suite une présentation détaillée du cadre physique en mettant un accent sur les éléments de la morphologie, ainsi que les différentes composantes du littoral autour de l'estuaire du Komo, a été faite (Lebigre, 1983 ; Migniot et Brossard, 1990 ; Mombo, 1991). La morphologie côtière de la Baie d'Akouango a été décrite, avec un accent mis sur la série de cordons littoraux qui caractérisent cette zone (Thibaut, 1984 ; Lebigre, 1990 ; Peyrot et *al.*, 1990). Les conditions de leur mise en place en lien avec les variations du niveau marin quaternaire, ainsi que le substratum de dalle rocheuse sur lequel repose la masse sableuse, ont clairement été décrites (Lebigre, 1983 ; Thomas et *al.*, 2001 ; Giresse, 1989). De plus, Weydert et Rosso (1981) et Weydert et Weydert (1982) apportent un éclairage sur l'origine probable des stocks sableux qui constituent les sablières de la Baie d'Akouango. La répartition des principaux types de sédiments actuels de l'estuaire du Komo, ainsi que leur dynamique, a été élaborée sur la base des analyses sédimentologiques (Lafond, 1967 ; Weydert et Weydert, 1982). En lien avec la dégradation de la zone côtière, Becat (1995) a mis en évidence la cinématique du trait de côte pour la période de 1970 à 1990, entre l'hôtel Dialogue et le pont Gué-Gué. Cette analyse a été complétée par celle de Manfoumbi

(2016) qui, sur la base des images satellitaires, a analysé l'évolution du trait de côte entre le Port-Môle et le Cap Santa Clara de 1990 à 2014.

En lien avec le traitement de l'érosion côtière sur la rive droite de l'estuaire du Komo, plusieurs travaux qui abordent ce sujet en mettant en avant aussi bien les causes naturelles et anthropiques (Bonnetille, 1964 ; Revandiné, 1995 ; Moussavou-Makanga, 1999 ; Sallah, 2006 ; MOUNGANGA, 2006 ; Mombo et *al.*, 2017). De ces réflexions, quelques solutions théoriques pour le traitement et la gestion de l'érosion côtière ont été abordées (Momben-Nguema, 2000 ; Aso-Fitou, 2008 ; Weyat, 2009 ; Bingono-Meba, 2012).

Contrairement aux études antérieures, la nôtre peut avoir le mérite d'être qualifiée d'originale en ce sens que les éléments d'analyses reposent sur des données issues d'un suivi spatio-temporel des processus morphosédimentaires. En lien avec nos objectifs de recherche, notre démarche vise à prendre en compte bien de points non abordés par les travaux précédents et, ce, afin de pallier à l'absence de données historiques régulièrement récoltées et issues de programme de suivi de la dynamique morphosédimentaire sur une longue période.

Les techniques employées ont permis l'acquisition de données physiques de la plage intertidale à différentes échelles spatio-temporelles. Il s'agit principalement des données de sédimentologie (granulométrie, minéralogie, calcimétrie et morphoscopie) et de la morphologie (profil de plage et photographies aériennes, pour le suivi diachronique du trait de côte). À cette collecte de données de terrain, il faut associer des bases de données en provenance du CNDIO, ou de différents organismes publics et privés (DGM, GPM, IGN France, etc.) qui ont contribué également à l'étude de l'évolution morphodynamique de notre système côtier. Le traitement, l'analyse et l'interprétation des données ont nécessité l'utilisation de plusieurs méthodes de la géographie. Il s'agit, entre autres, de la géomatique (SIG), des traitements informatiques et de la gestion de bases de données, la modélisation des processus, l'analyse statistique, l'analyse spatiale, la cartographie et la photo-interprétation.

## **11. Organisation de la thèse**

La présente thèse s'articule autour de trois parties, pour un total de neuf chapitres qui tentent chacun de répondre à un objectif précis de notre travail de recherche.

La première partie présente le contexte physique de l'estuaire du Komo et l'approche méthodologique au cœur du travail de recherche. Elle est composée de trois chapitres.

Le chapitre 1 présente le cadre de l'étude, c'est-à-dire principalement le contexte géographique et morphologique et le cadre structural, à travers la mise en place des formes actuelles autour de l'estuaire du Komo en général et la zone d'étude en particulier.

Le chapitre 2 aborde les agents de la dynamique qui interagissent dans l'évolution morphodynamique du système côtier au cœur de notre étude. Il s'agit du climat météo-marin, des aspects d'hydrologie continentale et marine et, du contexte anthropique.

Le chapitre 3 regroupe l'ensemble des méthodes et les moyens mis en œuvre pour la réalisation de ce travail, en abordant aussi bien les activités de terrain que celles de laboratoire.

La deuxième partie présente les paramètres morphodynamiques. Elle est composée de deux chapitres.

Le chapitre 4 se focalise sur la dynamique morphosédimentaire de la plage intertidale. Deux principales approches sont au centre de ce chapitre ; d'une part, l'approche théorique basée sur la prise en compte des variations de l'enveloppe des mouvements sédimentaires au niveau des profils des plages ; d'autre part, l'approche quantitative qui concerne le calcul des volumes de bilans sédimentaires migrants à différentes échelles de temps (pluriannuelle, saisonnière et événementielle) de la plage intertidale.

Le Chapitre 5 aborde les tendances évolutives du littoral à travers l'analyse diachronique des photographies aériennes de 1977 à 2013. Ce chapitre est aussi l'occasion de mettre en évidence des secteurs côtiers les plus vulnérables au recul du trait de côte.

Enfin, la troisième partie regroupe les paramètres sédimentologiques de notre étude. Les chapitres 6 à 9 font l'analyse des caractéristiques granulométriques, morphoscopiques, calcimétriques et minéralogiques des sédiments superficiels de la plage intertidale. L'exploitation des résultats sédimentologiques permet de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle de la dynamique sédimentaire des plages étudiées.

Une conclusion générale permet, d'une part de dégager les acquis majeurs de ce travail et fournit quelques perspectives de recherche et, d'autre part, fait également le lien entre la géomorphologie et la gestion et l'aménagement de la zone côtière. Le but visé ici est l'utilisation de résultats acquis pour faire des propositions en lien avec la gestion et l'aménagement du littoral Nord de Libreville.

**PREMIERE PARTIE :**

**LE CONTEXTE PHYSIQUE ET D'APPROCHE  
METHODOLOGIQUE DE LA COTE NORD DE  
LIBREVILLE**

L'analyse de la dynamique morphosédimentaire des littoraux requiert une bonne connaissance des facteurs naturels et anthropiques au cœur de sa dynamique. La première partie de ce travail est axée sur les caractéristiques physiques, les mécanismes qui influencent l'évolution du trait de côte, ainsi que l'ensemble des outils et méthodes utilisés dans cette étude.

Cette partie s'articule autour de trois chapitres. Le premier chapitre présente le cadre physique de la zone d'étude. Il présente dans le détail le cadre géographique, le contexte géologique et géomorphologique autour de l'estuaire du Komo. La zone d'étude concerne un segment côtier de quinze kilomètres de long sur la rive droite de l'estuaire du Komo. La connaissance de la nature géologique de la zone côtière est capitale pour apprécier la notion de sensibilité à l'érosion côtière et les risques induits. En effet, le cadre structural joue un rôle fondamental dans la structuration du littoral. À titre d'exemple, un littoral caractérisé par la présence d'un substrat rocheux sera moins sensible au recul du trait de côte qu'une plage sableuse.

Le second chapitre présente l'ensemble des processus physiques qui conditionnent la dynamique morpho-sédimentaire des plages intertidales. Il s'agit des conditions météorologiques, hydrodynamiques ainsi que les forçages anthropiques qui constituent les facteurs aggravant de l'érosion côte. Les conditions météorologiques notamment les vents fournissent l'énergie au système côtier. Les conditions hydrodynamiques se caractérisent par les houles résiduelles dans l'estuaire du Komo, les vagues à la côte et les courants de marée.

Enfin, les activités anthropiques prennent en compte à la fois les aménagements de nature divers et les prélèvements des sables depuis le haut de plage jusqu'en mer.

Enfin, le troisième chapitre présente les méthodes et techniques d'analyses, utiles pour la connaissance et la compréhension des divers phénomènes naturels et humains, à l'origine de la dynamique des paysages de notre zone de travail.

## CHAPITRE 1 : CADRE PHYSIQUE DE L'ETUDE

L'analyse de la dynamique morphosédimentaire de la zone côtière requiert la connaissance des facteurs naturels qui constituent son cadre physique. À ce titre, le présent chapitre intitulé le cadre physique présente les contextes géographique, morphologique et structurale de l'estuaire du Komo en général et de la zone d'étude en particulier.

### 1.1. Cadre géographique

La zone d'étude se situe au niveau de la rive droite de l'estuaire du Komo. Avec l'aspect d'un arc de cercle à concavité NE et d'orientation générale E-W (Bouma et *al.*, 1978), la longueur de cet estuaire depuis son embouchure est d'environ 90 km avec une largeur moyenne de 12 km. Sa limite amont est la localité de Kango, au confluent de la Bokoué. En aval, sa limite est son débouché marin entre le Cap Santa Clara au Nord et la Pointe Pongara au Sud. Sa superficie totale est de l'ordre de 1900 km<sup>2</sup> (Weydert, Weydert; 1982).

Toutefois, le présent chapitre, loin de vouloir se limiter à la zone d'étude, se propose d'aborder le contexte physique ainsi que les différents processus à l'échelle de l'ensemble de l'estuaire du Komo. Cette approche systémique permettra de mieux analyser les processus responsables de la dynamique de ce système côtier.

Sur le plan morphologique, la rive droite de l'estuaire du Komo se distingue par la présence d'un large plateau au niveau de l'avant côte (plateau librevillois), dont la largeur est variable, limité par l'isobathe – 5 m avec des pentes très faibles de l'ordre de 1%. La variation de l'aspect et de la largeur de ce plateau est, entre autres, à l'origine de la diversité morphologique observée sur les plages de Libreville en général.

Les plages se caractérisent par la présence de sable blanc, dont les tailles varient du fin au grossier. On note également la présence des petits estrans rocheux discontinus, qui correspondent aux affleurements des calcaires marneux de la série de Sibang d'âge turonien. Ces affleurements, très peu répandus, sont principalement observables à marée basse au niveau de la plage dite du Lycée Léon Mba entre l'hôtel Dialogue et la rivière Gué-Gué, aux environs de l'ambassade de Corée au lieu-dit La Sablière et, enfin, au droit du complexe touristique Akouango Village à proximité du Cap Santa Clara.

À l'instar de l'estuaire dans sa globalité, la zone d'étude se distingue par la faiblesse de la houle. En effet, ces houles résiduelles venant du large sont atténuées au niveau de l'entrée de l'estuaire respectivement par le banc et la Pointe Pongara. L'autre fait marquant,

dans la zone d'étude, est la présence de quelques petites rivières dont les apports en sédiments au système côtier sont marginaux.

Sur le plan humain, la zone d'étude est très anthropisée. Outre les nombreux aménagements sur le haut de plage (voies de communication, habitations, ouvrages de défense côtière et autres infrastructures), on note également la présence de plusieurs zones d'extraction de sable d'estran depuis des décennies.

La conséquence de tous ces facteurs est la perturbation de la dynamique sédimentaire aussi bien suivant le sens de la dérive littorale, mais aussi le long du profil de plage, avec pour effets directs une progressive dégradation des estrans sableux. Sur l'ensemble de la zone d'étude, du fait de la privatisation de l'espace côtier, toutes les plages ne sont pas accessibles pour le grand public. Les plages les plus accessibles sont des espaces récréatifs les plus fréquentés (Photos 1 et 2, ci-après) et jouent un rôle essentiel dans les activités de loisir et de plein air, pour les communes de Libreville et d'Akanda. Il s'agit principalement des plages du Lycée Léon Mba, du Tropicana et de La Sablière.

**Photo 1 :** Forte fréquentation de la plage du lycée Léon Mba lors de la traversée Mpali



Cliché : Koumba Mabert, Mars 2009.

**Photo 2 :** Concert grand public sur la plage du Lycée Léon Mba



Cliché : Mouyalou, Mars 2014.

Le segment côtier retenu pour ce travail de recherche va de l'hôtel Dialogue au complexe touristique Akouango Village dans la Baie d'Akouango, sur un linéaire de 15 Km. L'orientation générale de la côte dans la zone d'étude est NNO-SSE. Spatialement, il se situe entre les latitudes  $0^{\circ} 25' 22,5588''$ -  $0^{\circ} 31' 18,206488''$  Nord et les longitudes  $9^{\circ}20'11,8716''$  et  $9^{\circ}25'19,9596''$  Est. (Figure 3, ci-après). Sur le plan morphosédimentaire, il correspond à la

dernière unité des plages sableuses d'importance entre le Cap Santa Clara et la Pointe Owendo. Le Cap Santa Clara et l'épi de l'hôtel Dialogue constituent les limites de cette unité morphosédimentaire.

**Figure 3:** Localisation géographique du segment côtier de la Baie d'Akouango à l'hôtel Dialogue.



Le choix du segment côtier présenté ci-avant pour notre travail de recherche se justifie à plus d'un titre. Tout d'abord parce qu'il s'agit du dernier tronçon de plage sableuse. Il n'est point nécessaire de revenir sur l'importance des plages sableuses pour les activités de loisir et de plein air. En effet, à cheval entre les communes de Libreville et d'Akanda, ce segment côtier constitue l'espace récréatif le plus important du pays. Ensuite, ce segment côtier regroupe des intérêts socio-économiques, écologiques, démographiques, touristiques, et

demeure une zone de conflits d'usages. De ce fait, la présence de multiples facteurs et indices de vulnérabilités, en lien avec la problématique de l'érosion côtière, impose que l'on s'interroge sur son avenir. Tous ces éléments déterminants ont guidé dans le choix pertinent de cette zone pour notre travail de recherche fondamentale axée autour de l'étude des processus de transport et de sédimentation et appliquée aux questions de développement.

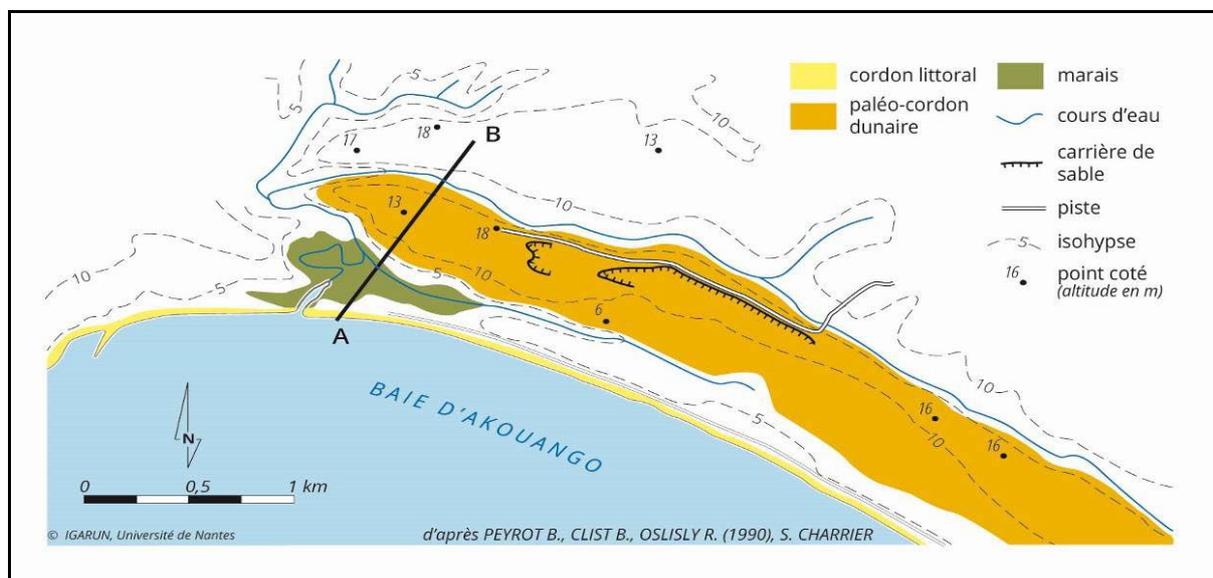
## **1.2. Cadre morphologique**

### **1.2.1. Morphologie de l'arrière côte**

Du point de vue topographique, la région de Libreville repose sur un relief de basses altitudes. Les bassins versants, des cours d'eau qui sont dans la zone d'étude, ont une altitude comprise entre 5 et 20 m par rapport au niveau de la mer. Toutefois, l'absence de relief accentué n'exclut pas cependant l'existence de fortes pentes. D'après Hourcq et Hausknecht (1959), nous sommes en présence d'une ancienne pénéplaine reprise par l'érosion. Cet état de chose justifie la présence d'une succession de collines peu élevées à pentes fortes entraînant une érosion assez forte des sols. Entre ces reliefs se profilent d'étroites vallées, où coulent de petits cours d'eau. À ces reliefs, il faut ajouter de larges espaces bas qui présentent des signes d'ennoyage, avec la présence des mangroves à palétuviers remontant très loin à l'intérieur des terres au même titre que la marée.

En ce qui concerne de façon spécifique la zone d'étude (au Nord de Libreville), l'autre fait marquant du relief est la présence d'une série de trois cordons littoraux disposés parallèlement au rivage, et entre lesquels s'insèrent d'étroits couloirs marécageux à végétation semi-aquatique ainsi qu'un écosystème de mangrove. Le premier cordon situé coté mer correspond au cordon actuel. Pour les deux autres, il s'agit des paléo-cordons, aujourd'hui presque disparus en raison d'une exploitation intensive du sable et de l'occupation humaine (habitat, etc.). Ceux-ci prenaient appui au niveau du Lycée Léon Mba, sur les collines calcaro-gréseuses turoniennes et se développaient jusqu'aux pointements rocheux sénoniens du Cap Santa Clara (Peyrot et *al.*, 1990). La Figure 4, ci-après, donne un aperçu de la structuration de ces différents cordons.

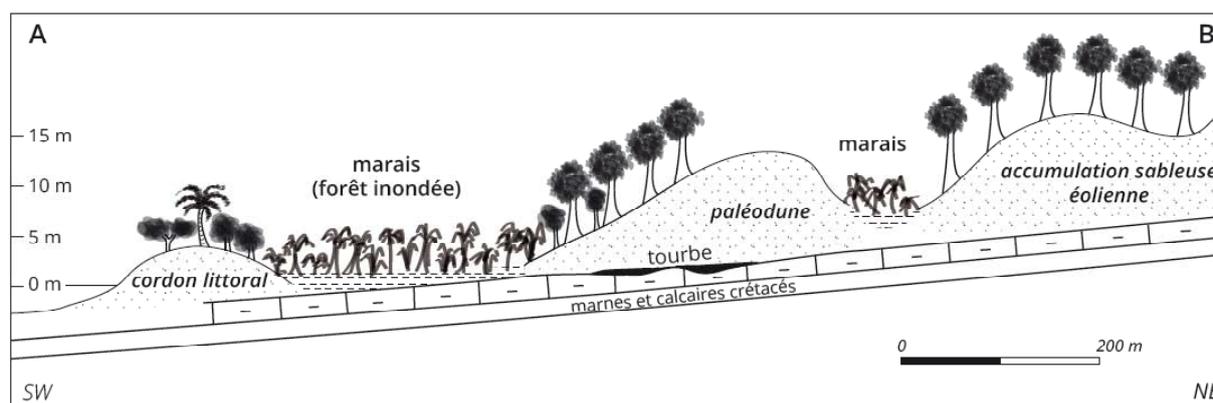
**Figure 4:** Les cordons littoraux au nord de Libreville.



Source: in Pottier P., Menié Ovono Z., Faure FE. et Bignoumba G.S., 2017.

Ces paléo-cordons sableux aujourd'hui disparus apparaissaient large de 100 à 150 mètres, haut de 8 à 15 mètres comme l'illustre la Figure 5, ci-après.

**Figure 5:** Coupe dans les sablières de la Baie d'Akouango



Source: in Pottier P., Menié Ovono Z., Faure FE. et Bignoumba G.S., 2017.

Ces paléo-cordons s'étendaient parallèlement au rivage sur environ 15 km et constituaient des formations mixtes, reliquat de haut de plage remanié par le vent. L'analyse morphoscopique effectuée sur ces sables montre que les grains sont en totalité « mats », la caractéristique d'un transport éolien tout en devant leur usure à un séjour initial dans un

milieu aquatique. D'après Peyrot et *al.*, (1990), le caractère « émoussé » semble indiquer un façonnement fluvial ou marin, suivi d'une reprise éolienne modérée. Ces paléo-cordons reposent sur un substrat rocheux altéré formé par les calcaires et marnes du Turonien de la Série d'Azilé. Entre ce substrat irrégulier et les paléo-cordons sableux apparaît un niveau discontinu de tourbe d'une épaisseur d'environ 30 cm.

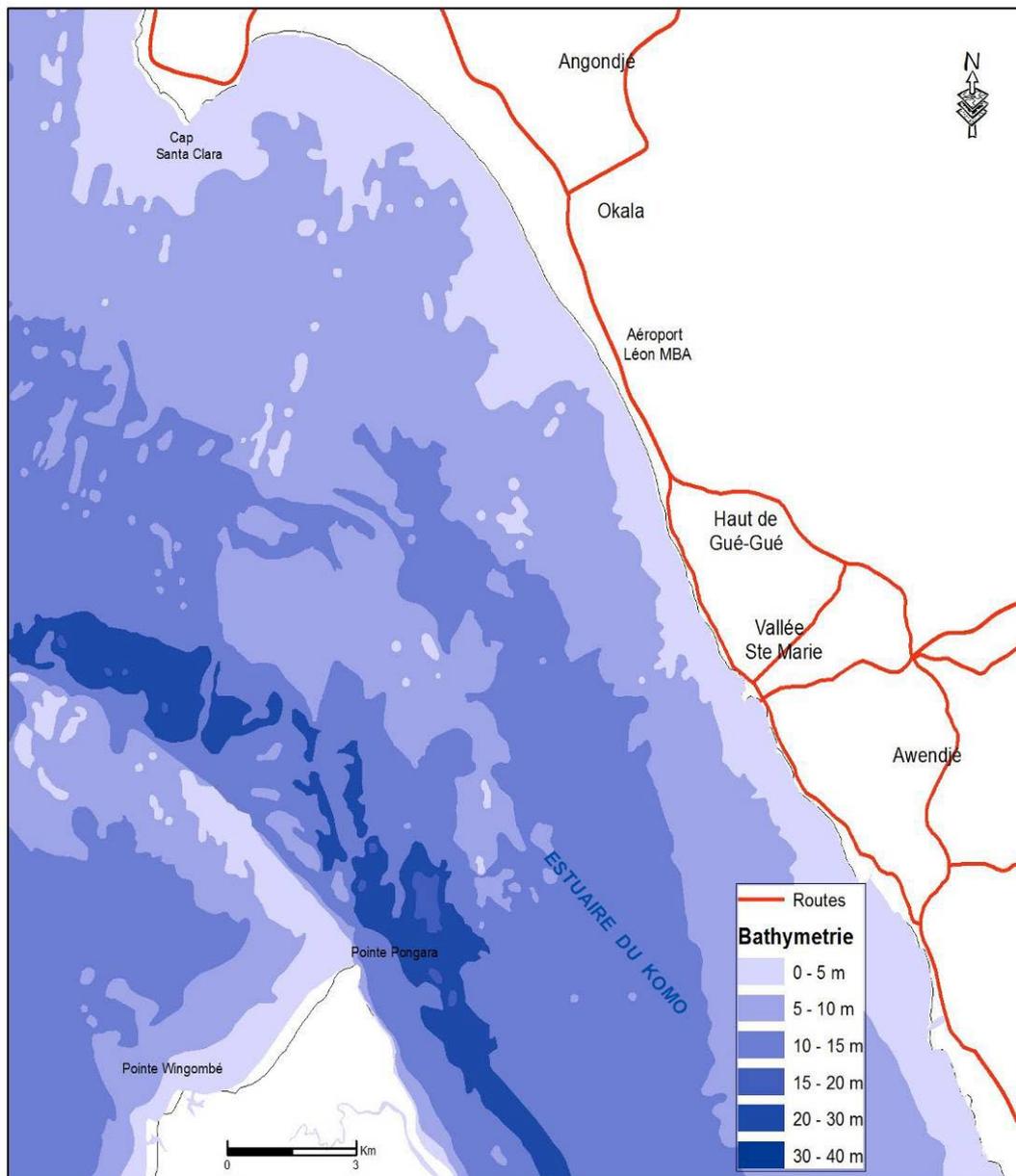
Le stock sableux initial a sans doute été fourni par les apports fluviaux conjugués des fleuves, affluents directs de l'estuaire, et peut être aussi par des organismes hydrographiques puissants tels que l'Ogooué et même le Congo. Ces sédiments ont ensuite été repris par les courants côtiers actifs et, enfin, par une dynamique éolienne (Weydert et Rosso, 1981 ; Peyrot et *al.*, 1990).

Il est important de préciser que l'histoire de leur mise en place est à rattacher à l'évolution paléo-climatique. Il s'agit principalement des fluctuations climatiques ayant entraîné des variations du niveau marin, en concordance avec les grands événements climatiques enregistrés dans le golfe de Guinée (Peyrot, 2004). En effet, la sédimentation éolienne est en relation avec le maximum du froid wurmien dont la tendance est à l'aridité (Giresse et Moguedet, 1980). D'après Peyrot (1989), à 15000 ans BP, le climat s'inscrit dans une phase rhéxistatique du Wurm III. Ainsi au cours de cette période, jusqu'à + 20 m de dunes dites de régression ont été formés (Delibrias et *al.*, 1973) et seraient contemporaines de celles observés sur la côte congolaise (Giresse et Moguedet, 1980). L'édification de ce système dunaire se serait poursuivie pendant tout le Pléistocène supérieur et la première partie de l'Holocène, à la faveur d'une ligne de rivage externe vis-à-vis du trait de côte actuel (Peyrot et *al.*, 1990).

### **1.2.2. Bathymétrie de l'estuaire du Komo**

Les fonds de l'estuaire du Komo oscillent d'une manière générale entre 0 et - 20 mètres, avec un chenal de 12 à 20 mètres de profondeur emprunté par les navires se rendant au Port d'Owendo. Ce chenal de navigation longe principalement la flèche de la pointe Pongara et s'infléchit vers le SE pour atteindre la pointe d'Owendo où se trouve le port (Weydert et Rosso, 1981). Toutefois, des profondeurs de plus de 30 mètres peuvent être observées, comme l'illustre la carte bathymétrique de la Figure 6, ci-après.

**Figure 6:** Bathymétrie de l'estuaire du Komo entre l'embouchure et le Port d'Owendo

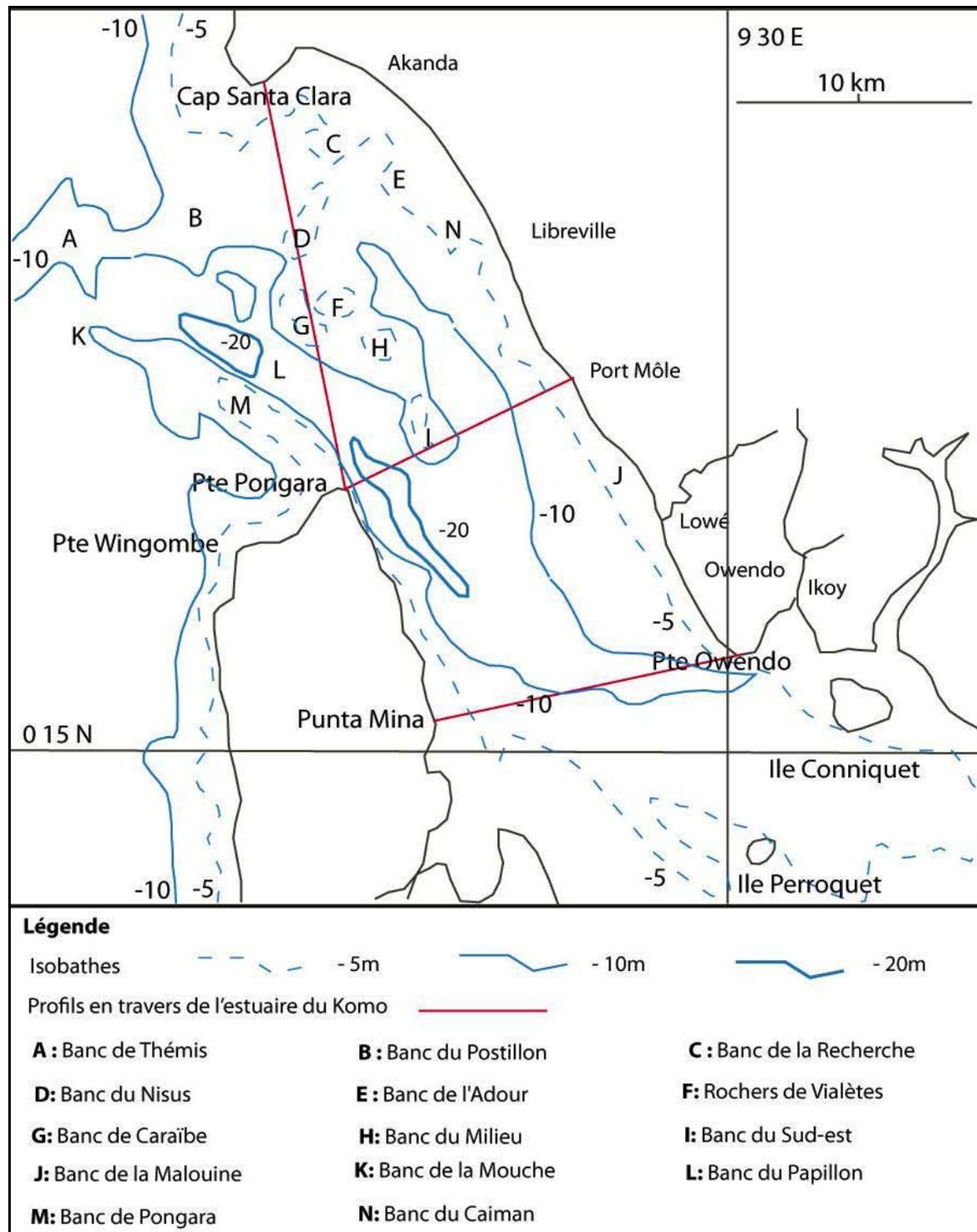


Source : SHOM, 1963, modifié Koumba Mabert.

Sur la rive droite, la bathymétrie de l'estuaire se caractérise par l'existence d'un système de hauts fonds, culminant pour certains aux environs de -4 et -5 m, comprenant des affleurements rocheux, alignés selon la direction de celle des séries turonienne et sénoniennes.

À ces hauts fonds rocheux, est associée une série de bancs sableux rendant très irrégulière la bathymétrie de l'estuaire du Komo. La Figure 7, ci-après, présente les différents bancs et hauts fonds qui caractérisent les fonds irréguliers de l'estuaire du Komo.

**Figure 7:** Les principaux bancs et autre hauts fonds de l'estuaire du Komo entre l'embouchure et l'île Perroquet

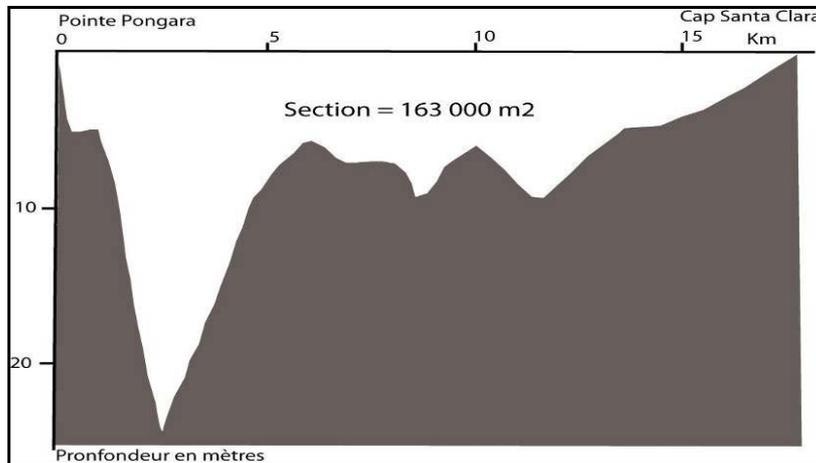


Source : Weydert P. et Weydert O. (1982), modifié.

Trois profils réalisés en travers de l'estuaire permettent de mieux apprécier sa structuration topographique. En effet, sur les deux façades, les profils bathymétriques révèlent des différences significatives selon leur position amont ou aval dans l'estuaire.

En aval, le profil réalisé entre la Pointe Pongara et le Cap Santa Clara permet de mieux mettre en évidence la différence topographique entre les deux rives (Figure 8, ci-après).

**Figure 8:** Profil en travers de l'estuaire du Komo entre la Pointe Pongara et le Cap Santa Clara

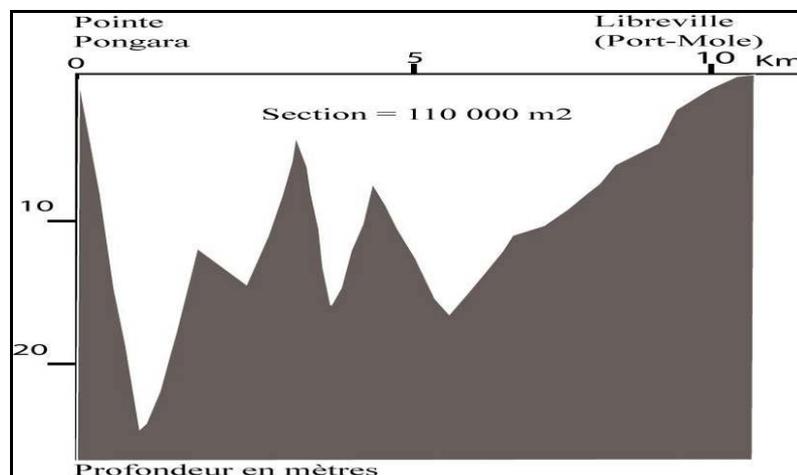


Source : Migniot et Brossard, 1990 ; modifié.

Ce profil permet de mettre en évidence sur la rive gauche, une pente abrupte qui se matérialise par le chenal de navigation avec des profondeurs supérieures à 20 mètres. À l'opposé, la rive droite présente une pente faible due au large plateau librevillois dont la profondeur varie autour de - 5 mètres. Entre les deux rives, on note la présence de hauts fonds, notamment le Banc de Caraïbe et celui de Nisus.

Au centre de l'estuaire, le profil bathymétrique entre la Pointe Pongara et le Port-Môle permet également de mettre en évidence la différence topographique entre les deux rives. La Figure 9, ci-après, permet d'apprécier la structuration bathymétrique le long de ce profil.

**Figure 9:** Profil en travers de l'estuaire du Komo entre la Pointe Pongara et le Port- Môle (Libreville)

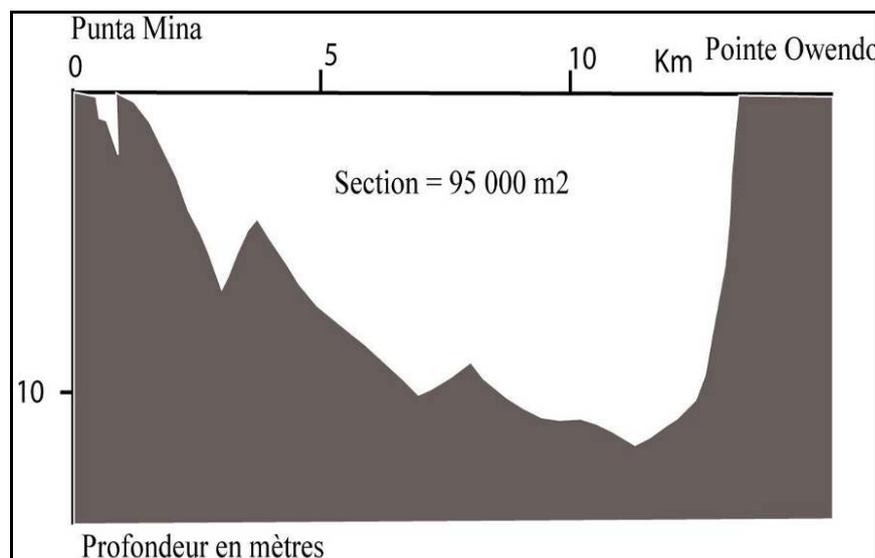


Source : Migniot et Brossard, 1990 ; modifié.

À l’instar du profil précédent, celui-ci permet également de mettre en évidence le chenal de navigation avec des profondeurs supérieures à 20 mètres à proximité de la Pointe Pongara. En direction du large, ce chenal de navigation est suivi par une succession de hauts fonds formant, entre autre, le Banc du Sud-est qui culmine autour de – 5 mètres. Entre ces hauts fonds, sont présents de petits chenaux dont la profondeur varie de façon globale autour de -15 mètres. Entre ces hauts fonds et le Port-Môle, la topographie évolue de façon quasi régulière et se termine par le plateau librevillois qui borde l’ensemble de la rive droite de l’estuaire du Komo.

Entre Punta Mina et la Pointe Owendo, la topographie est peu marquée, contrairement aux deux précédents profils situés en aval de l’estuaire du Komo (Figure 10, ci-après).

**Figure 10:** Profil en travers de l’estuaire du Komo entre Punta Mina et la Pointe Owendo



Source : Migniot et Brossard, 1990 ; modifié.

En effet, sur la rive droite, le plateau librevillois est très étendu suivi par un important escarpement jusqu’à des profondeurs supérieures à 10 mètres. À l’opposé, la rive gauche est marquée par une topographie accentuée par la succession de chenaux, le tout formant depuis la rive vers le large un relief en ‘escalier’.

D’une manière générale, il faut retenir que le caractère accidenté de la topographie de l’estuaire du Komo se justifie par la présence de hauts fonds. Les pentes sont très fortes à l’échelle du profil en travers de l’estuaire.

Malgré ces différences, la pente de l'avant côte sur la rive droite est relativement douce sur l'ensemble de la façade. À titre d'exemple, elle est de l'ordre de 0,27% partir d'une cote bathymétrique située entre -15 et -10 mètres.

À l'approche du rivage, la pente varie entre 3,5 et 5% en moyenne, notamment le long du tronçon qui va de l'hôtel Dialogue à la plage Tahiti. À partir de -5m, la pente est très adoucie et est de l'ordre de 0,25% à 0,35% jusqu'aux profondeurs de -10 m. Cette brusque modification de la bathymétrie influence bien évidemment la propagation de la houle résiduelle vers la côte et, par voie de conséquence, conditionne la nature du déferlement et les processus de transport et de sédimentation.

### **1.2.3. Morphologie et typologie des plages**

Située sur la rive droite de l'estuaire du Komo, la zone d'étude est une côte basse caractérisée par la présence de plages sableuses peu étendues. La largeur à marée basse de la zone intertidale varie entre 30 et 80 m, selon les coefficients de marée et la forme du profil de plage. Sur un linéaire de 15 km, c'est une plage de sable blancs dont la taille varie du fin au grossier (Mouyalou, 2012).

Sur le plan morphologique, les plages diffèrent du Nord au Sud. Mais, elles présentent toutefois des structures sédimentaires typiques de côtes basses d'accumulation sableuse. Il s'agit entre autre des barres sous-marines, les bermes, les croissants de plages et des talus d'érosion dont la morphologie est extrêmement variable dans l'espace et le temps.

En ce qui concerne les indices géomorphologiques en lien avec le risque érosif, sont à retenir principalement deux éléments. D'une part, il y a le phénomène d'affleurement du platier rocheux et la présence du talus d'érosion. En effet, l'affleurement du platier rocheux à marée basse est caractéristique d'un démaigrissement en cours, comme le témoigne la présence sur le haut de plage d'un mince liseré de sable alimenté par un transit littoral notoirement insignifiant. D'autre part, il y a le déchaussement des arbres (cocotiers, badamiers, etc.) conséquence des pertes considérables de matériel sédimentaire à la suite d'épisodes énergétiques. Le plus souvent, ce phénomène est matérialisé par la présence d'un talus d'érosion dont la hauteur peut varier de quelques dizaines de centimètres à près de 2 mètres de hauteurs.

En résumé, il y a une diversité des formes de dégradations observées dans la zone d'étude (photos 3 à 8, ci-après).

<p><b>Photo 3:</b> Réduction des zones de <i>parking</i> au droit de l'hôtel <i>Radisson Blue</i></p>  <p><u>Cliché</u> : Mouyalou V. M. T., Juillet 2015.</p>	<p><b>Photo 4:</b> Dégradation d'une habitation par l'érosion côtière</p>  <p><u>Cliché</u> : Mouyalou V. M. T., juillet 2015.</p>	<p><b>Photo 5:</b> Déchaussement des cocotiers au lieu-dit La Cocoteraie</p>  <p><u>Cliché</u> : Mouyalou V. M. T., Mai 2015.</p>
<p><b>Photo 6:</b> Destruction du cordon actuel par une nouvelle percée de la rivière Simba</p>  <p><u>Cliché</u> : Mouyalou V. M. T., Novembre 2014.</p>	<p><b>Photo 7:</b> Affleurement du platier rocheux à marée basse (sortie Kalikak)</p>  <p><u>Cliché</u> : Mouyalou V. M. T., Février 2014.</p>	<p><b>Photo 8:</b> Coupure de la route à la Plage du Remorqueur</p>  <p><u>Cliché</u> : Mouyalou V. M. T., Mars 2008.</p>

Cette situation a de fait orienté l'analyse des questions relatives à la dégradation de l'environnement côtier, particulièrement dans les zones qui concentrent les enjeux socio-économiques les plus importants (Lacaze, 1993). Les travaux réalisés dans la zone d'étude montrent une certaine variabilité de la sensibilité à l'érosion côtière. En effet, selon les secteurs, la mobilité du trait de côte se caractérise par des vitesses de recul plus ou moins important (Becat, 1995 ; Mouyalou, 2012 ; Manfoumbi, 2016). Les périodes pour lesquelles la mobilité du trait de côte a été analysée sont les suivantes: 1971-1990, 2001-2012 et enfin 1990-2014 comme l'illustre le Tableau 1, ci-après.

**Tableau 1:** Vitesses de recul du trait de côte enregistrées entre l’hôtel Dialogue et la Baie d’Akouango de 1971 à 2014.

PERIODE	1971- 1990 (19 ans) (Becat, 1995)				2001-2012 (11 ans) (Mouyalou, 2012)		1990-2014 (24ans) (Manfoumbi, 2016)
Localisation	Plage du Dialogue	Hôtel Okoumé palace	Sortie kalikak	Exutoire Gué-Gué	Epi du Dialogue	Embouchure Otendé	Baie d’Akouango
Recul total	66,5 m	38-171 m	32,3 m	190 m	5 m	40 m	25-102 m
Vitesse de recul	3,5m/an	2-9m/an	1,7m/an	10m/an	0,45 m/an	3,6 m/an	1,07-4,28 m/an

Source : d’après données Becat (1995), Mouyalou (2012) et Manfoumbi (2016).

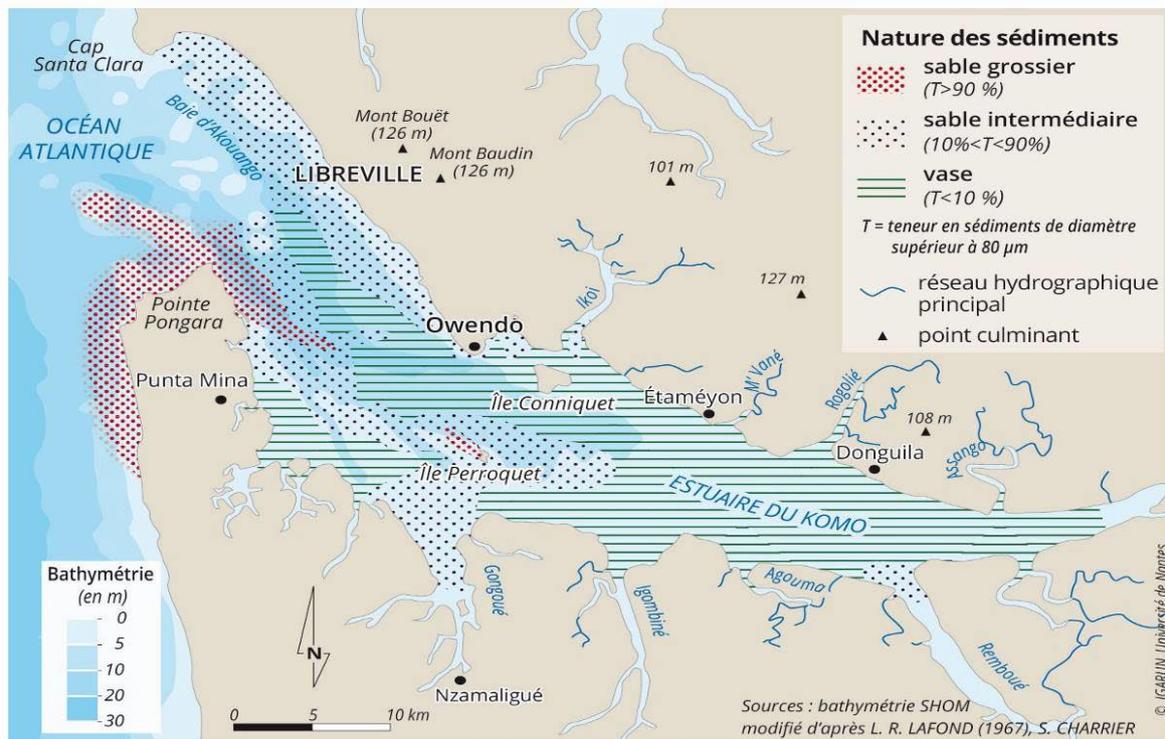
Les vitesses de recul estimées par Becat (1995) et Manfoumbi (2016) me semblent exagérées. Les raisons peuvent être diverses. Pour le bureau d’études Becat (1995), cela pourrait s’expliquer d’une part par la volonté de faire dans le sensationnel, afin de contraindre les autorités gabonaises en charge de la protection de la côte d’entreprendre les travaux de protection de boulevard de bord de mer. D’autre part, cette exagération peut être la conséquence du mauvais choix des indicateurs de suivi de l’évolution du trait de côte. En ce qui concerne les résultats de Manfoumbi (2016), l’exagération provient tout simplement du fait que les images LANDSAT utilisées dans ce travail (résolution de 30 m) posent un problème au niveau du degré d’incertitude pour un bon suivi de la dynamique du trait de côte.

#### 1.2.4. Nature et répartition des sédiments

Les sédiments, qui recouvrent le fond de l’estuaire du Komo, sont constitués en majorité par des éléments très fins, du type vase, mélangés en proportion variable à des sables fins. Le pourcentage de sable évolue de façon croissante, depuis Owendo en direction de l’embouchure. En effet, le pourcentage de sable est inférieur à 10% à Owendo et en amont de l’estuaire et peut atteindre 90% en aval au voisinage de la Pointe Pongara.

La Figure 11, ci-après, présente la variation de la teneur des éléments sableux dans l’estuaire du Komo.

**Figure 11:** Variation de la teneur en éléments sableux (de diamètre >80 microns) dans les sédiments de l'estuaire du Komo.



Source : in Pottier P., Menié Ovono Z., Faure FE. et Bignoumba G.S., 2017.

Sur la rive droite de l'estuaire entre le Cap Santa Clara et la Pointe Owendo, le pourcentage et les diamètres de sédiments diminuent en remontant l'estuaire. Ils ont une taille moyenne de 0,082 mm à Owendo et 0,28 mm à Libreville, alors que les sables du large au-delà de l'estuaire peuvent avoir des diamètres autour de 1 mm.

Dans l'estuaire du Komo, la variation de la teneur en éléments sableux renseigne également sur la provenance des trois principaux Types Sédimentaires (TS) en présence. Tout d'abord, il y a les sédiments qui proviennent de la dynamique côtière depuis le sud, notamment le long de la façade atlantique. En effet, la dynamique côtière s'opère selon le processus classique d'érosion et d'accumulation. Les sédiments issus de l'érosion des pointes situées plus au sud (Gombé, Wingombé) sont transportés par la dérive littorale issue de l'obliquité des houles de secteur SO et OSO. Le dépôt de la grande quantité de sédiments s'effectue sur le flanc estuarien de la pointe Pongara, ce qui justifie cette distribution particulière de sédiments dont la teneur en éléments sableux est supérieure à 90%. L'estimation du volume de sable, que peut charrier la dérive littorale de la Pointe Gombé à la Pongara est de 500 000 m<sup>3</sup>/an (Lafond ,1967). Cet état de grandeur permet d'établir une comparaison avec le transit littoral sur la côte de Libreville estimé à 59557 m<sup>3</sup>/an (Becat,

1995). Il s'agit des sables moyens à grossiers, dont la médiane ( $D_{50}$ ) est compris entre 0,258 et 0,512 mm (Mouyalou, 2011). La teneur en éléments sableux est comprise entre 10% et 90 %. Ces sédiments constituent les plages sableuses de la rive droite de l'estuaire depuis la pointe Owendo jusqu'au Cap Santa Clara. Ce faciès sédimentaire correspond à l'épandage des apports des bancs situées à l'avant plage, qui, par le processus des courants marins, sont remontés à la côte et distribués par les courants et la dérive littorale (Weydert et Weydert, 1982). Les sables en provenance de l'avant plage sont aussi associés à ceux arrachés au haut de plage (Lafond, 1967).

En dehors de ces éléments sableux d'importance, on note la présence d'une phase fine. Ces sédiments, dont la teneur en éléments sableux est inférieure à 10 %, concernent toute la zone située en amont de l'estuaire et, aussi, le grand banc de vase situé dans l'axe du chenal de navigation. Dans ces zones, la sédimentation fine est dominante. Ce type sédimentaire est constitué en majorité par des sables très fins, soit de la vase limoneuse et même des limons mélangés en proportion variable. Ce mode de sédimentation est favorisé par l'effet conjugué des processus tidaux et des apports en particules fines par les cours d'eaux lors de la phase de mise en place de l'estuaire (Weydert et Weydert, 1982). Ces dépôts de vase se caractérisent par des particules dont la taille moyenne est comprise entre 0,020 et 0,011mm (Bonnefille et *al.*, 1968). Du point de vue minéralogique, les vases de l'estuaire du Komo sont composées de 65% de kaolinite, 20% d'illite et 15% de Montmorillonite (Weydert et Weydert, 1982).

### **1.3. Cadre géologique**

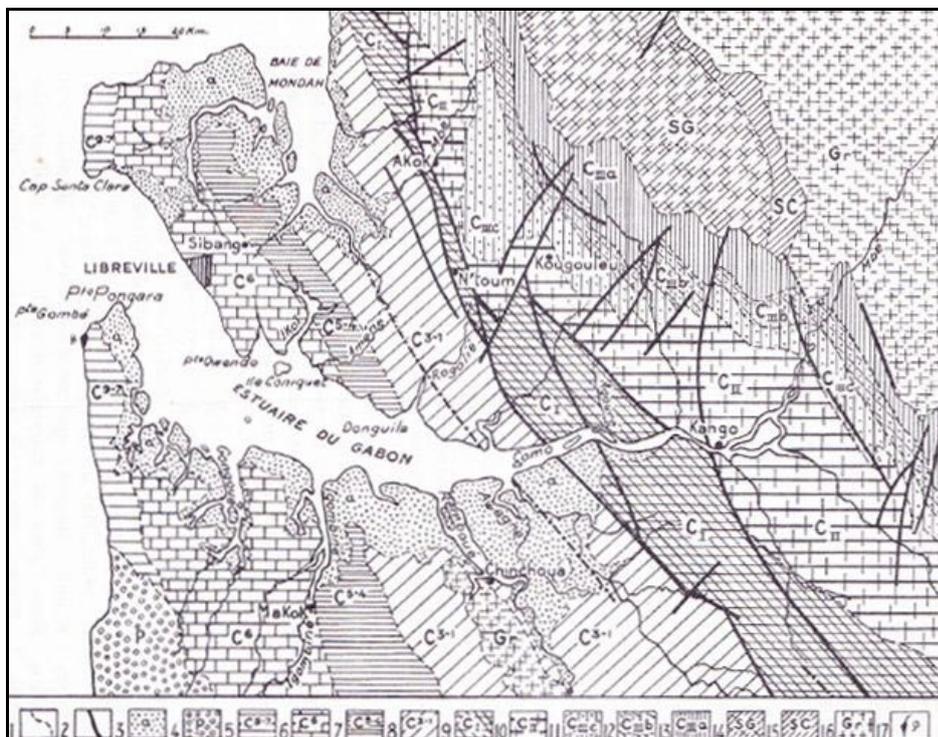
Pour mieux comprendre les phénomènes actuellement observables dans la zone littorale, et notamment l'érosion côtière, il n'est pas sans intérêt de rappeler quelques grandes transformations qui ont marqué la paléogéographie de la région de l'estuaire du Komo. L'estuaire du Komo appartient au grand ensemble du bassin sédimentaire côtier gabonais qui couvre une surface de 50000 km<sup>2</sup>, et mesure 700 km de long et 15 à 250 km de large. Cette couverture sédimentaire Congo-Gabon s'étend de l'embouchure du fleuve Congo au Sud jusqu'à l'estuaire du Rio Muni au Nord.

Sa mise en place est postérieure à la phase d'ouverture de l'Océan Atlantique sud, ayant conduit à la séparation des continents africain et sud-américain (Lebigre, 1983 ; Ala, Selley, 1997 ; Dupré et *al.*, 2011). Cet ensemble a connu de multiples modifications au cours des différentes périodes géologiques. À titre d'exemple, au Barrémien il a subi l'influence d'un bouleversement tectonique ayant provoqué le soulèvement du Horst cristallin Lambaréné-Chinchoua orienté SSE-NNO. Par la suite le remplissage Mésozoïque du bassin

sédimentaire, qui présente une grande continuité, a alors été scindé en deux parties Ouest et Est. Dans la partie Ouest, aux environs de Libreville et d'Owendo, les couches sédimentaires ont un pendage d'environ 1 à 5° en direction OSO conforme à l'histoire géologique de la mise en place du bassin sédimentaire gabonais (Bouma et *al.*, 1978).

Sur le plan tectonique, la région de l'estuaire se divise en deux sous-régions correspondant à deux ensembles bien distincts, comme le témoigne la remarquable dissymétrie des deux rives de l'estuaire du Komo. Il en résulte que la rive droite a connu une tendance au soulèvement, contrairement à la rive gauche qui a subi un affaissement. En effet, l'ensemble Libreville-Cap Estérias a réagi comme un horst, par rapport aux régions affaissées autour de la baie de la Mondah au nord et la rive gauche de l'estuaire au sud. Cette mise en relation avec ces mouvements tectoniques se justifie d'autant plus que la série de failles orthogonales orientées NO-SE (cassures liées à la déformation du socle cristallin) concorde pleinement avec la direction NO-SE très caractéristique du bassin extérieur de l'estuaire du Komo. Ces considérations structurales expliquent plusieurs traits morphologiques de la région de Libreville. Mais, il faut en outre également tenir compte d'un mouvement eustatique positif quaternaire, transgression flandrienne. La Figure 12, ci-après, présente la carte géologique de la région de l'estuaire.

**Figure 12:** Esquisse géologique de la région de l'estuaire du Komo



1. Limites des affleurements géologiques ;
2. Failles ;
3. Alluvions récentes ;
4. Sables plio-pléistocènes de la série des cirques ;
5. Sénonien à Danien ;
6. Turonien ;
7. Cénomanien ;
8. Albo-aptien ;
9. Aptien supérieur ;
10. Barrémien ;
13. Série anté-aptienne ;
14. Série supérieure schisto-gréseuse ;
15. Série inférieure schisto-calcaire ;
16. Socle ancien ;
17. Roches volcaniques récentes.

Source : Hourcq V. et Hausknecht J.-J. (1954) ; extrait de Lassere G. (1958).

Ces considérations structurales sont autant d'éléments explicatifs de certains traits morphologiques de la région de l'estuaire, notamment le large empâtement par les alluvions modernes de la rive gauche affaissée, et l'absence de celles-ci sur la rive droite (Lasserre, 1958). Sur la zone d'étude, deux formations sédimentaires sont présentes et conditionnent relativement la dynamique du trait de côte, à savoir : les calcaires de Sibang d'âge turonien et les alluvions récentes quaternaires.

Dans la région de l'estuaire, le bassin sédimentaire côtier est constitué de deux types de formations. D'une part, les terrains sédimentaires anciens d'âge précambrien, qui constituent le système de la Noya, et d'autre part les terrains sédimentaires récents datant du secondaires et tertiaires qui reposent en discordance sur les précédents (Mbina MOUNGUENGUI et *al.*, 2008). Les formations sédimentaires récentes sont constituées par une succession de faciès lacustres, continentaux, lagunaires et fluviomarins étroitement imbriqués. La région de Libreville est totalement recouverte par des terrains du groupe de Sibang aussi appelé série d'Azilé dont l'épaisseur varie de 500 à 600 mètres. C'est un ensemble transgressif donnant lieu en amont de la flexure à des dépôts d'une formation carbonatée : le calcaire de Sibang, d'âge turonien. Sur les plages de la zone d'étude, ces formations sont observables entre l'épi de l'hôtel Dialogue aux environs de l'aéroport de Libreville. Au-delà de l'aéroport jusqu'au Nord de la baie d'Akouango, la zone côtière présente des alluvions récentes correspondants aux sables marins quaternaires.

Par rapport au domaine immergé, l'estuaire correspond à un accident d'origine partiellement tectonique qui présente un fossé d'effondrement dans lequel les vases se sont accumulées sur un socle rocheux, avec des épaisseurs atteignant une quarantaine de mètres dans certains secteurs (Migniot et Brossard ; 1990). La genèse de la formation de cet estuaire remonterait à la grande régression marine de l'Ogolién entre 25 000 à 18 000 ans BP, période durant laquelle les fleuves côtiers ont creusé de profondes vallées incisées souvent guidé par les lignes de fractures datant du Crétacé et du Tertiaire. Durant cette période, les embouchures des fleuves se trouvaient à plusieurs dizaines de kilomètres au large de la côte actuelle et le niveau marin était à -110 m par rapport à 0 actuel (Giresse et *al.*, 1989 ; Pirazzoli, 1996). À cette époque, l'estuaire est représenté comme une large vallée parcourue par un cours d'eau. La transgression Holocène a abouti à l'ennoyage de la vallée fluviale transformée en une vaste ria. Au cours de la remontée du niveau de la mer, l'estuaire a été progressivement remblayé par des alluvions fluviales et des sédiments marins. Cela s'est fait de façon, incomplète, car une portion du talweg est encore bien dégagé entre l'Est de la pointe Pongara

et la passe de Penelope, dessinant ainsi un chenal comblé plus en aval par le transport vers le nord des sables littoraux et par les courants de houle (exemple du banc de Thémis). Dans l'estuaire, la sédimentation se caractérise en surface par des vases molles, généralement argileuses, résultant de l'alluvionnement du fleuve Komo. Les sables apparaissent le long de Libreville et la pointe Pongara (Lafond, 1967 ; Migniot et Brossard, 1990).

En conclusion, la zone d'étude est située à l'interface de deux systèmes dynamiques que sont respectivement le fleuve Komo et la mer, dont les interactions constituent la dynamique estuarienne. Dans le cadre de l'étude du fonctionnement actuel de ce système, il nous est paru capital de présenter les éléments physiques, dont les éléments constitutifs jouent un rôle essentiel dans la dynamique ainsi que la vulnérabilité de ce système côtier. Il s'agit principalement du cadre physique.

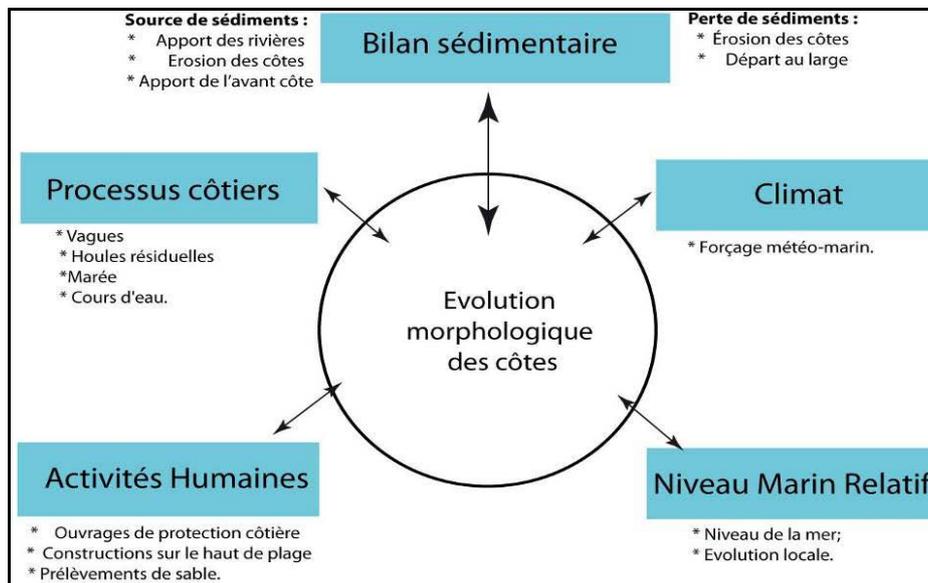
Le cadre physique englobe la morphologie de l'arrière-côte, la bathymétrie, la morphologie des plages, ainsi que les vitesses de recul de la ligne de rivage. La morphologie de l'arrière-côte, notamment dans la partie Nord de Libreville, se caractérise par une série de trois cordons littoraux disposés parallèlement au rivage. Le premier situé coté mer correspond au cordon actuel. Les deux autres sont des paléocordons qui aujourd'hui ont en partie ou en totalité, disparu en raison d'une exploitation intensive du sable et de l'occupation humaine. La bathymétrie de l'estuaire du Komo oscille entre 0 et -20 mètres, avec la présence d'un système de hauts fonds. Tout d'abord, il s'agit de nombreux bancs de sable culminant pour certains aux environs de -4 et -5 m. Ensuite, s'ajoute des affleurements rocheux alignés selon la direction des séries turoniennes et sénoniennes. Enfin, le plateau librevillois, dont la largeur est variable et qui joue un rôle majeur dans l'agitation à la côte.

Du point de vue l'estran, la zone d'étude est une côte basse caractérisée par la présence de plages de sables blancs peu étendues, dont la largeur à marée basse varie entre 30 et 80 m selon les coefficients de marée et la forme du profil de plage. La vitesse de recul du trait de côte varie entre 0,45 m/an et 4,28 m/an occasionnant des dégradations. Les sédiments, qui recouvrent le fond de l'estuaire du Komo, sont constitués en majorité par des éléments très fins du type vase mélangés en proportion variable à des sables fins. Le pourcentage de sable évolue de façon croissante depuis Owendo en direction de l'embouchure. Sur le plan géologique, l'estuaire du Komo est un accident d'origine partiellement tectonique. Son évolution est rattachée aux variations du niveau marin, en concordance avec les grands événements climatiques enregistrés dans le golfe de Guinée. Les formations sédimentaires récentes sont constituées par une succession de faciès : les calcaires de Sibang du Turonien et les alluvions récentes correspondant aux sables marins quaternaires.

## CHAPITRE 2 : LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE

Le littoral est un espace en constante évolution sous l'effet de multiples facteurs, dont la connaissance est indispensable pour caractériser l'environnement et évaluer sa vulnérabilité. Le but visé par ce chapitre est la description et l'analyse du milieu physique de l'environnement littoral de l'estuaire du Komo. Ces éléments constitutifs jouent un rôle essentiel dans la dynamique et la vulnérabilité de ce système côtier. La connaissance de ces éléments permet de mieux évaluer la vulnérabilité de cette frange littorale face à l'érosion côtière. La Figure 13, ci-après, présente une synthèse des interactions possibles entre les différents paramètres qui sont au cœur de l'évolution morphodynamique du milieu côtier.

**Figure 13:** Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes



Source : Thornton et al., 2000, modifié.

En effet, ces multiples facteurs et processus de contrôle conditionnent la variation des milieux littoraux, en fonction du temps et de l'espace. Certains de ces éléments seront analysés dans le cadre de notre travail.

### 2.1. Cadre climatique

Au Gabon, les données climatiques ont deux problèmes fondamentaux. Il s'agit, d'une part, de la mauvaise qualité des données archivées, de plus, l'accès aux données est assez complexe. D'autre part, la faible densité du réseau actuel de stations météorologiques ne permet pas de disposer de données sur de longues périodes (Maloba Makanga, 2010). Le Gabon bénéficie d'un climat équatorial à quatre saisons bien différenciées. C'est un régime

équatorial de semi altitude qui repose sur le balancement saisonnier de la zone de convergence intertropicale (ZCIT) au Nord et au Sud de l'Equateur, la dynamique des cellules anticycloniques (hautes pressions atmosphériques) et les principales discontinuités que sont le Front Intertropical (FIT) et la Convergence Interocéanique (CIO) tel de décrit par Maloba Makanga (2004).

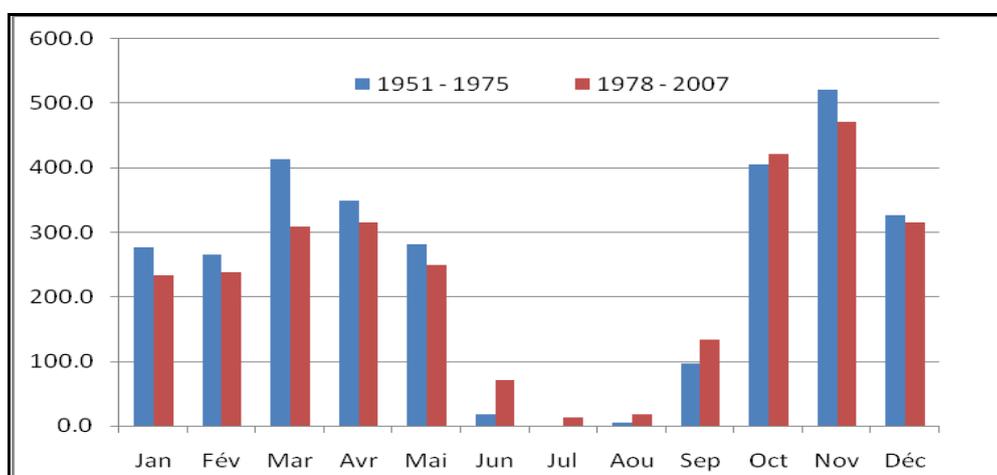
A l'instar de celui du pays tout entier, le climat de la province de l'Estuaire est de type équatorial, chaud et humide, et caractérisé par quatre saisons : une grande saison sèche de juin à aout, une petite saison des pluies septembre à novembre, une petite saison sèche de décembre à février et une grande saison des pluies de mars à mai (Maloba Makanga, 2010).

### 2.1.1. Les précipitations

Le Gabon connaît un climat tropical humide maritime (Litynski ,1985). Les totaux annuels de précipitation sont assez importants et varient de 1400 à 3000 mm. À Libreville, la pluviométrie est de 2870 mm (Maloba Makanga, 2010). Le régime des précipitations est caractérisé par deux saisons de pluies entrecoupées par deux saisons sèches. Les valeurs annuelles de la pluviométrie et du gradient pluviométrique mettent la région de Libreville dans le domaine climatique équatorial de transition de la zone centrale, et dans un sous climat dit estuarien (Saint-Vil, 1977). Ce sous climat se distingue d'abord par le volume énorme des précipitations interannuelles, variant entre 2000 et 3800 mm d'eau, ainsi que par le nombre de jours de pluie variant entre 170 et 200 jours par an.

La variation de la pluviométrie moyenne à la station de Libreville, pour les périodes 1951-1975 et 1978-2007, est présentée dans la Figure 14, ci-après.

**Figure 14:** Pluviométrie moyenne (mm) de la station de Libreville pour les périodes 1921-1975 et 1978-2007.



Sources : Données de la Direction de la Météorologie Nationale.

De manière générale, novembre et mars sont les mois les plus arrosés. Les pluies sont inégalement réparties dans le mois et au cours des années. Entre ces deux bornes pluvieuses, les valeurs décroissent les derniers jours de mai et croissent les derniers jours de septembre. Entre chaque tranche annuelle, on constate parfois des décalages dans les quantités d'eau précipitées. Ainsi, dans nos séries temporelles, ont été enregistrés des pics pluviométriques entre octobre et novembre (521,9 mm) et entre janvier et mars (413,6 mm).

La grande saison sèche, quant à elle, va de juin à août. Cette saison est très marquée du point de vue des précipitations, qui sont faibles par rapport au reste de l'année. En effet, les mois de juillet et août sont les moins pluvieux, avec des moyennes mensuelles qui sont pour nos séries temporelles autour de 13 mm et 18 mm.

### **2.1.2. Les vents**

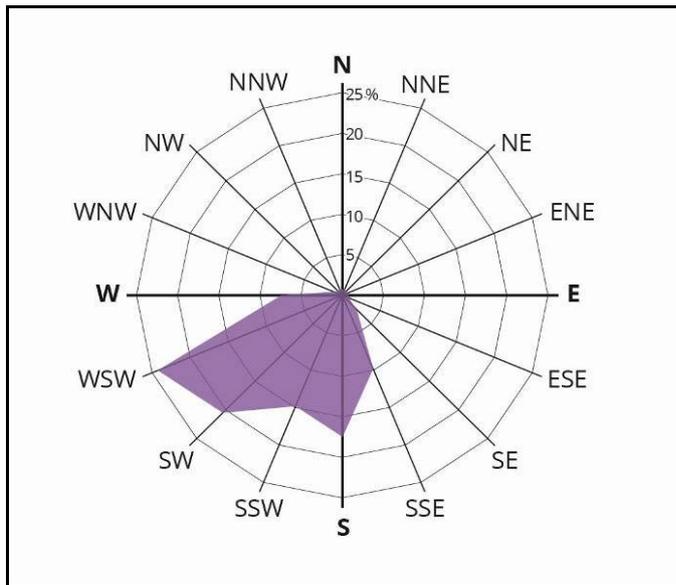
L'agitation de l'atmosphère par les vents fournit par friction (force de cisaillement à l'interface air-mer) l'énergie à la mer pour la création des vagues. Les vents sont donc la cause originelle de tout le transport de sédiments lié à la houle et les courants de dérive littorale.

De ce fait, connaître la direction et la force du vent est primordial pour toute étude du transport sédimentaire en zone côtière. À titre d'exemple, un vent parallèle au rivage est capable, suivant sa direction, de renforcer ou de ralentir la dérive littorale. Par ailleurs, un vent marin perpendiculaire à une plage accroît la cambrure des vagues, d'où une agressivité accrue au cours du déferlement. Cette situation peut engendrer de fait un démaigrissement de la plage. S'il s'agit d'un vent de terre, il diminue la hauteur des vagues, réduit leur cambrure, et ralentit leur avancée, ce qui engendre des conditions propices à une accumulation sableuse de la plage (Van Rijn, 1998).

Le régime des vents au Gabon est soumis au rythme des saisons climatiques avec, en saison sèche (juin, juillet et août), des vents dominants de secteurs sud à sud-ouest, voire une prédominance marquée pour le sud. La vitesse est comprise entre 4 et 6 m/s pendant la journée, et de 3 m/s pendant la nuit. En saison de pluie, prédominent deux régimes. Des vents dominants de secteur sud-ouest (Octobre) et de vitesse comprise entre 3 et 4 m/s pendant la journée et calmes la nuit ; et des vents de tornades de secteur nord-est à sud-est (Février, Mars et Avril), dont les vitesses sont de l'ordre de 15 m/s avec des pointes sud-est qui peuvent atteindre 20 m/s (Bonnefille, 1964).

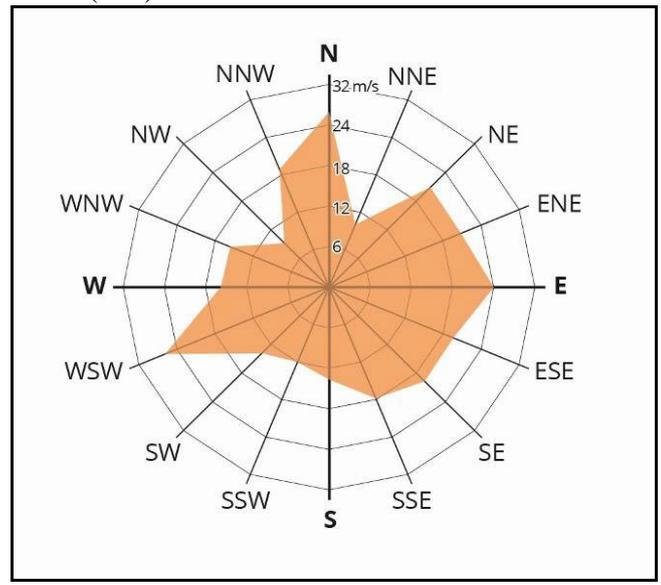
Pour le secteur de Libreville, les vents sont majoritairement en provenance du sud-ouest (Figure 15 et 16, ci-après).

**Figure 15:** Provenance principale des vents à Libreville.



**Source :** Données de la Direction de la Météorologie Nationale.

**Figure 16:** Rose des vitesses maximales des vents (m/s) à Libreville.



**Source :** Données de la Direction de la Météorologie Nationale.

Selon Saint-Vil (1977), durant juin-août, les vents de secteur sud et sud-ouest dominant de façon quasi exclusive : 90% à Libreville en juillet, sur près de 95% pour le quadrant sud-ouest. Aussi durant cette saison, on enregistre les calmes les plus importants (Maloba Makanga, 2010). Le Tableau 2, ci-après, présente les fréquences des directions des vents à Libreville pour la période 1981-1990.

**Tableau 2:** Fréquence (%) des directions du vent à Libreville (période 1981-1990)

Direction	jan	fev	mar	avr	mai	jui	jui	aou	sept	oct	nov	dec
Nord (N)	3	4	5	5	2	2	0	0	0	2	3	3
Nord-est (NE)	6	6	6	8	4	0	0	0	0	3	6	5
Est (E)	10	10	12	13	9	1	2	1	1	4	9	8
Sud-est (SE)	7	8	10	10	9	5	11	4	5	7	9	8
Sud (S)	20	20	18	18	30	52	48	50	41	37	31	28
Sud-ouest (SO)	26	25	23	22	28	33	33	37	37	33	29	31
Ouest (O)	21	22	18	17	14	7	6	7	10	11	10	12
Nord-Ouest (NO)	3	2	4	3	2	0	0	1	2	1	1	1
Vent calme	4	3	4	4	2	0	0	0	4	2	2	4

**Source :** Données de la Direction de la Météorologie Nationale.

En effet, l'essentiel des tempêtes a lieu lors des changements de saisons. Les vitesses de vents au sol sont faibles et réguliers, à l'exclusion des grains qui peuvent être violents mais de courte durée. Toutes les vitesses exceptionnelles de plus de 7 m/s caractérisent le début de tornades caractéristiques entre Février et Avril, au moment de la grande saison de pluie. Plus

généralement, Libreville est soumise aux brises de terre et de mer avec des forces variant entre 2 et 4 sur l'Echelle de Beaufort (Saint-Vil, 1977).

Par rapport à l'orientation de la côte (NO-SE), il est important d'apporter un éclairage sur l'action des vents et son impact morphodynamique le long de la rive droite de l'estuaire du Komo. Dans le cas présent, il s'agit principalement des vents provenant du quadrant Sud-ouest (environ 90%). En effet, l'orientation (NO-SE) de la rive droite de l'estuaire du Komo, associée à la prépondérance des vents dominants issus du quadrant Sud-ouest, semble être en contradiction avec l'idée la création d'un courant de dérive littorale sur la rive droite de l'estuaire du Komo allant du fond de la baie d'Akouango en direction d'Owendo. Cependant, c'est la configuration du site abrité et le contexte de l'estuaire du Komo qui favorisent ce courant côtier.

Ainsi, la réfraction de la houle à l'entrée de l'estuaire va engendrer des houles résiduelles désormais orientées vers le SSE qui, en se propageant sur la rive droite de l'estuaire, vont créer une dérive littorale globalement orienté vers le SE depuis la Baie d'Akouango en direction d'Owendo. Ce point sera davantage développé dans la section relative à la propagation de la houle et des courants de dérive littorale.

En ce qui concerne la plage aérienne, aucun modèle éolien n'est observable sur les plages du Gabon en général, et celles de la zone d'étude en particulier. En principe, le sable de plage est mobilisable vers le continent par les vents dont la conséquence est la construction des corps dunaires. Ici, bien que les vents soient parfois de fortes intensités, aucune mobilisation du sable d'estran n'est enregistrée. On peut alors conclure que la dynamique éolienne actuelle est absente dans les processus de la morphogenèse côtière. Les raisons peuvent être multiples, parmi lesquelles la faible vitesse des vents associée au fait que les plages creusées par le ressac sont trop cambrées et bordées, proche de la ligne de rivage, d'une végétation trop dense pour qu'une déflation puissent être active (Peyrot et *al.*, 1990 ; Mombo, 1991).

## **2.2. Cadre hydrographique**

L'hydrographie est étroitement liée au climat. En effet, les précipitations au Gabon sont généralement abondantes, avec un maximum entre octobre et novembre et de février à avril. Ainsi, l'intensité des précipitations va conditionner le débit fluvial et donc le transport

sédimentaire du continent vers le littoral. Dans la zone d'étude, le réseau hydrographique est composé de plusieurs types de cours d'eau (Rebuffat, 1969).

Nous avons d'une part les rivières naturelles et, d'autre part, les rivières anthropiques. Les rivières naturelles sont Gué-Gué, Soumbara et Otendé. Entre les bassins versants des rivières Otendé et Soumbara on distingue la présence de lacs, et des couloirs marécageux à végétation semi aquatique localisés entre des cordons littoraux disposés parallèlement au rivage.

À ces rivières naturelles s'ajoutent des petites rivières dites anthropiques, dont l'embouchure a été créée suite à la fragilisation du cordon littoral par les activités d'extraction de sable. La conséquence est la mise en place de deux nouvelles embouchures qui drainent les lacs et les couloirs marécageux à végétation semi aquatique. Pour notre travail, ces rivières seront appelées Simba1 et Simba 2 localisées respectivement à la Plage du Remorqueur et au lieu-dit La Cocoteraie. À ces deux embouchures d'origine anthropique s'ajoute une troisième de type canalisation ouverte par le Programme d'Aménagement des Bassins-Versants de Libreville du Ministère de l'Équipement, des Infrastructures et de l'Aménagement du Territoire, afin de lutter contre les inondations. Cette embouchure se situe au niveau de la base de la Garde Républicaine à La Sablière.

À ces rivières permanentes, il faut associer : d'une part, des anciennes rivières aujourd'hui disparues suite aux modifications anthropiques et, d'autre part, des rivières temporaires qui ne se manifestent que lors des grands épisodes pluvieux. Les photos 9 à 12, ci-après, présentent quelques embouchures de rivières rencontrées dans la zone d'étude.

**Photo 9 :** Embouchure de la rivière Gué-Gué à Libreville.



Cliché : Mouyalou V. M. T., octobre 2015

**Photo 10 :** Embouchure de la rivière Otendé à Akanda.



Cliché : Mouyalou V. M. T., mai 2015

**Photo 11 :** Embouchure de la rivière Simba2 au lieu-dit La Cocoteraie.



Cliché : Mouyalou V.M. T., Novembre 2014.

**Photo 12 :** Embouchure de la rivière Simba 1 à la Plage du Remorqueur.

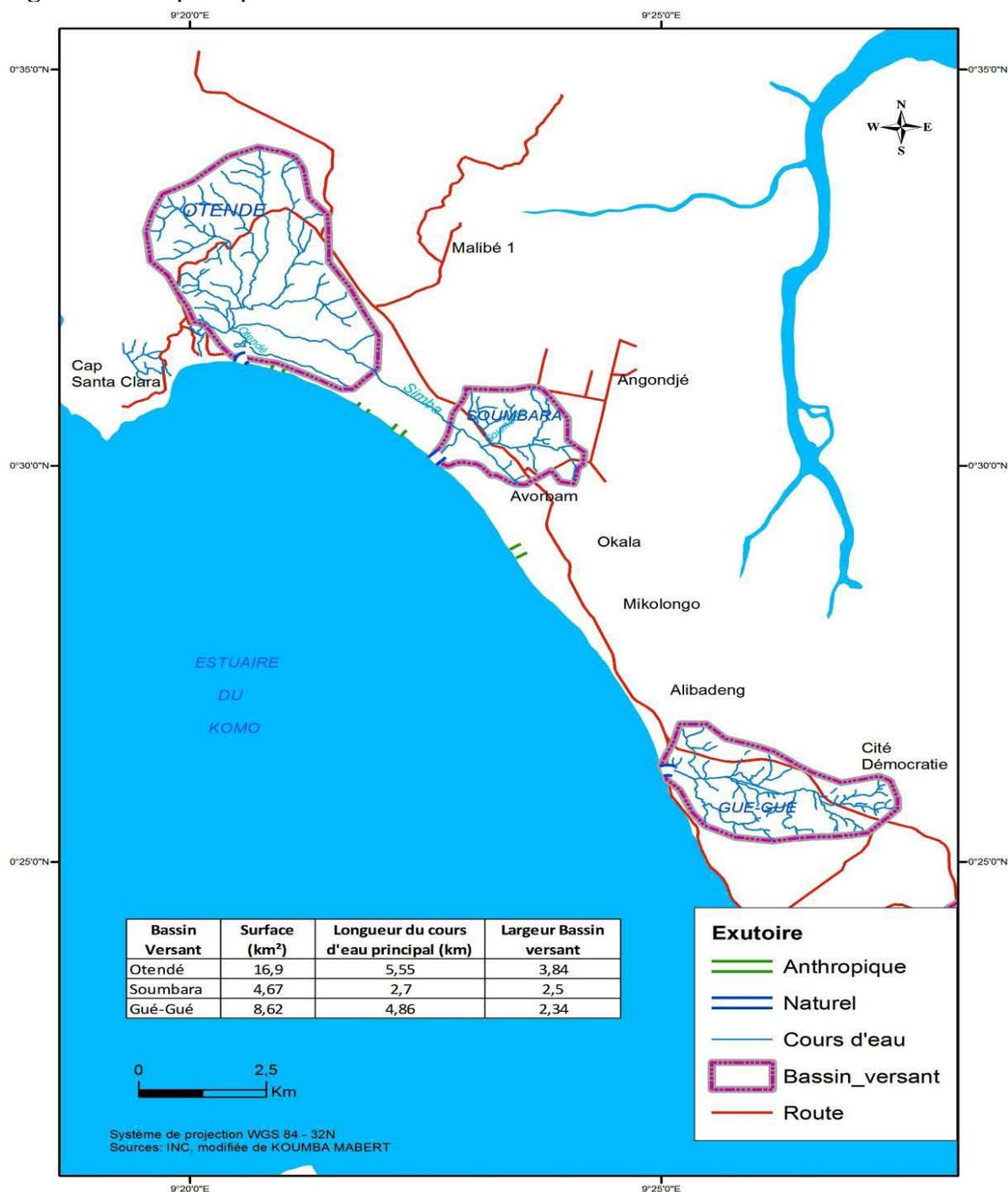


Cliché : Mouyalou V. M.T., Mars 2013

Cette influence de l'homme a eu pour conséquence le remodelage du paysage hydrographique et, par voie de conséquence, les différents bassins et sous-bassins versants dans notre zone d'étude. De ce fait, on obtient un paysage hydrographique axé autour de trois principaux bassins versants correspondant à chaque embouchure.

La Figure 17, ci-après, présente les trois principaux bassins versants ainsi que les caractéristiques hydrologiques de ces principales rivières. Du sud vers le nord, les bassins des rivières dans la zone d'étude sont Gué-Gué, l'ensemble Otendé et Soumbara .

**Figure 17:** Les principaux bassins versants de la zone d'étude



Nous ne disposons pas d'information ou de données sur la relation entre les caractéristiques hydrologiques et leur capacité d'apport de sédiments sableux au système côtier. Toutefois, on peut affirmer que la petitesse des cours d'eau, de leurs bassins versants et la faiblesse de leurs débits donnent des apports fluviaux médiocres et donc, une faible contribution à la dynamique morphosédimentaire (Mombo, 1991).

## 2.3. Les conditions hydrodynamiques

### 2.3.1. Vitesse et direction du courant dans l'estuaire du Komo

Les données sur les courants présentées dans cette section proviennent du rapport d'étude sur le comportement hydrosédimentaire de l'estuaire du Komo réalisé par DHI (2010). L'objectif visé par cette étude est la compréhension et la quantification du phénomène d'envasement qui est une problématique majeure au port d'Owendo (DHI, 2010). Les mesures des courants ont été réalisées le long de trois transects en travers de l'estuaire localisés respectivement entre la pointe Pongara et le Port-Môle, le port d'Owendo et l'île Perroquet, et enfin entre la Pointe Gongoué et Donguila (Figure 18, ci-après). Ces mesures de courant ont été effectuées, à l'aide d'un courantomètre ADCP RDI 600 kHz avec option *fast ping*.

**Figure 18:** Localisation des transects de mesure de courants dans l'estuaire du Komo



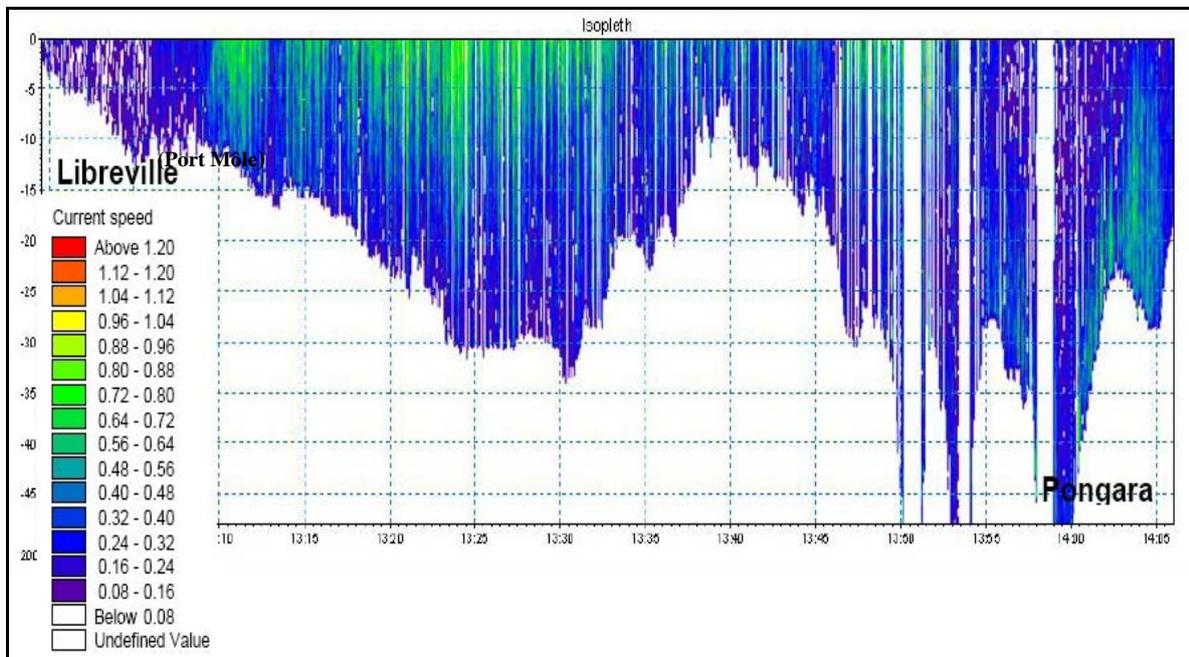
Source : DHI ,2010.

#### 2.3.1.1. Les vitesses des courants

Les vitesses de courants présentés ici proviennent des mesures effectuées le long de trois transects en travers de l'estuaire comme décrits ci-avant. Les résultats des mesures de courant suivant les trois transects en travers de l'estuaire du Komo sont présentés dans les Figures 19, 20 et 21, ci-après.

La Figure 19, ci-après, présente les vitesses de courant en fonction de la profondeur le long du transect Libreville (Port Môle) et la Pointe Pongara.

**Figure 19:** Vitesses de courant entre Libreville (Port-Môle) et la Pointe Pongara

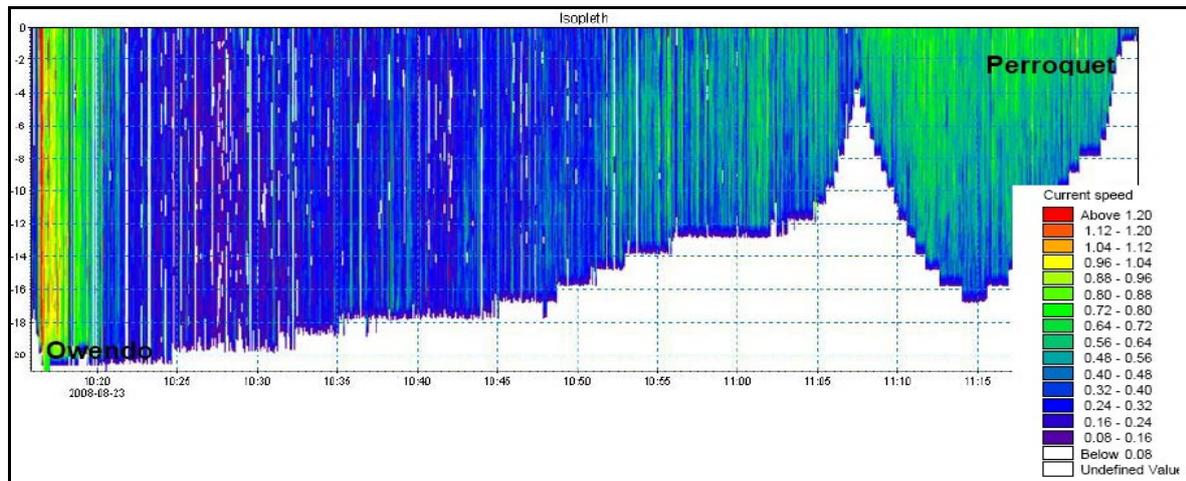


Source : DHI ,2010.

Ces mesures ont été réalisées le 21 août 2008, entre 14h et 15h15 heure locale, correspondant précisément au début du flot. D'une manière générale la vitesse du courant varie énormément en fonction des facteurs bathymétriques. En effet, les vitesses du courant les plus élevées sont enregistrées en surface au large du plateau librevillois et à proximité du banc de Pongara, correspondant aux chenaux de navigation. Les vitesses varient entre 0,88 et 1,04 m/s. À ces vitesses de surface particulièrement élevées, on note à proximité de la Pointe Pongara un important courant en profondeur dont la vitesse varie autour de 0,72 à 0,96 m/s. Sur le plateau librevillois ainsi que pour des profondeurs inférieures à dix mètres, les courants sont faibles de 0,08 à 0,16 m/s, tout comme pour le fond de l'estuaire le long du profil.

La Figure 20, ci-après, présente les vitesses de courants en fonction de la profondeur le long du transect Owendo Ile Perroquet. Tout comme pour le précédent transect, la vitesse du courant varie également en fonction du même paramètre.

Figure 20: Vitesses de courant entre Owendo et l'île Perroquet

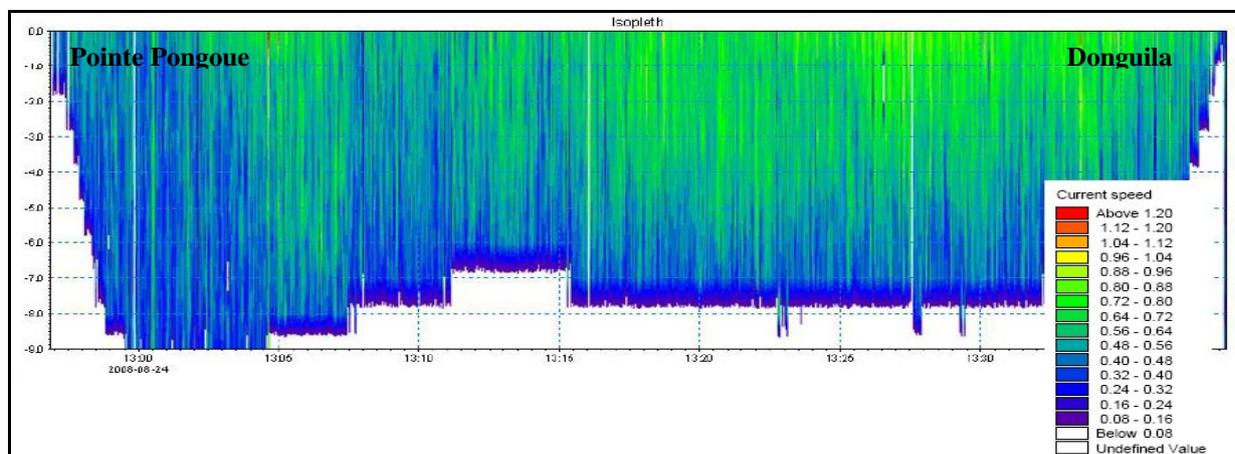


Source : DHI ,2010.

Ces mesures ont été effectuées le 23 août 2008, entre 11h20 et 12h20 heure locale, correspondant précisément à la phase de jusant. Les vitesses de courant les plus élevées sont enregistrés au niveau dans la zone d'Owendo, où l'on a des profondeurs les plus importantes jusqu'à 20 mètres. Dans ce secteur, les vitesses les plus élevées sont autour 1,20 m/s sur l'ensemble de la colonne d'eau. Par contre sur l'autre rive (Ile Perroquet), les vitesses sont moins importantes. Elles sont de l'ordre de 0,9 m/s en surface, et cela jusqu'à des profondeurs de 4 à 6 mètres. Au centre du transect tout comme au fond, les vitesses sont faibles avec des valeurs comprises entre de 0,08 et 0,16 m/s.

La Figure 21, ci-après, quant à elle, correspond aux vitesses de courant entre la Pointe Gongoué et Donguila le 24 août 2008, entre 14h00 et 14h30 heure locale, correspondant précisément au jusant.

Figure 21: Vitesses de courant entre la Pointe Gongoué et Donguila



Source : DHI ,2010.

Hormis la variation du courant en fonction de la profondeur, on note également une variation d'une rive à l'autre. En effet, sur la rive gauche de l'estuaire les vitesses sont plus importantes qu'au niveau de Donguila. Cela s'explique par le caractère exposé de cette rive par rapport à la zone de Donguila. Ici les vitesses des courants sont plus élevées en surface, où elles atteignent jusqu'à 0,9 m/s ; contrairement au fond, où elles sont autour de 0,08 à 0,16 m/s. D'une manière générale, on note que les vitesses des courants dans l'estuaire dépendent à la fois de la profondeur et des processus tidaux. Le Tableau 3, ci-après, présente les vitesses minimum et maximum du courant suivant les transects.

**Tableau 3:** Synthèse des vitesses de courant dans l'estuaire du Komo

Localisation	Phase de la marée	vitesse de courant (m/s)	
		minimum	maximum
Libreville (Port-Môle) et la Pointe Pongara	flot	0,08	1,12
Owendo et Ile Perroquet	jusant	0,08	1,20
Pointe Gongoue et Donguila	jusant	0,08	0,96

Source : DHI, 2010, modifié.

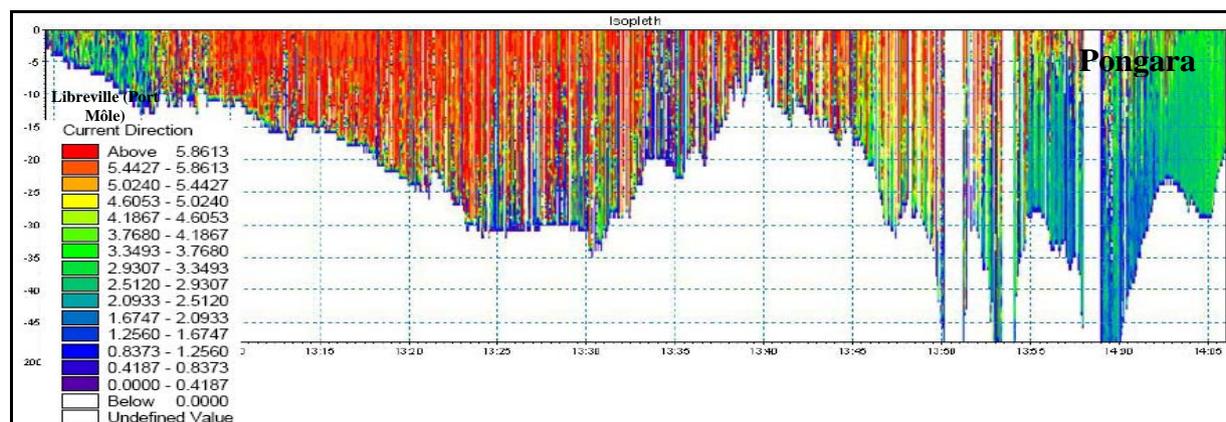
D'une manière générale, les vitesses de courant les plus importantes sont enregistrées lors de la phase de jusant. Il faut également préciser que ces importantes vitesses se localisent au niveau de l'ensemble de la masse d'eau. Le cas le plus éloquent est le transect Owendo et Ile Perroquet, pour lequel on enregistre les vitesses de courant les plus importantes jusqu'à des profondeurs de plus de 20 m. Cela se justifie par l'effet de vidange de l'estuaire du Komo lors du jusant.

### 2.3.1.2. Les directions des courants

Les directions des courants présentées ici proviennent des mesures effectuées le long de trois transects en travers de l'estuaire. Les résultats des mesures de courant, suivant les trois transects en fonction de la bathymétrie, sont présentés dans les Figures 22, 23 et 24, ci-après. Par rapport à l'unité utilisée (radian), pour des besoins de conversion 1 radian correspond environ à 57°.

La Figure 22, ci-après, présente les directions de courant en fonction de la profondeur le long du transect Libreville (Port-Môle) et Pointe Pongara.

**Figure 22:** Directions des courants entre Libreville (Port- Môle) et la Pointe Pongara

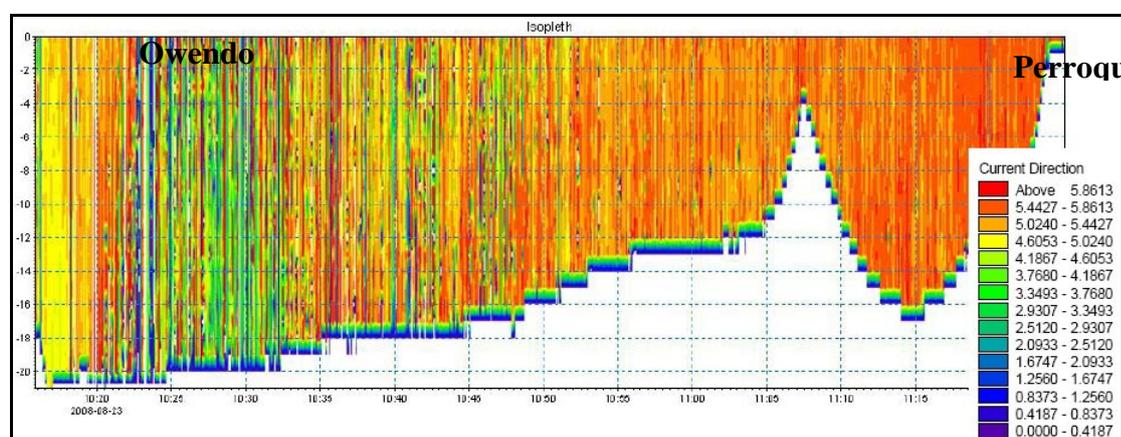


Source : DHI ,2010

Cette mesure a été réalisée le 21 août 2008, entre 14h et 15h15 heure locale, correspondant précisément au début du flot. Les directions des courants sont assez variables entre le Port- Môle de Libreville et la Pointe Pongara. À Pongara, les directions de courant varient entre 210° et 240, °contrairement à Libreville où les directions sont autour de 260° et 290°. On constate également que les directions des courants varient énormément en fonction de la profondeur. En profondeur, les courants ont une direction comprise entre 90° et 120°. En surface, les directions de courant sont comprises entre 270° et 290°.

Cette mesure des directions nous permet de déduire que les courants de surface au moment de cette mesure provenaient principalement du nord-ouest, ce qui est conforme à la période de flot. La Figure 23, ci-après, concerne la direction des courants pour le transect Owendo-Ile Perroquet réalisé le 23 août 2008 entre 11h20 et 12h20, correspondant précisément à la phase de jusant.

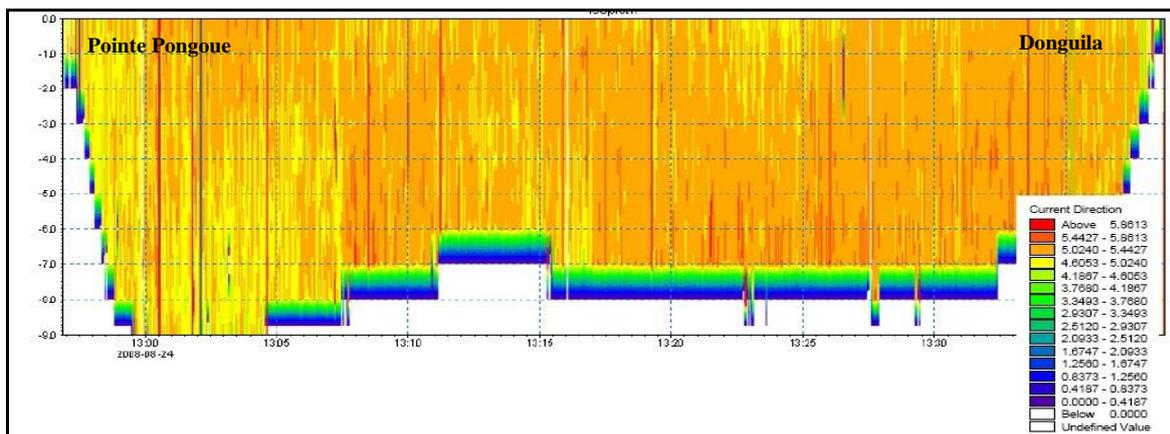
**Figure 23:** Directions des courants entre Owendo et Ile Perroquet



Source : DHI ,2010.

Les directions des courants varient à la fois suivant le transect et la profondeur. D'une manière générale, les directions des courants sont quasi uniformes du côté de Perroquet (environ 300°). De plus, du côté de Ile Perroquet, les directions des courants sont uniformes dans la colonne d'eau, à l'exception du fond. Du côté d'Owendo, la situation est également identique. Les directions de courants, au niveau de la zone la plus profonde correspondant au chenal de navigation, sont relativement homogènes (260-275°). Cet état de chose contraste pleinement avec le reste du transect, notamment au large d'Owendo où les directions des courants sur l'ensemble de la colonne d'eau présentent un large spectre de direction. La Figure 24, ci-après, présente la direction des courants entre la Pointe Gongoué et Donguila pour des mesures de direction réalisées le 24 août 2008, entre 14h00-14h30, durant la phase de jusant.

**Figure 24:** Directions des courants entre la Pointe Gongoué et Donguila



Source : DHI ,2010

La direction des courants est relativement homogène sur l'ensemble du transect avec des directions d'environ 290°, à l'exception du fond Est des berges.

D'une manière générale, les directions des courants varient en fonction de la profondeur et de la marée. Le Tableau 4, ci-après, présente la synthèse des directions des courants suivant les profils et en fonction des différentes phases de la marée.

**Tableau 4:** Synthèse des directions de courant dans l'estuaire du Komo

Localisation	Direction (°)	Orientation	Phase de la marée
Libreville (Port- Môle) et Pointe Pongara	270-290	NO-SE	flot
Owendo et Ile Perroquet	300-320	SO-NE	jusant
Pointe Gongoué et Donguila	290-310	SO-NE	jusant

Source : DHI, 2010, modifié.

La phase de flot se caractérise par des directions comprises entre 270° et 290°. Ces directions correspondent globalement à l'orientation NO-SE conforme à la période de flot. Cette orientation correspond globalement à l'axe de l'estuaire du Komo. À l'inverse, durant la phase de jusant, les directions sont différentes et comprises entre 290° et 320°. D'une façon générale, ces directions correspondent à l'orientation SO-NE. Cette orientation symbolise la phase de vidange des eaux en provenance du Komo, dont l'écoulement se fait de manière préférentielle le long de la rive droite de l'estuaire du Komo. Cela explique l'orientation SO-NE des courants.

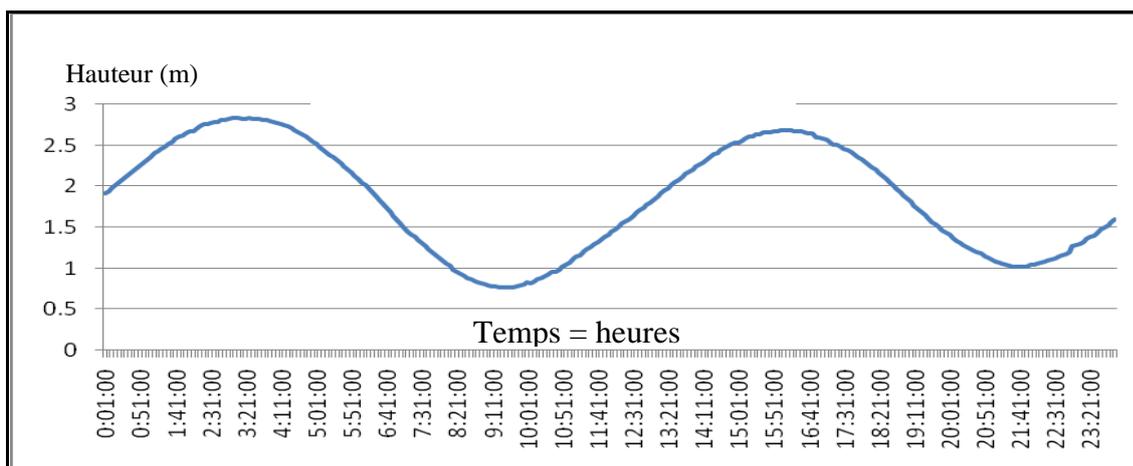
### 2.3.2. Les paramètres de la marée

#### 2.3.2.1. La marée et le marnage dans l'estuaire du Komo

La marée est un phénomène d'origine astronomique correspondant à la manifestation de la loi de gravitation universelle appliquée au système formé par la Terre, le Soleil et la Lune, aboutissant à plusieurs rythmes de la marée.

Le premier, le rythme semi diurne, est caractérisé par deux marées hautes et deux marées basses à fortes inégalités par jour lié à la rotation de la Terre autour du Soleil. Les données du marégraphe du Port commercial d'Owendo permettent de mettre en évidence cette inégalité sur 24h (Figure 25, ci-après).

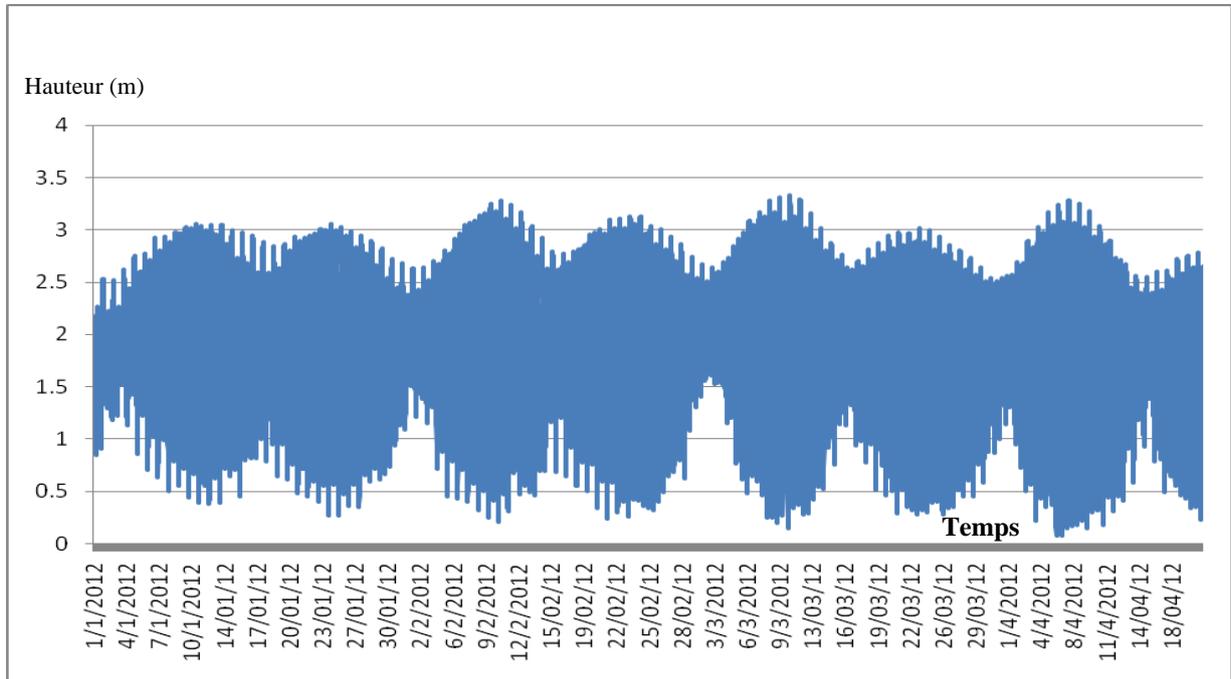
**Figure 25:** Courbe de la marée du 1<sup>er</sup> Décembre 2009 au port commercial d'Owendo



Source : Données Gabon Port Management (GPM)

Le deuxième est le rythme mensuel qui correspond aux marées de vives Eaux et Mortes Eaux liés à l'action de la Lune, comme l'illustre la Figure 26, ci-après.

**Figure 26:** Variation de la marée au port commercial d'Owendo du 1<sup>er</sup> janvier au 19 avril 2012



Source : Données Gabon Port Management (GPM).

Le Tableau 5, ci-après, présente quelques paramètres de la marée à Libreville et Owendo.

**Tableau 5:** Paramètres de la marée à Libreville et Owendo

Localités	Paramètres de la marée					
	Niveau maxi	Niveau moyen	Niveau mini	Marnage	Flot (m/s)	Jusant (m/s)
Libreville	2,35	1,30	0,2	2,15	1,0	2,0
Owendo	2,50	1,40	0,2	2,30	1,0	2,5

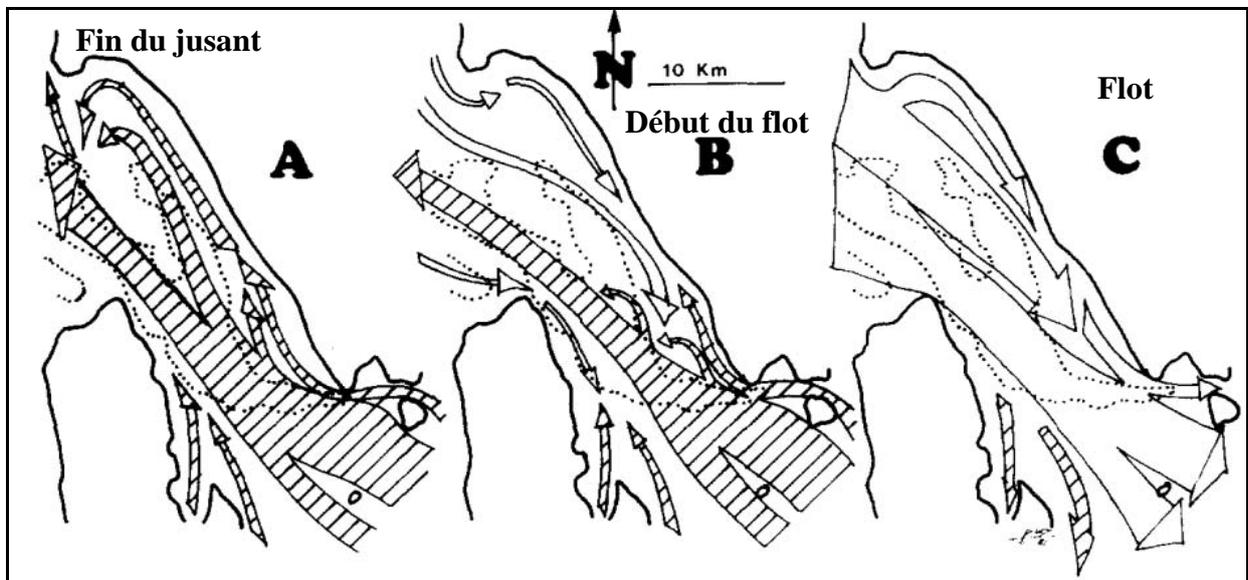
Source : Gabon Port Management, modifié.

Le marnage moyen à Libreville est de 1,3 m avec un maximum de 2,35 m aux marées de vives eaux (en syzygie : nouvelle lune et pleine lune) et un minimum de 0,2 m aux marées de mortes eaux (en quadrature : premier et dernier quartiers). Au cours de l'année, les marées de vives-eaux les plus importantes se produisent au voisinage des équinoxes (en Mars et Septembre), quand le soleil vient de franchir l'équateur (Schepers et *al.*, 1993 ; Guerin, 2004 ; Guérin, 2013).

### 2.3.2.2. Les courants de marée dans l'estuaire du Komo

Les courants de marée jouent un rôle majeur dans la dynamique sédimentaire générale de l'estuaire du Komo, où les processus tidaux sont régis par une succession de phases de flot et jusant. Une synthèse des travaux de Weydert et Weydert (1982) illustre bien ce processus. Les particularités topographiques sous-marines, notamment la présence de bancs de sables à l'entrée de l'estuaire, la présence de hauts fonds le long du littoral de Libreville et la forme estuarienne avec une baie allongée sont autant de facteurs déterminants dans le processus de circulation des courants de marée (Figure 27, ci-après)

**Figure 27:** Les courants de marée dans l'estuaire du Komo



Source: Weydert P., Weydert O., 1982.

Au jusant, un courant principal puissant passe entre les îles Perroquet et Conniquet, suit le chenal de navigation, le long de la rive gauche de l'estuaire, et s'incurve vers l'Ouest pour déboucher en haute mer.

L'écoulement des eaux dans l'estuaire depuis l'amont rejette l'ensemble des eaux de "panache" vers le Nord. Les grands bancs sableux, qui prolongent la pointe Pongara vers le large (Banc de Pongara, Banc de la Mouche), ont été modelés par la combinaison de ces actions hydrodynamiques. Une partie des eaux du jusant, au niveau d'Owendo, se sépare de ce courant principal pour former le courant librevillois qui longe la rive droite de l'estuaire. Sur les petits fonds du plateau librevillois, ce courant est considérablement freiné. Le courant librevillois longe ensuite tout le littoral de la baie d'Akouango et est dévié en fin de parcours vers le Sud-ouest par les hauts fonds rocheux qui prolongent le Cap Santa Clara au Sud-ouest.

L'axe principale de l'estuaire, à proximité de l'embouchure, se caractérise par la présence de hauts fonds (Banc du Sud-est, Banc du Milieu, Rochers de Vialètes, Banc de Caraïbe, Banc du Nisus), dont l'alignement sépare assez nettement le courant principal du courant librevillois. Ce secteur est parcouru par tout un système de courants complexes.

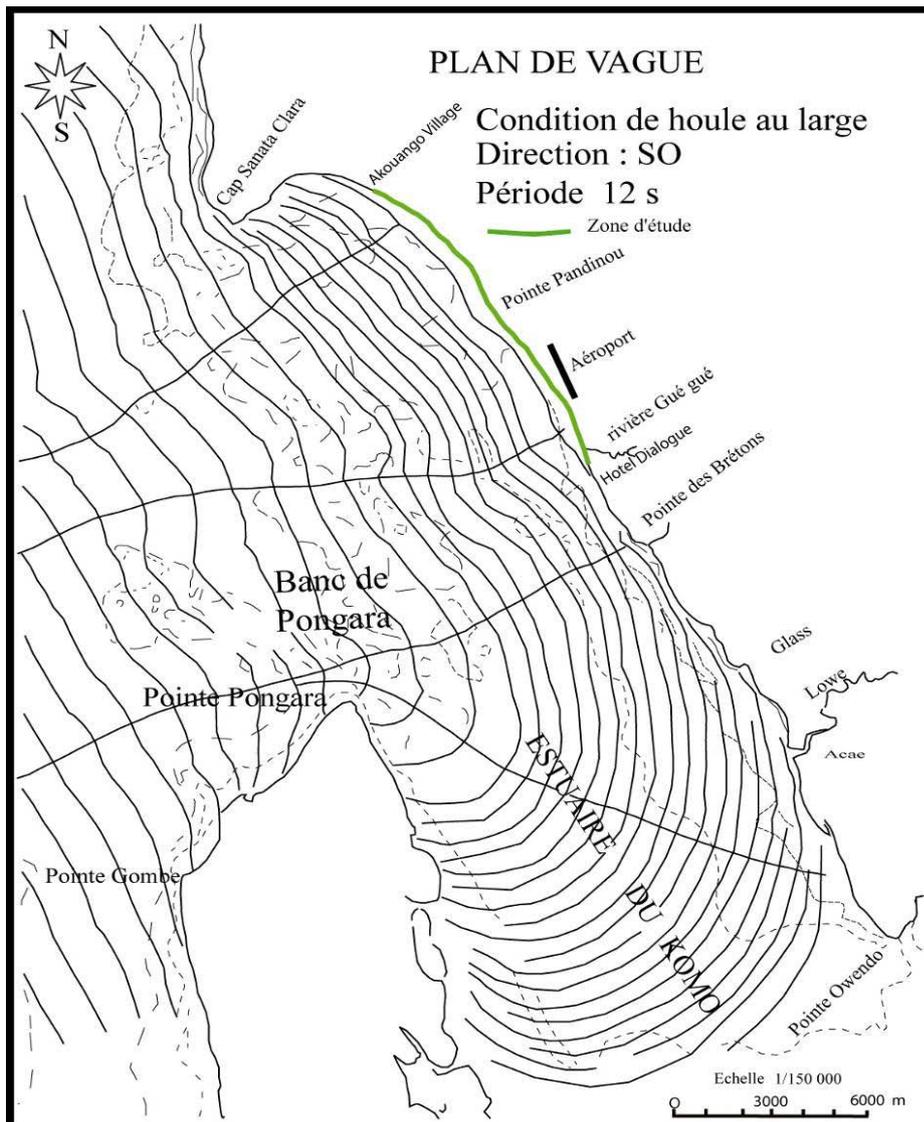
Au début du flot, la situation est complexe. Le courant principal continue de sortir par le chenal de navigation et il se heurte au flot. Il se produit devant la bouche de l'estuaire une barre parfois importante. Ne pouvant emprunter facilement le chenal, le flot pénètre dans l'estuaire par la baie de la Sablière. Toutes les eaux turbides, qui se trouvaient dans la baie de la Sablière et devant Libreville et qui n'avaient pas eu le temps d'atteindre la haute mer lors de la précédente phase de jusant, sont repoussées vers l'amont. Au moment de la reverse, les courants sont faibles ou nuls, ce qui a pour effet de favoriser la sédimentation fine et très fine dans la baie de la Sablière et devant Libreville.

Au flot, un courant rapide et fort suit le chenal de navigation. En grande partie il s'agit d'eaux marines claires et qui s'engouffrent dans l'estuaire dans le sens du courant de dérive littorale. Un autre courant, le courant librevillois, passe au nord du secteur des bancs. Ces eaux sont très turbides, car il s'agit en grande partie d'eaux estuariennes relativement diluées. Celles-ci n'atteignent pas la haute mer, mais elles remettent en suspension les phases fines déposées dans la baie d'Akouango et devant Libreville. Donc, au moins au début du flot, ces eaux refoulées dans l'estuaire repassent devant Libreville. Le flot, en remontant, repousse les eaux turbides saumâtres dans les chenaux de marée. Il se produit alors des phénomènes de floculation générateurs des bouchons vaseux. Ces derniers sont observés aux entrées des grands chenaux de marée dans un contexte de marais maritimes à mangroves, dans la quasi-totalité de la rive gauche et le fond de l'estuaire du Komo.

### **2.3.3. Les houles, les vagues dans l'estuaire du Komo**

L'action des houles est déterminante dans le processus de la dynamique côtière. La côte gabonaise est dominée par des houles du secteur sud-ouest (Guilcher, 1954<sup>a</sup> et 1954<sup>b</sup>). Venant du large, celles-ci s'atténuent fortement lorsqu'elles pénètrent dans l'estuaire du Komo, du fait de la réfraction provoquée par la pointe et le banc de Pongara, et les courants de vidange du fleuve Komo. En effet, après avoir brisé sur le banc et la pointe de Pongara, toutes les houles abordent l'estuaire du Komo et le plateau de Libreville avec une faible incidence, comme l'illustre le plan de vagues (Figure 28, ci-après).

**Figure 28:** Plan des vagues en provenance du large



Source : Bonnefille, 1964 ; modifié.

Sur la base des plans de réfraction de la houle au large de la pointe Pongara, des mesures de l'incidence des houles de secteurs SO ont été faites sur le littoral de Libreville.

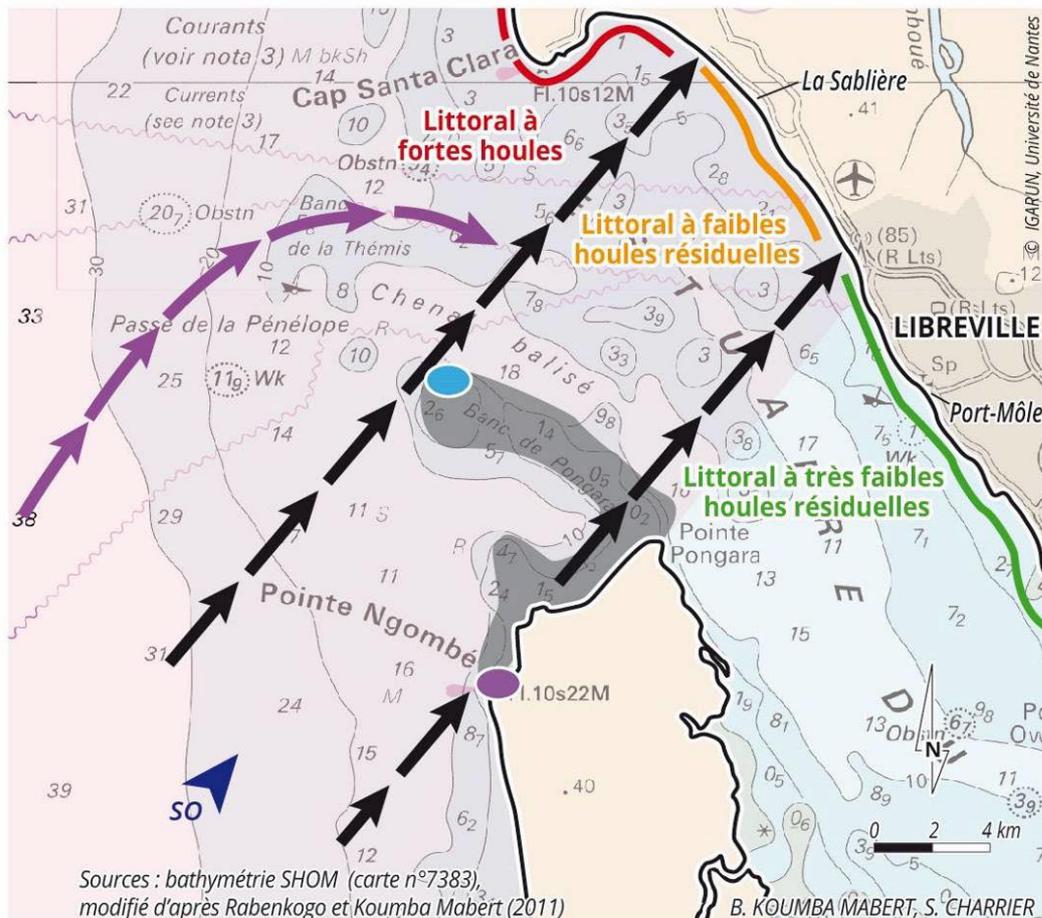
Celle-ci est comprise entre 5 et 15, ° soit une moyenne de 10°, alors que la même houle aborde la côte, entre les pointes Gombé et Pongara, avec une incidence voisine de 30° (Mombe Nguema, 2000).

Dans l'estuaire, les creux varient entre 0,33m (la moyenne) et 0,66 m (le maximum), soit environ le tiers ; comparativement aux paramètres de la houle du large de l'estuaire mesurées à la pointe Gombé qui ont des périodes de 10 à 12 secondes et où le creux moyen est de 1,0 mètre pour un maximum de 1,8 m (Bonnefille, 1964).

Migniot et Brossard (1990) ont même notifié une agitation résiduelle, de l'ordre de 0,25 m à 0,5 m dans l'estuaire, issue de l'atténuation de la houle venant du large. A cette

houle résiduelle s'ajoutent les clapots dus aux coups de vent de Sud-est et de l'Est, qui peuvent soulever des vagues atteignant 0,5 m à 1 m au milieu de l'estuaire avec des périodes extrêmement courtes pouvant avoisiner les 4 secondes. De cette situation il en résulte plusieurs niveaux d'exposition de la côte à la houle résiduelle (Figure 29, ci-après).

**Figure 29:** Comportement de la houle à l'entrée et dans l'estuaire du Komo



- zone directement soumise aux houles du large
- haut-fond faisant déferler la houle
- houle comprise au large entre N175° et N225°
- houle diffractée en entrant dans l'estuaire du Komo
- point de réfraction de la houle
- point de diffraction de la houle
- vent dominant du Sud-Ouest

Sources : Bathymétrie SHOM (carte n°7383), modifié d'après Koumba Mabert B., (2011), S. Charrier ; in Pottier P., Menié Ovono Z., Faure FE. et Bignoumba G.S., 2017.

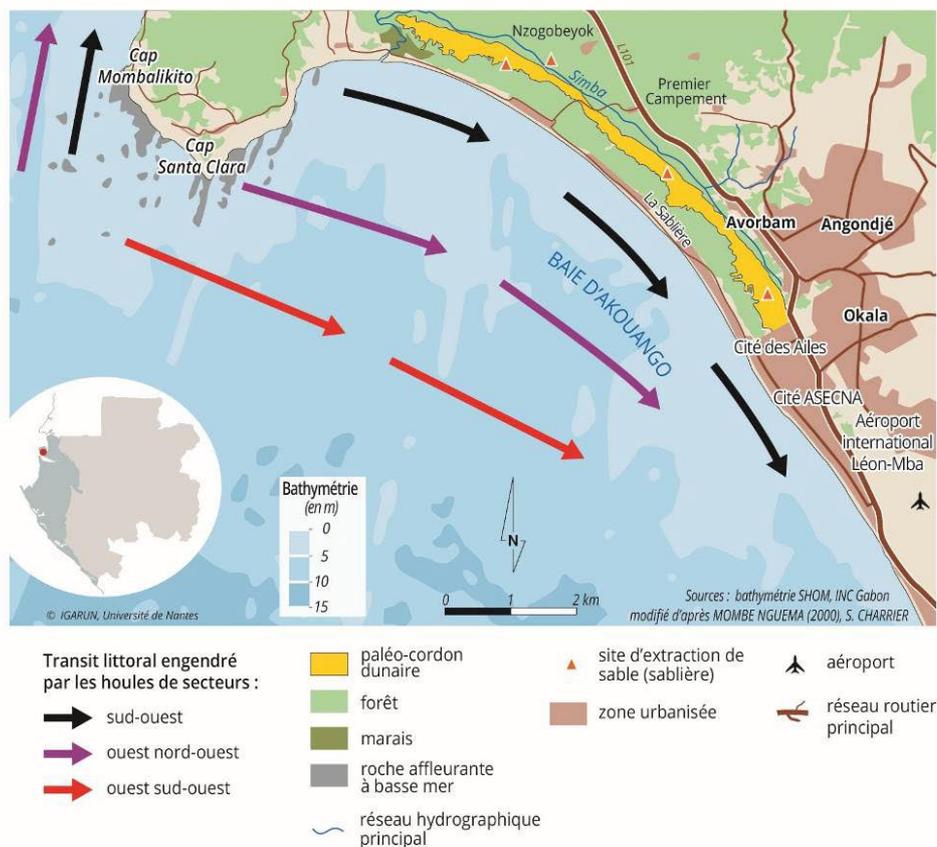
Exceptionnellement, un clapot d'une amplitude 1,5 m et de 3 à 5 secondes de période aurait été observé le 20 novembre 1962.

D'une manière générale, dans l'estuaire du Komo, ce sont les effets induits par les houles du sud-ouest qui sont particulièrement actives, comparativement à celles de l'ouest sud-ouest et de l'ouest nord-ouest (Bonnefille, 1964).

### 2.3.4. Dérive littorale sur la rive droite de l'estuaire du Komo

Le transit sédimentaire est le déplacement longitudinal des sédiments sur la côte, sous l'impulsion des courants de dérive littorale engendrés par l'obliquité de la houle par rapport à la côte. Le long de la rive droite de l'estuaire, les sédiments migrent selon une direction NO-SE, autrement dit de la Baie d'Akouango vers Owendo, grâce à une dérive littorale issue de l'obliquité de houles résiduelles en provenance du large. Trois principales directions de courant sont au cœur de la dérive littorale sur la rive droite de l'estuaire du Komo. Il s'agit des courants de sud-ouest, Ouest-nord-ouest et ouest-sud-ouest (Figure 30, ci-après).

**Figure 30:** Principales directions de transit littoral engendré par les houles résiduelles dans l'estuaire du Komo.



Source : Mombe Nguema, 2000, modifié Charrier S. 2016.

Dans le détail, la dérive littorale se fait selon deux directions. Le premier transit, le plus important, se fait du Nord vers le sud. Ce transit correspond globalement à une cellule hydrosédimentaire dont les limites correspondent globalement à la zone de la Cocoteraie à l'épi de l'hôtel Dialogue. Le deuxième transit, qui se fait du sud vers le nord, correspond à une petite cellule hydrosédimentaire limitée entre la Cocoteraie et le Cap santa Clara. La détermination de ces principales cellules a été rendue possible grâce à l'analyse de certains indicateurs tels que : le sens de l'écoulement des cours d'eau et, l'orientation des dépôts sédimentaires au niveau des débouchés de petites rivières locales.

Sur la rive droite de l'estuaire, la houle résiduelle induit un transit sédimentaire estimé par Becat (1995) à 36553 m<sup>3</sup> pour les houles de secteur SO (Tableau 6, ci-après).

**Tableau 6:** Transit littoral le long de la côte de Libreville généré par les houles de secteur SO

H	0 <H<0,4	0,4 <H<0,8	0,8 <H<1,2	1,2 <H<1,6	1,6 <H<2	2 <H<2,4	2,4<H<2,8	2,8<H<3
	0,2-0,24	8	2	6	2	2,4	.8	.2
		0,6-0,72	1-1,2	1,4-1,68	1,8-2,16	2,2-2,64	2,6-3,12	3-3,6
T	6,48	7,44	8,4	9,36	10,32	11,28	12,24	13,2
H <sup>2</sup> T	0,373	3,856	12,096	26,41	48,14	78,61	119,14	171,07
f(α) α= 15° *kg/c	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152
t%	0,8	0,4	0,28	0,13	0,06	0,02	0,02	0,01
t (sec) ((365*24)/100) *3600* t%	1,2614.10 <sup>6</sup>	2,628.10 <sup>6</sup>	4,415.10 <sup>6</sup>	2,049.10 <sup>6</sup>	0,946.10 <sup>6</sup>	0,315.10 <sup>6</sup>	0,315.10 <sup>6</sup>	0,157.10 <sup>6</sup>
Volume (m <sup>3</sup> ) Q* t (sec)	70	1540	8,114	8225	7000	3761	3761	4,082
<b>V m<sup>3</sup>=Σ Q* t (sec) = 36553</b> (V m <sup>3</sup> : volume des sédiments transportés en m <sup>3</sup> )								

Source : Becat ,1995.

$$V m^3 = \Sigma Q * t (sec) = \Sigma H^2 T . F(\alpha) . Kgt/c$$

H : hauteur de la houle en m ; T : période associée à H en seconde ; f(α) : obliquité de la houle ; t : durée de la houle en seconde, Q : la somme des transits littoraux ; K : coefficient de transport du sédiment pris égal à 1,8.10<sup>-6</sup>. D-1/2(mm) pour 0,10<D50<0,30.

Les houles de secteur ONO génèrent un transit sédimentaire estimé à 23004 m<sup>3</sup>/an (Tableau 7, ci-après). Ces différentes houles induisent un transit total de 59557 m<sup>3</sup>.

**Tableau 7:** Transit littoral le long de la côte de Libreville généré par les houles de secteur ONO

H	0 <H<0.4 0,2	0.4 <H<0.8 0,6	0.8 <H<1.2 1	1.2 <H<1.6 1,4	1.6 <H<2 1,8	2 <H< 2.4 2,2	2.4<H<2.8 2,6	2.8<H<3.2 3
T	6,4	7,2	8	8,8	9,6	10,4	11,2	12
H <sup>2</sup> T	0,256	2,592	8	17,248	31,104	50,336	75,712	108
f(α) α= 15° *kg/c	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442	0,442
t%	0,8	0,4	0,28	0,13	0,02	0,02	0,02	0,01
t (sec) ((365*24)/10 0)*3600* t%	0,3784.1 0 <sup>6</sup>	1,892.10 <sup>6</sup>	1,324.10 <sup>6</sup>	0,615.10 <sup>6</sup>	0,284.10 <sup>6</sup>	0,095.10 <sup>6</sup>	0,095.10 <sup>6</sup>	0,047.10 <sup>6</sup>
Volume (m <sup>3</sup> ) Q* t (sec)	43	2168	4,682	4674	3902	2113	3179	2243
<b>V m<sup>3</sup>=Σ Q* t (sec) = 23004</b> (V m <sup>3</sup> : volume des sédiments transportés en m <sup>3</sup> )								

Source : Becat ,1995.

$$V m^3 = \Sigma Q * t (sec) = \Sigma H^2 T . F(\alpha) . Kgt/c$$

*H* : hauteur de la houle en m ; *T* : période associée à *H* en seconde ; *f(α)* : obliquité de la houle ; *t* : durée de la houle en seconde, *Q* : la somme des transits littoraux ; *K* : coefficient de transport du sédiment pris égal à 1,8.10<sup>-6</sup>.D<sup>-1/2</sup>(mm) pour 0,10<D50<0,30.

Il est cependant évident que les prélèvements intensifs de sable réalisés dans la zone de La Sablière, en amont transit de la dérive littorale, associés à l'intense anthropisation de ce secteur côtier, ont fortement contribué à la diminution du disponible sédimentaire.

#### 2.4. Caractéristiques anthropiques de la zone d'étude

La zone côtière, interface entre terre, mer et atmosphère, est un espace qui évolue très rapidement. À travers le globe terrestre, la zone côtière est l'entité géographique qui possède le poids économique et démographique le plus important. Cela implique nécessairement de doter ce milieu de nombreuses infrastructures. De ce fait, toute intervention humaine au niveau de cet espace sensible et fragile entraîne inéluctablement des conséquences redoutables sur le milieu, lorsque les conditions de sa dynamique ne sont pas prises en compte. Tel est le cas du développement d'une ville le long d'un segment côtier ; à moins de prendre des précautions élémentaires avant d'entreprendre toute implantation en bordure de mer.

Dans tous les cas, cette situation n'est pas sans causer des effets sur les échanges naturels qui s'effectuent transversalement et longitudinalement le long de la côte et avec pour

conséquences négatives le recul du rivage et la disparition des plages (Paskoff, 2005 ; Latteux, 2008 ; Kamphuis, 2010 ; Kwasi Appeaning ,2013).

Dans ses différentes phases d'évolution, la frange littorale de Libreville n'a pas échappé à cette réalité. De nombreuses actions anthropiques ont contribué à modifier considérablement l'équilibre morphosédimentaire des plages le long de la façade de Libreville (Bonnefille, 1964 ; Becat, 1995 ; Revandiné, 1995 ; Mombe-Nguema, 2000; Sallah Ole, 2006 ; MOUNGANGA, 2006 ; Tsinga, 2006 ; Aso-Fitou, 2008). Il s'agit principalement de : *primo* l'aménagement des infrastructures de communication, *secundo* l'implantation sur la plage et le haut de plage des hôtels, restaurants et villas privées, *tertio* la construction d'ouvrages de protection côtière (épis, brise-lame, cordons d'enrochement etc.) et *quatro* l'extraction de sable.

#### **2.4.1. Les infrastructures routières**

Depuis l'accession du Gabon à la souveraineté internationale, la ville de Libreville remplit le rôle de centre de toutes les décisions stratégiques du pays. Ce rôle a favorisé l'implantation de nombreuses infrastructures de nature et de fonctions diverses, qui ont entraîné des changements profonds sur l'équilibre et la dynamique du littoral. Tel est le cas de l'implantation des voies de communication. Il y a tout d'abord le Boulevard de l'Indépendance s'étendant du pont Pira au pont Deemin, respectivement aux débouchés des rivières Mbatavea et Awondo. Ensuite, il y a le boulevard Georges Pompidou, encore appelé Boulevard du bord de mer, qui s'étire de pont Deemin au site de l'hôtel Dialogue. Enfin, le Boulevard du Général De Gaulle, qui part de l'hôtel Dialogue au pont Gué-Gué. Tous ces boulevards constituent des voies de communication côtière érigées à proximité du rivage estuarien et jouxtant le linéaire côtier (Photo 13, ci-après).

**Photo 13:** Promusquité entre le trottoir du Boulevard du bord de mer et le trait de côte au niveau de la plage de Gué-Gué



Cliché : Mouyalou V. M. T., Juillet 2015.

En effet, cette route a largement empiété sur le haut de plage et si près du trait de côte qu'à plusieurs endroits celui-ci se confond quasiment avec le trottoir ou se rapproche inexorablement de la chaussée.

#### **2.4.2. Les structures hôtelières, restaurants et villas privées**

Les caractéristiques topographiques des plages de Libreville, basses et sableuses, ont favorisée l'implantation de nombreuses structures hôtelières, restaurants et villas privées en majorité de haut et très haut *standing*. Construits en matériaux durs, elles sont séparées des flots marins par des clôtures en béton érigées sur le haut de plage, à proximité du trait de côte si elles ne le dépassent pas. De l'hôtel Dialogue au Cap Santa Clara, l'ensemble des emplacements situés en bordure de mer est au centre d'une convoitise sans précédent. Plus aucun espace n'est disponible. Dans la majorité des cas, l'accès à la plage est impossible à cause de la continuité des clôtures. Cela rend le suivi de la dynamique morphosédimentaire très difficile. En effet, il faut une autorisation des propriétaires des lieux pour accéder à certaines plages. Ces structures régulièrement léchées par les vagues à marée haute empiètent considérablement le trait de côte.

Les photos 14 à 19, ci-après, illustrent quelques cas de l'empiétement des structures anthropiques sur le haut de plage.

**Photo 14:** Aménagement d'un complexe touristique sur le haut de plage au Nord de la baie d'Akouango.



Cliché : Mouyalou V. M. T., mars 2017.

**Photo 15:** Aménagement d'un remblai avec des palplanches sur la plage à La Cocoteraie.



Cliché : Mouyalou V. M. T., mars 2017.

**Photo 16:** Empiètement d'un bar restaurant sur la plage de Gué-Gué



Cliché : Mouyalou V. M. T., Juillet 2015.

**Photo 17:** Clôture d'un immeuble en construction sur le haut de plage au Tropicana



Cliché : Mouyalou V. M. T., Juillet 2015.

**Photo 18:** Mur de protection d'une résidence contre l'assaut des vagues à La Sablière



Cliché : Mouyalou V. M. T., Novembre 2014.

**Photo 19:** Carte postale d'une vue aérienne de l'hôtel Dialogue



Source : [www.delcampe.net](http://www.delcampe.net)

NB : Cet ensemble hôtelier n'était plus en service depuis une quinzaine d'années et a été détruit en 2008.

La principale conséquence de cette situation est la perturbation des échanges morphosédimentaires entre les différents secteurs côtiers. Le point commun, entre ces différents aménagements érigés sur la plage et le haut de plage, est leur forte emprise sur la crête du haut de plage. Celle-ci se solde par l'érosion résultant, entre autres, de l'aplanissement d'un haut de plage sableux représenté naguère par une faible ondulation.

Ces actions aboutissent inévitablement, dans la majeure partie des cas, à la suppression des apports issus du haut de plage engendrant par conséquent l'érosion. Celle-ci est liée au fait que ces aménagements suppriment les échanges sédimentaires entre l'avant, la moyenne et le haut de plage. Sachant que ces trois compartiments sont solidaires, la destruction de l'un entraîne inéluctablement un déséquilibre sédimentaire sur les deux autres.

### **2.4.3. Les aménagements de protection côtière**

Les différents aménagements réalisés sur la façade maritime de Libreville ont eu pour conséquence de créer un "système anthropique fragilisé" (Mounganga, 2006). Ainsi, depuis les années 1980, le problème de l'érosion côtière le long de la façade maritime de Libreville se pose avec acuité. Face à cette réalité, et en vue de la préservation des certaines enjeux socio-économiques menacés par le recul du trait de côte, la mise en place de certains ouvrages de protection côtière a été jugé nécessaire le long de la façade maritime de Libreville. Il faut préciser que le problème de l'érosion côtière sur cette façade maritime ne date pas des années 1980. Ici, les années 1980 sont prises comme référence par rapport aux aménagements réalisés dans le cadre de la protection côtière. Il s'agit principalement des épis, brise-lames et cordons en enrochement. Dans la majorité des cas, ces ouvrages n'ont pas atteint les objectifs escomptés et se sont révélés être eux-mêmes facteurs d'érosion (Mombe Nguema, 2000 ; Aso Fitou, 2007).

#### **2.4.3.1. Les épis**

Les épis sont des ouvrages transversaux de protection côtière, qui bloquent le transit littoral. Ils permettent de cloisonner le littoral en secteurs dans le but de stabiliser la plage. En effet, l'implantation des ouvrages transversaux au niveau de l'estran et de la plage sous-marine provoque un blocage de la dérive littorale. Il en résulte une accumulation en amont de la dérive et, inversement, une érosion en aval. Un épi isolé risque de déplacer le problème. De ce fait, il est recommandé de recourir à la construction d'une batterie d'épis. L'espacement entre deux épis doit être tel que l'accumulation provoquée par l'épi en aval intéresse toute

l'alvéole. L'aménagement devra être réalisé en commençant par l'épi situé en aval transit. Puis, une fois que l'accumulation le long de l'épi réalisé a atteint le point de saturation, la construction de l'épi situé immédiatement en amont peut démarrer.

Dans notre zone d'étude, il existe deux épis : celui situé au niveau de l'hôtel Dialogue et qui marque la limite aval transit de notre zone d'étude, et un autre érigé au droit d'une résidence privée située au quartier résidentiel de La Sablière (Photo 20, ci-après).

**Photo 20:** Épi isolé érigé au niveau d'une résidence privée au Sud de la Plage du Remorqueur



Cliché : Mouyalou V. M. T., Novembre 2014.

La mise en place de ces épis isolés et construits à des périodes différentes n'a obéi à aucune règle. Ils constituent de sérieux facteurs d'amplification de l'érosion. Le cas le plus éloquent d'un épi ayant affecté la dynamique morphosédimentaire est celui de l'hôtel Dialogue. En effet, l'aménagement de cet épi a totalement perturbé le transit sédimentaire. Selon Mombe Nguema (2000), avant la construction de l'hôtel et de cet épi, le transit sédimentaire était estimé à  $60000 \text{ m}^3$  par an, s'effectuant le long du tronçon côtier compris entre l'embouchure de la rivière Gué-Gué au Nord et celle de la rivière Awondo au Sud.

La Photo 21, ci-après, atteste la régularité du cordon littoral sur la photographie aérienne du site datant de 1968 avant la construction de l'épi.

**Photo 21:** Section du littoral de Libreville en 1968 avant la construction de l'épi de l'hôtel Dialogue.



Source : IGN.68.AE.376/60.

Après la construction de cet épi en blocs d'enrochement latéritique dans les années 1970, la conséquence a été immédiate avec la modification du paysage morphosédimentaire (Photo 22, ci-après).

**Photo 22:** Section du littoral de Libreville en 1990 après la construction de l'épi de l'hôtel Dialogue.



Source : IGN.1990GAB/157/180

Désormais, tout le transit sédimentaire au niveau de la plage intertidale est stoppé au niveau de cet ouvrage transversal. Il en résulte qu'en amont transit de l'épi se forme une plage sableuse, contrairement à la partie située en aval transit on l'on enregistre la disparition totale de plage sableuse et l'affleurement désormais du substratum rocheux composé de calcaires de la série de Sibang d'âge turonien.

### 2.4.3.2. Les brise-lames

Les brise-lames, ouvrages dont l'axe principal est orienté parallèlement ou quelque peu oblique par rapport à la côte, sont des structures submersibles implantés avant le rivage. Le but est de provoquer une dissipation de l'énergie de la houle, avant son déferlement sur la plage. Le résultat produit est le suivant : les vagues brisées ne disposent plus d'énergie suffisantes pour entraîner les sédiments vers le large, ce qui a pour conséquence de favoriser un engraissement. Le long d'une plage peuvent être mis en place plusieurs brise-lames, dont l'espacement et l'éloignement du rivage sont calculés de telle sorte que la houle, pénétrant à travers les brèches, soit également amortie en arrivant sur l'estran (Paskoff, 2010). Entre l'hôtel Dialogue et l'exutoire de Gué-Gué, deux brise-lames avaient été érigé respectivement au niveau de Gué-Gue et à la sortie du quartier Kalikak. Ceux-ci étaient constitués de blocs calcaires qui n'existent plus, car ayant été totalement désagrégés par l'action marine (Mombe Nguema, 2000). Quelques vestiges sont encore visibles au niveau de la sortie de Kalikak, comme le témoigne au niveau de l'estran une accumulation de gros blocs calcaires (Photo 23, ci-après).

**Photo 23:** Vestiges du brise-lame en blocs calcaires sur la moyenne plage au niveau de la sortie Kalikak



Cliché : Mouyalou V. M. T., Mai 2015.

### 2.4.3.3. Les cordons en enrochement

La mise en place de cordons en enrochement latéritique est l'une des mesures la plus courante de stabilisation du trait de côte, de nos jours sur l'ensemble de notre zone d'étude. Celle-ci peut être à la fois préventive que curative. Elle est préventive lorsqu'elle est mise en place par les riverains s'installant sur le rivage sans observer une marge suffisante devant être préservée entre le niveau atteint par la laisse des hautes marées et les habitations construites trop souvent en bordure de mer.

En effet, les principes de l'urbanisation en zone côtière, dans les pays occidentaux et même en Afrique, fixent une limite d'urbanisation en créant une zone dite *non aedificandi* : c'est le Domaine Public Maritime (DPM), qui est fixé à 100 mètres par rapport à la laisse des hautes marées dans bien de pays à travers le monde. L'absence de cette disposition réglementaire en République Gabonaise offre la possibilité de s'installer selon le bon vouloir de chacun. N'attendant donc pas que la mer ronge la côte jusqu'à son habitation, chacun réagit en mettant d'ores et déjà en place ces défenses qu'il estime aptes à mettre sa concession à l'abri des dommages liés à l'érosion côtière. Les photos 24 et 25, ci-après, illustrent deux exemples de cordons en enrochement latéritique dans la zone d'étude.

**Photo 24:** Cordon d'enrochement latéritique à la Plage du Remorqueur



Cliché : Mouyalou V. M. T., Mai 2015.

**Photo 25:** Cordon d'enrochement latéritique au complexe touristique Akouango Village



Cliché : Mouyalou V. M. T, Novembre 2014.

Face à la manifestation de l'érosion côtière sur le littoral de Libreville, hormis les études réalisées par le bureau d'étude Becat en 1995 dans le cadre de la protection de Boulevard de bord de mer, plus rien n'a été entrepris dans ce sens jusqu'à nos jours.

Cela concerne aussi bien la réalisation des études, la restauration et l'exécution de travaux d'aménagements de nouveaux ouvrages de défense dans les secteurs sensibles.

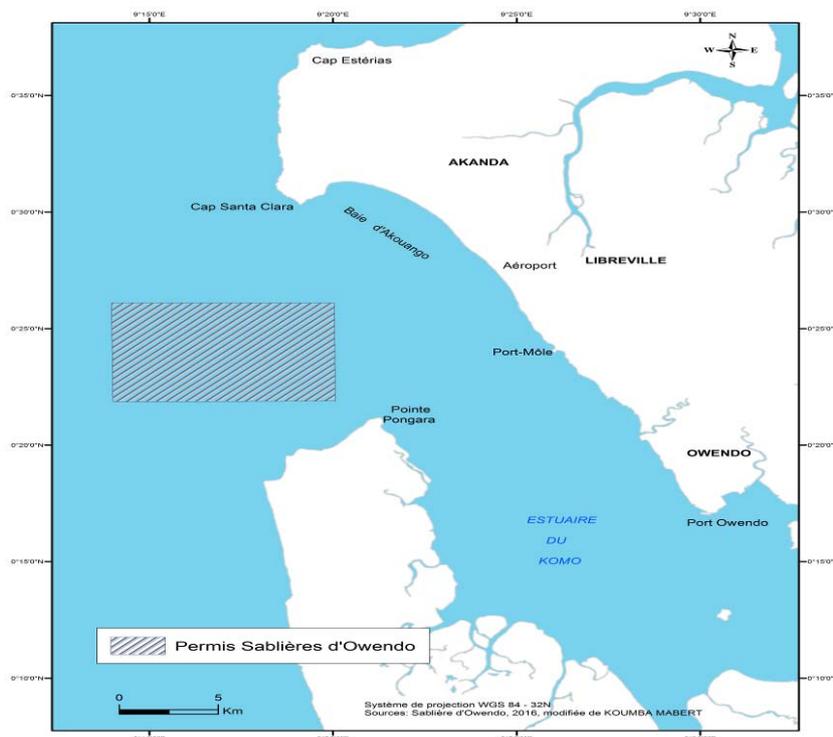
Au vu des échecs enregistrés, des interrogations demeurent sur la prise en compte réelle par les politiques de la problématique de l'avancée de la mer et la protection de nombreux enjeux situés sur la côte.

#### 2.4.3.4. L'extraction du sable

Le littoral de Libreville est depuis de nombreuses décennies le siège d'une intense activité d'extraction de sable. Cette activité concerne aussi bien les prélèvements en mer sur les estrans, qu'au niveau des paléo-cordons littoraux situés en arrière plage.

- **Les extractions en mer**

En ce qui concerne les extractions en mer, deux cas sont présentés ici : d'une part, l'exploitation par la société La Sablière d'Owendo et, d'autre part, celle dans le cadre du Projet d'Aménagement du front de mer de Libreville. En effet, en mai 1994, débute au large de Libreville l'extraction du sable dans l'Estuaire du Komo par la société La Sablière Owendo. La Société dispose d'un permis d'exploitation octroyé par le Ministère des Mines. Ce permis couvre une aire totale de 64 km<sup>2</sup>. La zone retenue pour l'extraction de sable en *offshore* par la société Sablière d'Owendo se localise au-delà de l'Estuaire. De façon générale, ce secteur est à une distance de 12 à 15 km au large, en direction de la Pointe Pongara (Figure 31, ci-après).



**Figure 31:** Localisation du permis d'exploitation de la Sablière d'Owendo

Dans cette zone, l'entreprise s'intéresse aux bancs de sable localisés dans les fonds marins et situés entre-12 et-18 m de profondeur. En moyenne 150000 m<sup>3</sup> de sable sont extraits des fonds marins par an, en fonction évidemment de la demande

du marché. La quantité de sable prélevé dans l'estuaire, depuis le début des activités de cette entreprise est estimée à 3,3 million de m<sup>3</sup>. Outre cette activité pérenne, l'année 2013 a été particulière car elle a connu une explosion des quantités de sable prélevées dans l'estuaire. En effet, dans le cadre du Projet d'Aménagement du front de mer de Port-Môle (PAPM), les travaux de dragage pour le remblai de la plateforme ont nécessité 1,6 million de m<sup>3</sup> de sable (Royal Haskoning, 2012). Les activités de dragage se sont principalement déroulées sur une surface d'environ 5 km<sup>2</sup> (Figure 32, ci-après).

**Figure 32:** Aire de dragage du sable marin pour le Projet d'Aménagement du front de mer du Port-Môle

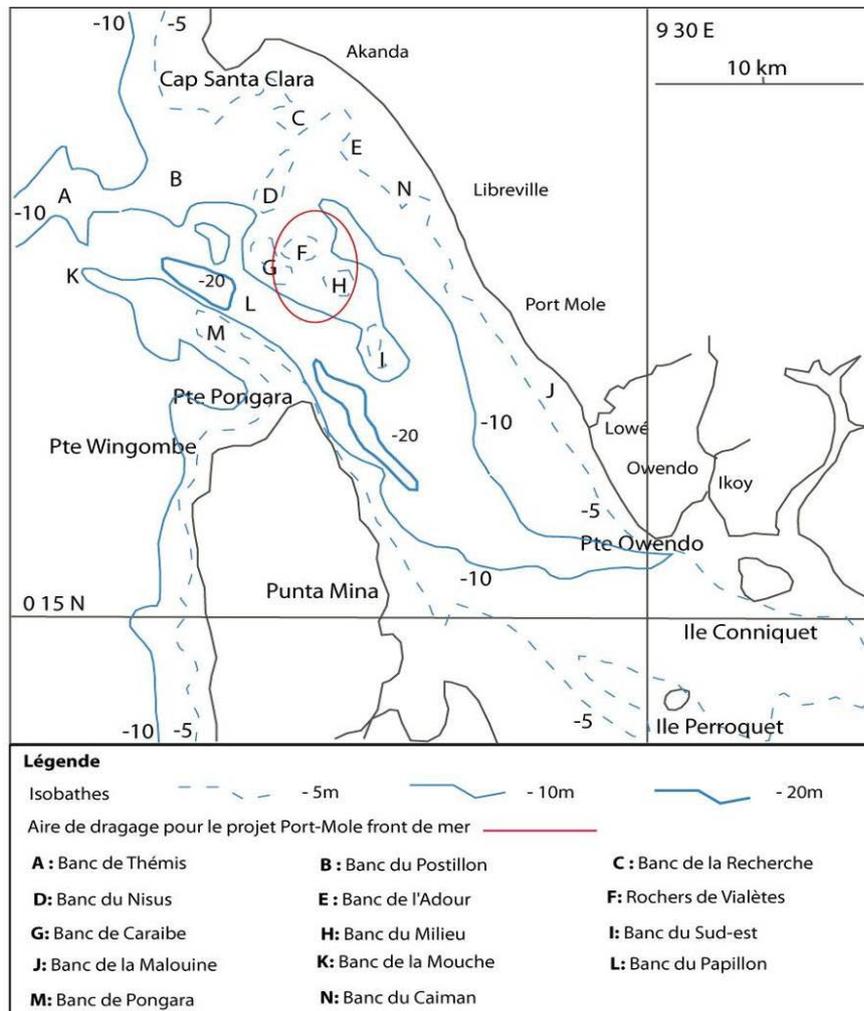


Source: Royal Haskoning, 2012.

Le rapport de Royal Haskoning (2012) notifie que les bancs de Caraïbe, du Milieu et du Sud-est ont fait l'objet du dragage. Cependant, des incohérences notables ont été relevées au compte de ce projet.

Tout d'abord la cartographie des bancs de l'estuaire du Komo superposée à celle de l'aire de dragage circonscrite dans le rapport de ce projet ne prend pas en compte l'ensemble des bancs énumérés (Figure 33, ci-après).

**Figure 33 :** Superposition de l'aire de dragage et des bancs sableux de l'estuaire du Komo



Source : Weydert et Weydert (1982), modifié.

En effet, le banc du Sud-est ne rentre pas dans cette délimitation. Ensuite lors de la phase de dragage, ce sont exclusivement les bancs proches du Port-Môle qui ont été prélevés. Cet état de chose se justifie par le fait que des dragues stationnaires aspirantes ont été de façon permanente observées pendant toute la phase de dragage à proximité de la côte. Enfin, le refus de communiquer lors de la phase de dragage par la *China Harbour Engineering Compagny Ltd* est également un élément de suspicion sur les bancs et les quantités de sables réellement prélevés lors de la phase des travaux.

- **Extraction de sable de plage et arrière plage**

Depuis plus d'un demi-siècle, le prélèvement de sable de plage constitue une plaie pour la stabilité du trait de côte de Libreville. En effet, les conséquences de cette activité non contrôlée ont été dévastatrices et à l'origine d'un important recul du trait de côte. Dans notre zone d'étude, quatre secteurs ont été le siège de cette activité. Il s'agit de la plage de l'actuel Lycée Léon Mba, l'embouchure de la rivière Gué-Gué, la Pointe Pandinou (de l'actuel mess de l'Armée de l'Air au Tropicana), et beaucoup plus tard à nos jours La Sablière. Entre 1959 et 1964, Bonnefille (1964) estime que 20000 à 30000 m<sup>3</sup> de sable ont été prélevés annuellement sur la plage dans la zone de la Pointe Pandinou. À partir de cette période d'importants taux de recul ont été enregistrés en aval de la zone d'extraction. Ce déséquilibre sédimentaire s'explique au vu du volume de sable extrait annuellement, comparativement à la capacité de transport par la dérive littorale évaluée précédemment à 41 000<sup>3</sup> m/an environ (Bonnefille, 1964). Les dégradations occasionnées par ces prélèvements de sable de plage ont conduit le Ministère des Mines, en 1964, à prendre une clause interdisant tout prélèvement de sable dans le secteur de la Pointe Pandinou. À cette clause, s'ajoute l'Arrêté du 14 août 1990 portant interdiction d'exploitation des carrières situées en bordure de mer.

En dépit de ces interdictions, des prélèvements sporadiques de sable se sont poursuivis dans le secteur, et même au niveau de la plage proche de Gué-Gué où les extractions de sable ont continué jusqu'en 1999. Au-delà des années 2000, les prélèvements au niveau du secteur côtier allant de la plage du Lycée Léon Mba à l'embouchure de Gué-Gué ont persisté, même s'il ne s'agit plus d'une activité intensive. Par moment, il arrive de voir des extracteurs isolés équipés de chargeurs et camions prélevant du sable à marée basse sur l'estran (Sallah Ole, 2006).

Outre le sable de plage, on note également les prélèvements de sable en arrière plage au niveau des paléo-cordons dunaires qui, suite à cette activité, ont quasiment disparu de nos jours. De 1973 à 1985, les volumes des prélèvements de sables provenant des cordons dunaires dans la zone de La Sablière tournaient autour de 1200 m<sup>3</sup> par jour. En tenant compte du nombre de jours de travail par an, on obtient un volume de 358800 m<sup>3</sup>/an (Peyrot et Oslisly; 1985 ; Peyrot et *al.*, 1990).

Ces prélèvements de sable ayant des conséquences dommageables sur l'environnement ont conduit une fois de plus les plus hautes autorités du pays à prendre des mesures urgentes. Ainsi, le Conseil des Ministres du jeudi 13 octobre 2005 a décrété que

toutes les carrières de sable situées dans la zone Nord de Libreville sont fermées, et le sable de plage interdit d'exploitation<sup>1</sup> (Annexe 1, p. 305)

En définitive, en dépit de toutes les interdictions de prélèvement du sable de plage en République Gabonaise, force est de constater que cette pratique se poursuit encore de nos jours au Nord de la Baie d'Akouango. Tel est le cas de toutes les plages ayant un accès routier, depuis la Plage du Remorqueur jusqu'à l'embouchure de la rivière Otendé au Nord de la baie d'Akouango. Ces prélèvements servent directement aux différents projets de construction qui se déroulent dans la zone. Cependant en l'absence de données, il est impossible de quantifier les volumes de sable prélevés par cette activité illégale. La photo 26, ci-après, illustre cette activité d'exploitation illégale du sable de plage à La Sablière, à proximité du lieu-dit la Cocoteraie au Nord de la Baie d'Akouango.

**Photo 26:** Prélèvement de sable d'estran au lieu-dit La Cocoteraie au Nord de la baie d'Akouango



Cliché : Mouyalou V. M. T., Novembre 2014

Ici, l'utilisation d'un engin lourd témoigne d'une activité de prélèvement illégale de grande ampleur.

---

<sup>1</sup> Le quotidien gabonais L'Union du 14 octobre 2005 contient un article <<Le sable, matériau protégé>>, qui en témoigne.

En conclusion on peut retenir que les environnements littoraux au cœur de notre étude sont des milieux extrêmement complexes et variés, soumis à une multitude de facteurs qui influencent leur évolution. Le régime des vents est soumis au rythme des saisons climatiques avec, des vents dominants de secteurs sud à sud-ouest, voire une prédominance marquée pour le sud. La vitesse est comprise entre 4 et 6 m/s pendant la journée, et de 3 m/s pendant la nuit. Les vents les plus violents sont de secteur nord-est à sud-est (Février, Mars et Avril), dont les vitesses sont de l'ordre de 15 m/s avec des pointes sud-est qui peuvent atteindre 20 m/s. L'hydrographie est étroitement liée au climat. Le réseau hydrographique est composé de cinq embouchures. Deux correspondent aux rivières naturelles (Gué-Gué et Otendé). Les trois autres sont associés aux rivières dites anthropiques. La mise en place de ces embouchures est liée aux activités anthropiques en lien avec les prélèvements de sable de cordons. Ce réseau hydrographique correspondant à celui d'une région de bassin sédimentaire, peu étendue et de faible altitude. Cette situation est à l'origine des apports fluviaux médiocres et, donc, d'une faiblesse contribution à la dynamique morphosédimentaire.

Le contexte hydrodynamique est régi par les processus tidaux couplés à la houle résiduelle en provenance du large. Le marnage moyen à Libreville est de 1,3 m avec un maximum de 2,35 m aux marées de vives eaux (en syzygie : nouvelle lune et pleine lune), et un minimum de 0,2 m aux marées de mortes eaux (en quadrature : premier et dernier quartiers). La houle résiduelle se caractérise par des creux variant entre 0,33 m (moyenne) et 0,66 m (maximum). Le comportement de la houle résiduelle permet de mettre en évidence trois niveaux d'exposition à la houle : zone à fortes houles, zone à faible houles résiduelles, et zone à très faibles houles résiduelles. La dérive littorale, qui en résulte, est globalement orienté NO-SE, engendrant un transit littoral total de 59557 m<sup>3</sup>. Le secteur au cœur de notre étude est un littoral très anthropisé. On y retrouve de nombreuses structures dues à l'Homme. Il s'agit notamment des infrastructures routières, hôtelières, restaurants, villa privées, et les aménagements de protection côtière. À ces structures s'ajoutent l'activité d'extraction de sable aussi bien en mer, sur l'estran et les paléo-cordons.

## **CHAPITRE 3 : LES METHODES ET TECHNIQUES D'ANALYSE**

Trois catégories d'opérations scientifiques constituent les éléments de notre approche méthodologique. La première catégorie concerne la recherche bibliographique. Cette étape a été essentielle pour notre travail, de l'énoncé de la problématique en passant par l'approche méthodologique, l'interprétation des résultats, et aux recoupements théoriques ou encore au recensement de résultats scientifiques déjà acquis par d'autres auteurs. Nous avons recueilli les contributions les plus significatives dans la littérature grise, dans les revues et ouvrages disponibles, avec une majorité de références en langue anglaise. Peu de travaux monographiques existaient sur nos études de cas. Seules quelques contributions thématiques y faisaient référence. En revanche d'autres écrits, nombreux, purement théoriques ou des cas pratiques sur d'autres espaces côtiers dans le monde, ont été utilisés pour à la fois légitimer notre problématique, discuter et confronter nos résultats (Guyot, 2003 ; Desmazes, 2005 ).

La deuxième catégorie englobe l'ensemble des outils et opérations réalisées lors de la collecte des données sur le terrain. Il s'agit principalement des levés topographiques mensuels et des trois campagnes annuelles de collecte de sédiments.

Enfin, La troisième catégorie concerne l'ensemble des manipulations de laboratoire, les techniques d'analyse ainsi que la mise en forme et l'interprétation des résultats.

### **3.1. Les outils et méthodes de collecte de données de terrain**

Les activités de terrain ont consisté principalement aux levés topographiques et à la collecte des sédiments superficiels de la plage intertidale.

#### **3.1.1. Morphologie de la plage intertidale**

Les levés topographiques on consisté principalement à la réalisation des profils transversaux de plage intertidale, à partir de stations fixes situées sur le haut de plage.

##### **3.1.1.1. Principes de mesures des profils transversaux de la plage intertidale**

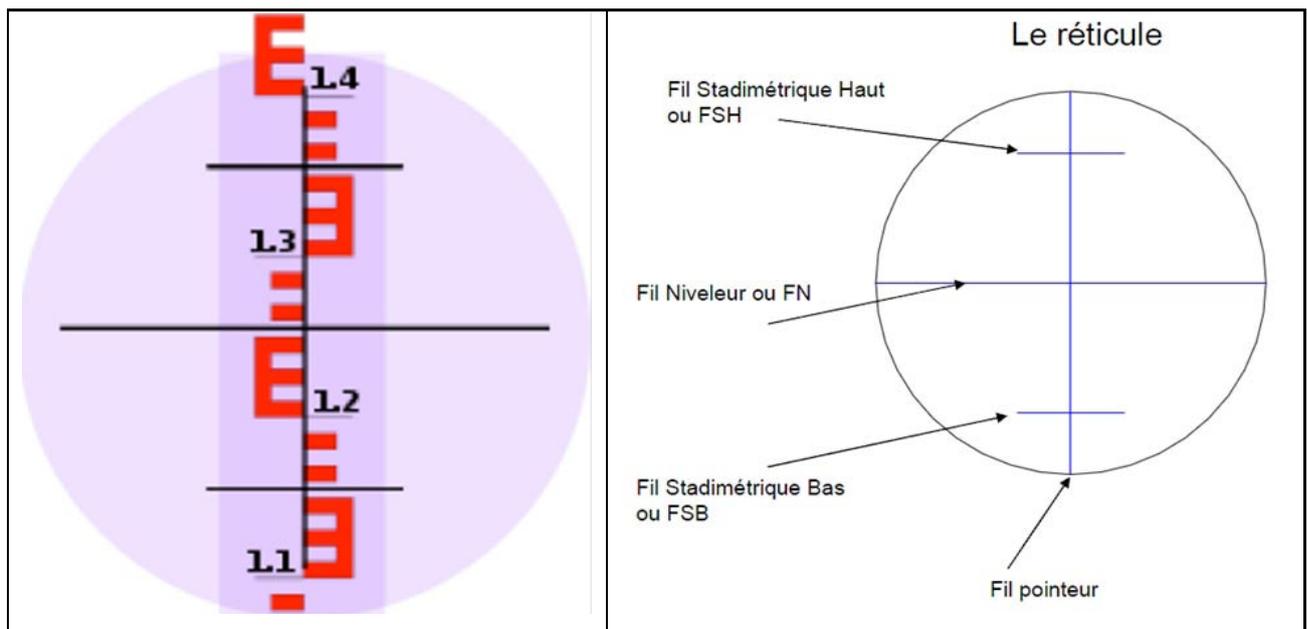
Le suivi de l'évolution du secteur côtier au cours de notre travail de recherche a reposé sur un réseau de 15 profils. Les profils ont été établis sur des repères de référence (piquets métalliques) implantés en arrière plage le long de la côte.

Le levé consiste à mesurer la topographie le long de profils transversaux appelés radiales, depuis les bornes repères en arrière plage jusqu'à la limite instantanée de rivage (*instantaneous water line*), qui représente la limite mer-estran lors des basses marées. Il implique donc la mesure d'un nombre relativement plus important de points caractéristiques du profil.

Le matériel se compose d'un niveau optique de marque Leica, d'un trépied et d'une mire à bulle. Chaque profil, qui fait l'objet du suivi, est rattaché à un point de référence fixe situé en haut de plage. Ce point fixe géoréférencé est supposé stable dans l'espace et dans le temps. Au niveau de ce point est placé le niveau de chantier. Pour réaliser le profil, l'assistant de l'opérateur, qui tient la mire, va se déplacer et se positionner pour une mesure en fonction des moindres variations morphologiques observées sur la plage ; le tout en suivant le même axe de visée de l'appareil (Annexe 2, p. 306).

Le niveau permet la mesure des distances à l'aide d'une mire. Ce principe de mesure est basé sur le théorème de Thalès. Il est composé de fils stadimétriques. La lecture permet de relever classiquement trois valeurs correspondant à des fils stadimétriques. Il s'agit du fil niveleur FN, du fil stadimétrique supérieur ou haut FSH et inférieur ou bas FSB (Figure 34, ci-après).

**Figure 34:** Principe de lecture sur la mire à l'aide des fils stadimétriques



Source : IGARUN, 2015.

Après la lecture, il est indispensable de procéder à une vérification stadimétrique. Le nivellement est une opération très simple en apparence. En fait, elle peut entraîner de graves erreurs, si l'on ne prend pas les précautions nécessaires lors des trois lectures. La première des précautions consiste à toujours effectuer la lecture sur les trois fils du réticule (fil niveleur FN, fil stadimétrique supérieur FSH et inférieur FSB). Les erreurs de lectures sont très courantes sur les mires, car les graduations sont souvent cotées en décimètre. Lorsqu'on a les trois lectures, on vérifie la fiabilité de la mesure avec l'une des 2 formules suivantes :

$$\mathbf{FSH-FN = FN-FSB \text{ à } 1\text{mm près}}$$

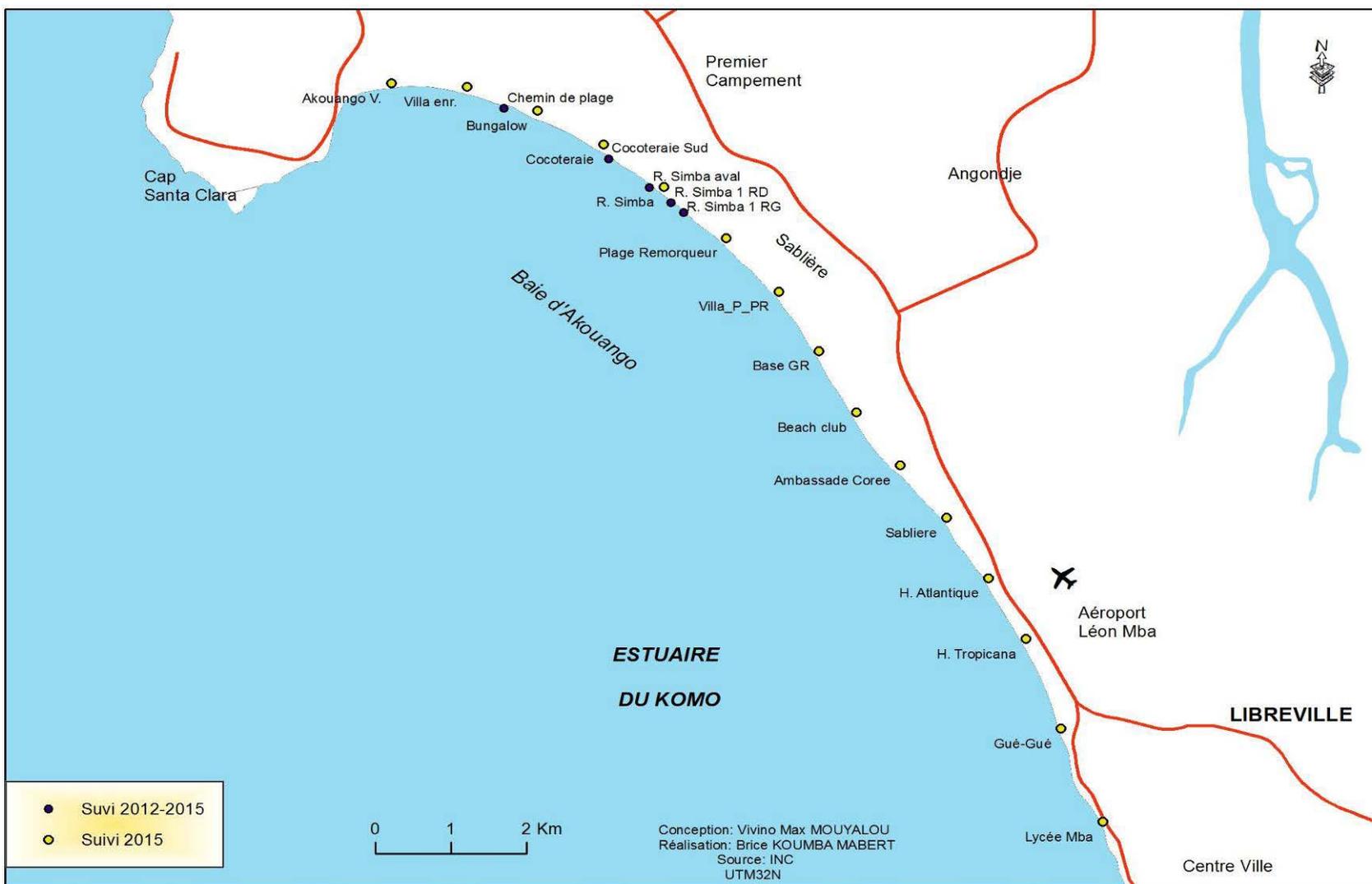
ou

$$\mathbf{-3 \leq FSH+FSB - 2*FN \leq +3}$$

Pour la suite des calculs, il est important de mesurer la hauteur de la lunette lors de la visée horizontale qui correspond à celle des yeux de l'opérateur : Ht

En l'absence d'une référence altimétrique telle que le zéro hydrographique, un référentiel altimétrique arbitraire  $Alt_{st}$  de 0 m a été pris pour des besoins de calcul des dénivelés. La majorité des profils sont régulièrement espacés de 1 km. Toutefois, pour des raisons pratiques liés aux difficultés d'accès à certains terrains privés, quelques profils ont été déplacés et n'obéissent pas à cette régularité. La Figure 35, page ci-après, présente la localisation des profils dans la zone d'étude.

**Figure 35:** Localisation des profils objet du suivi topographique du lycée Léon Mba à Akouango Village (2012 à 2015).



### **3.1.2. Les données de sédimentologie**

#### **3.1.2.1. L'échantillonnage**

L'étude granulométrique permet de caractériser les sédiments qui participent aux échanges entre les différents compartiments d'un système côtier. Les échantillons sont prélevés sur la plage intertidale à marée basse le long d'un profil perpendiculaire à la côte, respectivement au bas de plage, au milieu et au haut de plage. Les prélèvements se font dans les tout premiers centimètres supérieurs de la surface (Wang and Ke, 1997). En effet, la plage est une unité sédimentologique où se superposent des niveaux parfois très minces correspondant aux évènements successifs qui marquent les épisodes de destruction et de construction. De ce fait, cette méthode de prélèvement annule le risque de contamination par un événement non représentatif au moment du cycle d'une marée de la période d'étude (Certain, 2002 ; Ferrer, 2005). Entre Janvier 2011 et Février 2012, 11 profils ont servi de support à la collecte de sédiment. La répartition spatiale de ces profils n'a obéit à aucune distribution régulière. Le choix des points de prélèvement a été motivé par la volonté de visualiser l'effet de certains facteurs naturels (cours d'eau), ou anthropiques (aménagement côtiers), sur la dynamique morphosédimentaire.

Les prélèvements de 2011 et 2012 ont été complétés en Novembre 2014 par 16 profils régulièrement espacés les uns des autres de 1 km. Pour les trois séries de profils, cinq profils se superposent rigoureusement (Figure 36, ci-après).

**Figure 36:** Stations d'échantillonnage de sédiments superficiels de la plage intertidale de l'hôtel Dialogue à Akouango Village



## **3.2. Les méthodes de traitement en laboratoire**

Les méthodes de traitement présentées dans la présente section concernent les données morphologiques (topographie et trait de côte) et sédimentologiques.

### **3.2.1. Traitement de données morphologiques**

Le traitement des données morphologiques prend en compte celles des profils transversaux de la plage intertidale et du suivi du trait de côte.

#### **3.2.1.1. Les profils transversaux de la plage intertidale**

Le traitement des profils de plage se fait selon deux approches. Une première approche d'analyse, qualitative, est basée sur l'interprétation de la morphologie des profils. La deuxième approche, quantitative, calcule les bilans sédimentaires des plages intertidales entre deux levés successifs (Cordier, 2007).

Les levés de terrain permettent de restituer la forme du profil, depuis le point de référence en progressant vers la mer, par l'établissement des courbes d'évolution du dénivelé  $H$  (cm ou m) en fonction de la distance  $D$ (m). Pour ce faire il faut parvenir, à partir des données obtenues sur le terrain, à effectuer un calcul de distance et de dénivelé. Les éléments à prendre en compte sont les suivants :

- les trois lectures stadimétriques (FSH, FN et FSB),
- la hauteur de la lunette ou celle des yeux de l'opérateur ( $H_t$ ),
- la donnée altimétrique de la station (AltSt).

#### **➤ Calcul des Distances**

Les différentes lectures stadimétriques permettent de calculer les distances. Le niveau de chantier permet de calculer des distances à l'aide d'une mire graduée, sur la base du théorème de Thalès. À partir des mesures stadimétriques les rapports suivants permettent de calculer, pour chaque point, la distance par rapport à la station de base et le dénivelé par rapport à l'altitude de référence qui est celle de la station de base.

Les relations suivantes (Tableau 8, ci-après) permettent de calculer la distance.

**Tableau 8:** Exemple de calcul des distances en fonction des mesures stadimétriques

FSH et FSB (m)	Mesures	FSH et FSB (mm)
$Dh (m) = (FSH - FSB) \times 100$	FSH = 1159 mm FSN= 1005 mm FSB = 851 mm Ht= 1520 mm	$Dh (m) = (FSH - FSB)/10$

$$Dh (m) = (FSH - FSB)/10 = (1159 - 851)/10 = 30,8 \text{ m}$$

➤ **Calcul des dénivelés**

La lunette vise horizontalement. Elle travaille dans un plan horizontal dont l'altitude est précise. Elle est située au-dessus du sol, à une hauteur voisine de celle des yeux de l'opérateur (Ht).

$$Alt_{lun} = Alt_{St} + Ht$$

Pour des raisons pratiques,  $Alt_{St}$  est égale à zéro.

$$Ht = 1,52 \text{ m}$$

$$Alt_{lun} = 0 + 1,52$$

Le fil niveleur du réticule indique sur la mire graduée la différence de hauteur entre le plan horizontal et le sol au pied de la mire.

$$Alt_{vs} = Alt_{lun} - FN \quad \text{ou} \quad FN = Alt_{lun} - Alt_{vs}$$

$$Alt_{vs} = Alt_{St} + Ht - FN$$

$$Alt_{vs} = 1,52 - 1,005 = 0,515 \text{ m}$$

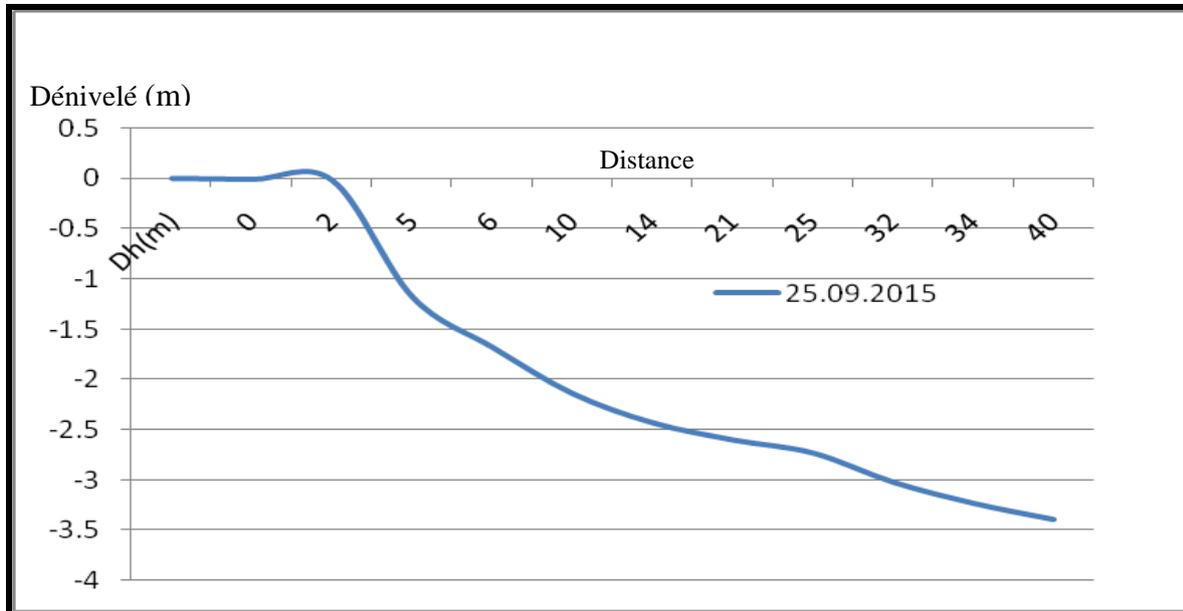
Pour l'ensemble des points du profil, on obtient un tableau à deux colonnes représentant la distance et le dénivelé par rapport à l'altitude de la station de référence (Tableau 9, ci-après).

**Tableau 9:** Exemple de résultat obtenu après traitement des données (profil Gué-Gué)

Dh(m)	0	2	5	6	10	14	21	25	32	34	40	45
H (m)	0	-0,01	-0,02	-1,18	-1,68	-2,14	-2,43	-2,6	-2,73	-3,02	-3,23	-3,39

Les données ainsi obtenues permettent de tracer des profils transversaux de plage (Figure 37, ci-après).

**Figure 37:** Exemple de profil transversal de la plage intertidale de Gué-Gué



Source : Mouyalou V. M. T.

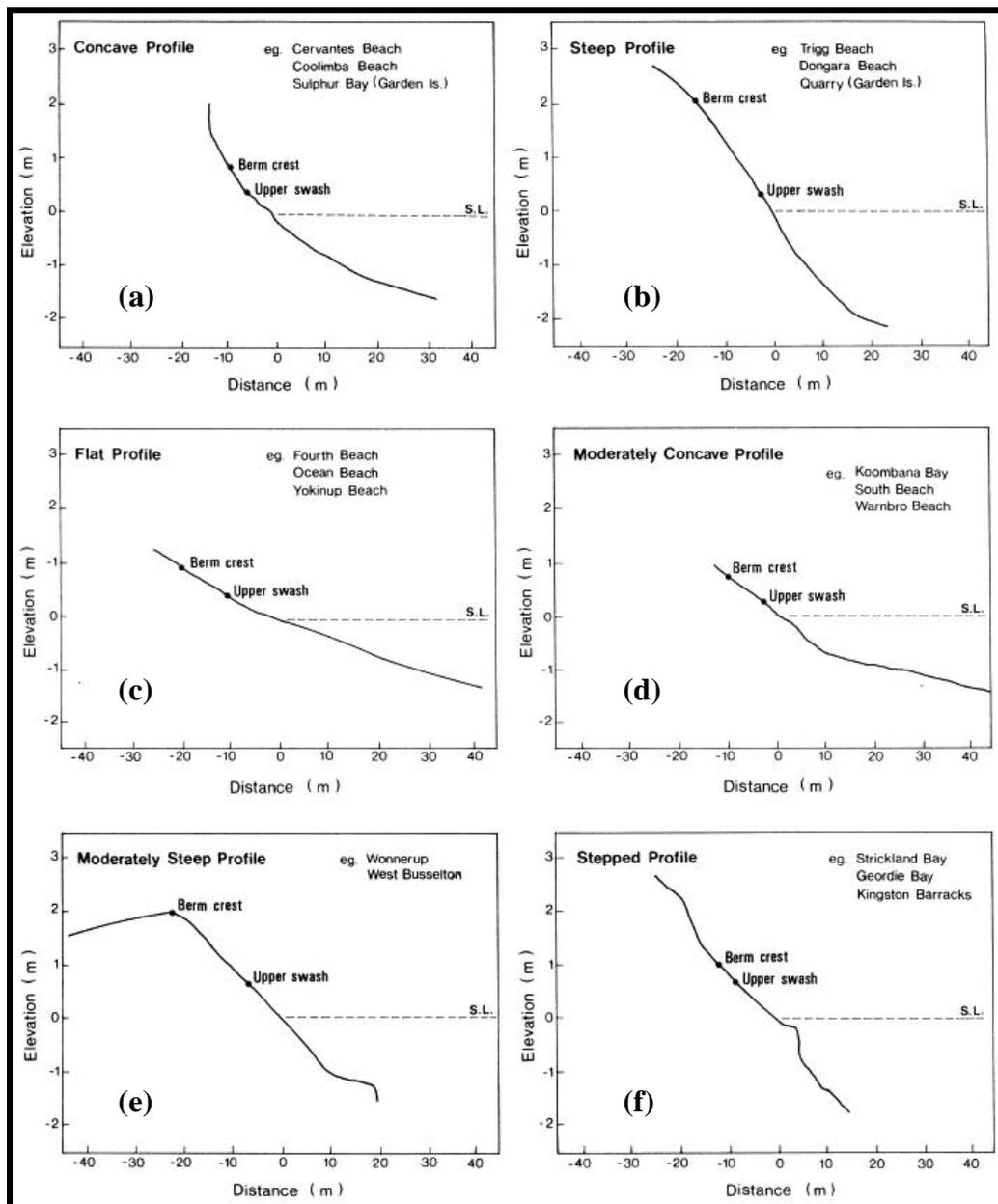
En rappel, l'analyse des profils de plage s'est faite selon deux approches : l'approche qualitative et l'approche quantitative.

#### ✓ Approche qualitative : description de la morphologie

L'approche qualitative du traitement des profils transversaux de plage repose sur l'analyse des morphotypes, qui est basée sur la classification mise en place par Hegge (1994 ; *in* Sanderson et *al.*, 2000). Ses définitions prennent en compte la pente du profil sur toute sa partie aérienne et immergée. Toutefois dans le cas de notre étude, les profils réalisés ne concernent que la partie aérienne de la plage. Cependant, la partie sous-marine peut être extrapolée en raison de l'homogénéité et de la linéarité du profil de plage et de l'existence du plateau librevillois. En effet, le profil se prolonge généralement avec la même pente jusqu'à 5 mètres de profondeur, comme en témoigne la faible variation bathymétrique générale du plateau librevillois. Fort de cette extrapolation et soutenue par le fait que l'aspect du profil aérien est un indicateur de la forme sous-marine, l'application de la classification de Hegge (1994) sur la seule partie aérienne des profils de plage nous paraît crédible, dans le cadre de notre étude.

La classification des profils de plage repose sur la définition des morphotypes (Figure 38, ci-après).

**Figure 38:** Caractéristique des morphotypes de plages.



Source : Hegge (1994), in : Sanderson et al. (2000).

Cette définition est fondée d'une part, sur la relation entre le profil et la pente de la plage et, aussi d'autre part, sur son degré d'exposition à la houle incidente, qui définit le niveau d'énergie de l'environnement. Les morphotypes escarpés définissent un environnement de forte énergie, qui se caractérise par une côte peu protégée et exposée aux flux énergétiques de la houle incidente.

Les quatre autres morphotypes expliquent un environnement de faible énergie, avec un niveau d'exposition au forçage par la houle, qui dépend de la morphologie de l'avant-côte (Hegge, 1994 ; Cordier, 2007).

## Description des morphotypes

La Figure 38a illustre un morphotype concave. Par définition, il s'agit d'un type de plage qui présente une décroissance concave, uniforme. L'avant plage et la zone de *swash* présentent une pente relativement accusée. La pente s'aplanit dans la continuité immergée du profil. Ces plages sont relativement petites, avec un avant plage inférieur à 10 m et une zone de *swash* inférieur à 5 m. Des ruptures de pente modérées sont parfois présents le long du profil.

La Figure 38b matérialise un morphotype escarpé. Il présente des gradins d'arrière plage bien développés. La pente d'avant plage est linéaire et accusée. Les dimensions de ce morphotype sont très importantes, avec des longueurs d'avant-plage supérieures à 40 m, depuis la crête de gradin jusqu'à la zone de déferlement. La pente raide se prolonge dans la partie immergée de la plage.

La Figure 38c présente un morphotype plat typique des plages larges, avec en général un profil uniforme sans rupture de pente. Ces profils sont caractérisés par les zones de *swash* et de surf les plus plates. L'aplanissement se prolonge jusque dans la zone immergée.

La Figure 38d correspond au morphotype modérément concave. Il s'agit des plages similaires aux types concaves, cependant avec une pente et une concavité moins importantes. Les dimensions de l'avant plage sont également petites, avec cependant une zone de *swash* plus marquée inférieur à 10 m et une zone de surf d'une largeur inférieur à 15 m.

La figure 38e correspond au morphotype modérément escarpé. L'avant plage présente également une forte pente linéaire. À la différence du morphotypes escarpé, ce profil comporte un gradin d'arrière plage extrêmement grand et une plage plus courte dont la largeur est comprise entre 15 et 25 mètres.

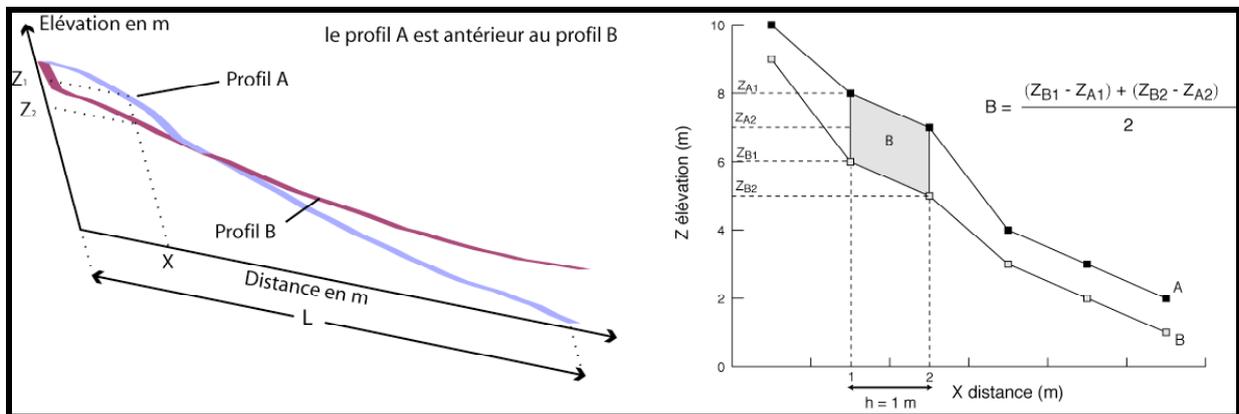
La Figure 38f correspond au morphotype escalier. Il s'agit de plage très étroite et qui présente une zone intertidale relativement escarpée. Elle est caractérisée par une forte rupture de pente en escalier dans la zone *subtidale*.

Par rapport à l'ensemble de ces morphotypes de la classification de Hegge (1994), La situation de notre zone d'étude correspond au profil plat uniforme (Figure 38c) sans rupture de pente. Ce type de profil se justifie par les conditions morphologiques propres à la rive droite l'estuaire du Komo. Il s'agit de la présence du plateau librevillois, dont la faible pente constitue une digue naturelle face à l'assaut de la houle résiduelle en provenance du large.

✓ **Approche quantitative : calcul des bilans sédimentaires**

Les bilans sédimentaires expriment les gains ou les pertes de sédiments le long d'un profil transversal, entre deux levés successifs. Le calcul d'un bilan sédimentaire entre deux profils se fait à partir de la méthode dite des trapèzes. Le calcul du bilan revient, dans un premier temps, à calculer la superficie totale entre les deux profils successifs. Ces calculs ont été réalisés avec le logiciel MATLAB R2013, grâce à un script élaboré sur le principe de la méthode du trapèze. Pour obtenir le volume en m<sup>3</sup> une largeur, considérée comme représentative de la globalité de la plage autour du profil, est introduite dans le script. La Figure 39, ci-après, présente la méthode des trapèzes (Cordier, 2007).

**Figure 39:** Méthode de calcul des bilans sédimentaires entre deux profils successifs A et B.



Source : Cordier, 2007.

Pour deux profils successifs A et B la formule suivante élaborée sur la base de la méthode des trapèzes, permet de calculer en mètre cube (m<sup>3</sup>) le bilan sédimentaire entre les deux courbes (Cordier, 2007).

$$B = \sum_{i=1}^n \frac{(Z_{B,i} - Z_{A,i}) + (Z_{B,i+1} - Z_{A,i+1})}{2} \times h$$

Un bilan sédimentaire positif traduit un gain de sédiments, c'est-à-dire un engraissement de la plage. Alors qu'un bilan sédimentaire négatif représente une perte de sédiments, c'est-à-dire une érosion. Dans le cas où deux profils successifs ne font pas la même longueur L, le bilan sédimentaire est calculé sur la base du profil le plus court.

Ces bilans représentent une estimation du taux d'érosion ou d'engraissement du secteur de plage étudié, sans aucune indication de la direction, perpendiculairement (transversale) ou parallèlement à la côte (longitudinale), de ce transport.

### **3.2.1.2. Le suivi de la mobilité du trait de côte**

Les photographies aériennes verticales sont régulièrement utilisées pour étudier l'évolution du trait de côte (Moore, 2000; Nielsen & Callaghan, 2003; Gentz et *al.*, 2007 ; Del Rio et *al.*, 2013 ; Restrepo et *al.*, 2012 ; Juigner et *al.*, 2012 ). Leur exploitation permet d'obtenir une vision globale de l'évolution d'un système côtier de façon rétrospective. En effet, la comparaison de la position du trait de côte à différentes périodes permet d'analyser la dynamique côtière, en fournissant des informations sur le transit sédimentaire et, dans le cas d'une côte anthropisée comme celle étudiée, l'impact des activités humaines sur la dynamique morphosédimentaire. Cependant, l'analyse de la cinématique du trait de côte requiert avant tout le choix d'un indicateur de celui-ci. En effet la définition même du concept de trait de côte, censé représenter la frontière linéaire entre les domaines maritime et terrestre, est problématique et sujette à controverse en raison de la grande diversité des critères d'identification (topographie, marée, végétation, etc.).

Boak et Turner (2005) ont recensé 19 traits de côte génériques, à partir de 45 indicateurs relevés dans environ quatre-vingt publications. Cette diversité de lignes de référence se traduit, en conséquence, par la multitude des méthodes directes ou indirectes pour détecter et extraire un trait de côte sur une photographie aérienne ou sur le terrain, afin de retracer son évolution historique (Faye, 2010). Dans le cas de notre étude le choix de la ligne de référence, comme marqueur de la position du trait de côte, a été porté sur la limite de la végétation (Ondo Assoumou, 2006 ; Manfoumbi, 2016). Cette limite semble la plus appropriée en ce sens que l'étroitesse des plages de la zone d'étude fait en sorte que cette ligne soit toujours située au niveau de la laisse des hautes marées.

Dans de nombreux cas, cette limite se distingue également par la présence d'un talus d'érosion de taille variable (Photo 27, ci-après).

**Photo 27:** La limite du trait de côte selon le critère de la végétation



Cliché : Jardon G., Aout 2015.

Il est important de préciser que les variations de la position de la limite de végétation ne sont pas toujours synonymes d'érosion ou d'accrétion, de la plage. En effet, cette variation peut résulter de l'action de l'homme (stabilisation artificielle piétinement), ou tout simplement des effets saisonniers d'une manière générale (Morton et Speed, 1998 ; Robin, 2002 ; Juigner et *al.*, 2012). Ce sont là quelques facteurs dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats, lorsqu'on utilise la limite de végétation comme indicateur du trait de côte (Faye, 2010).

Pour notre travail, seule la technique indirecte par photographies aériennes a été adoptée. Elle consiste en l'analyse diachronique de photographies verticales et demeure la méthode la plus indiquée pour appréhender l'évolution d'un littoral sur plusieurs décennies.

- **Acquisition des données**

L'étude est basée sur l'analyse des photographies aériennes de l'Institut Géographique National (IGN) France réalisées en 1977, 1984 et 1990. À ces images, il faut associer des orthophotoplans de Libreville (2003, 2008 et 2013) issues de l'Institut National de Cartographie (INC) du Gabon.

- **Le traitement**

La méthode adoptée se base sur un ensemble de procédures utilisées par plusieurs auteurs (Menié Ovono, 2010 ; Faye, 2010 ; Faye et *al.*, 2011 ; Juigner et *al.*, 2012). Tout d'abord, chaque photographie aérienne a été numérisée à très haute résolution, afin d'obtenir une définition au sol de 50 cm/pixel.

La suite du protocole de traitement a consisté au géoréférencement de toutes les images dans un même datum (WGS84) et dans un système de projection unique (UTM, Zone 32 Nord). Ensuite, les images ont été géométriquement corrigés sous le logiciel ArcGis version 10.1, afin d'éliminer les phénomènes de distorsion et de déformation liés à la prise de vue (parallaxe, focale de l'appareil photographique, mouvement de l'avion en vol). La technique de correction s'appuie sur la saisie de points d'amer sur chacune des images, en prenant pour document de référence l'ortho photo plan de 2008, du fait de son excellent géoréférencement dans le système local. À l'issue de cette série d'opérations, des marges d'erreur ont été mesurées, afin de tester la qualité des corrections géométriques.

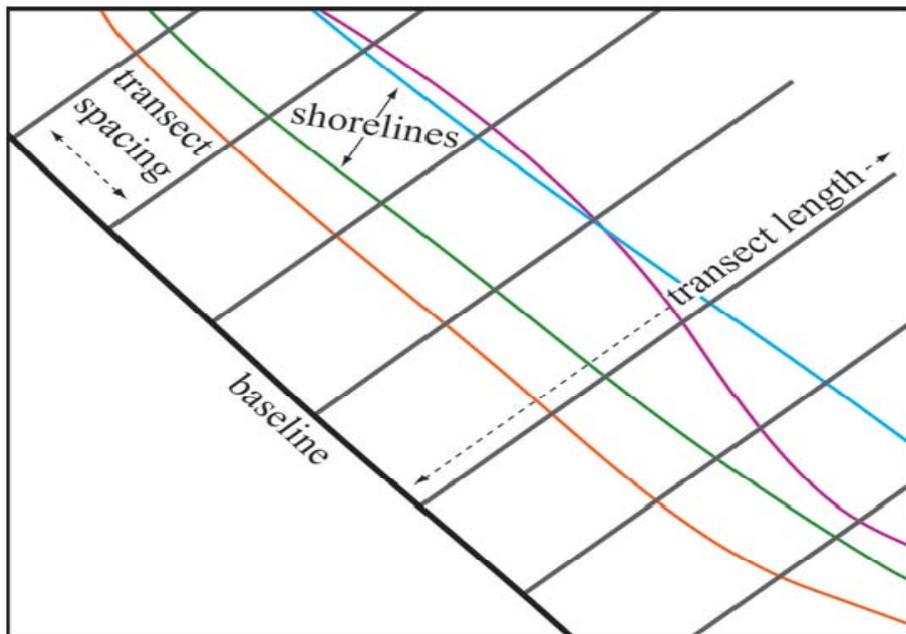
- **Digitalisation du contact plage / limite de la végétation**

La digitalisation du contact plage/ limite de la végétation est ici réalisée manuellement, par photo-interprétation assistée par ordinateur. La méthode appliquée repose sur un travail d'harmonisation des images aériennes, ainsi que sur une méthode rigoureuse pour extraire le contact plage/ limite de la végétation de ces images.

- **Analyse du taux d'évolution du trait de côte**

Le programme informatique *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) a été utilisé, pour déterminer l'évolution temporelle de la position du trait de côte (Thieler et Danforth, 1994<sup>a</sup>; Thieler et Danforth, 1994<sup>b</sup> ; Miller et *al.*, 2005 ; Himmelstoss, 2009 ; Hapke et *al.*, 2011). Les éléments d'entrée du programme DSAS ont été traités dans une géodatabase personnelle spécifique au projet, dans laquelle ont été inclus la ligne de base et les traits de côte correspondant à 1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013. La ligne de base a été créé à une distance de 200 mètres coté terre, par rapport au trait de côte de 2013. Sur la base de cette ligne de base, le programme DSAS a permis de générer des transects de 300 mètres de longs perpendiculaires à la ligne de base et régulièrement espacés de 10 mètres. Ceux qui présentent des intersections non significatives ont été éliminés. La Figure 40, ci-après, illustre le principe de fonctionnement de la méthode DSAS.

**Figure 40:** Le principe de la méthode DSAS, d'après *User Guide & Tutorial for the Extension for ArcGis V.10.0. Digital Shoreline Analysis system (DSAS)*.



Source : Thieler et al., 2009.

En effet, le DSAS mesure les distances entre les points d'intersection des transects et des traits de côte, calcule les taux d'évolution le long de chaque transect et restitue les résultats sous forme de tables attributaires.

L'estimation de la cinématique littorale et la cartographie des taux d'évolution sont basées sur l'analyse des tables attributaires générées automatiquement. Pour appréhender l'évolution temporelle de la position du trait de côte, nous avons choisi deux indices proposés par le DSAS. Il s'agit des indices *End Point Rate* (EPR) et le *Linear Regression Rate* (LRR).

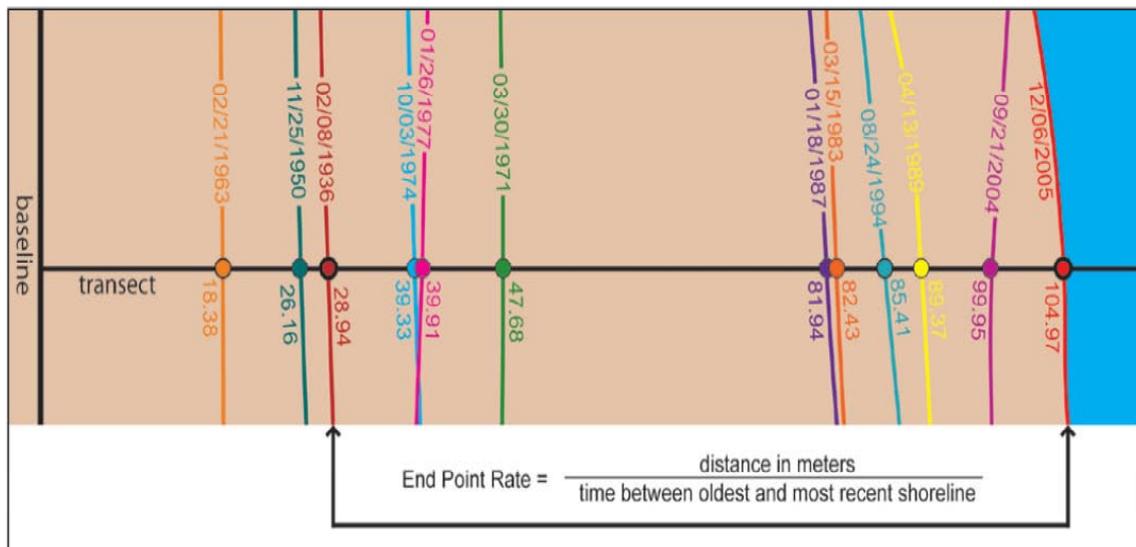
- **La méthode des points extrêmes (*End Point Rate* - EPR)**

L'indice EPR, encore appelé la méthode des points extrêmes, permet d'évaluer le taux de variation du trait de côte entre deux dates. L'avantage majeur de cette analyse est le nombre limité à deux traits de côte requis pour cette analyse. L'inconvénient majeur de cette méthode repose dans la non prise en compte des informations relatives aux traits de côte intermédiaires entre ceux deux dates dans l'analyse.

L'EPR est la distance sur le transect entre deux traits de côte le plus récent et le plus ancien divisé par le nombre d'années séparant ces traits de côte (Chand and Acharya 2010; Faye et al., 2011; Himmelstoss, 2009 ; Oyedotun, 2014 ; Prukpitikul et al., 2012).

La Figure 41, ci-après présente un exemple illustrant le principe de calcul de l'indice EPR.

**Figure 41:** Exemple illustrant le principe de calcul de l'indice EPR



Source : Thieler et al., 2009.

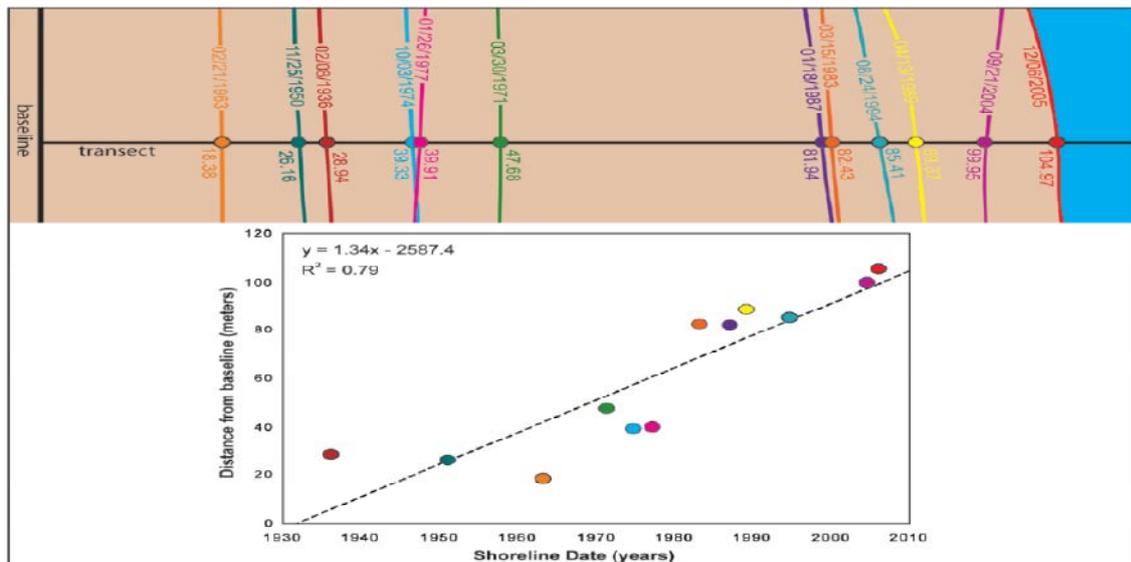
- **La méthode de la régression linéaire (*Linear Regression Rate* -LRR)**

L'indice LRR, encore appelé la méthode régressive, permet d'estimer les taux d'évolution de chaque site sur l'ensemble de la période d'étude en prenant en compte la totalité des traits de côte dans l'analyse. La méthode de la régression linéaire (*Linear Regression Rate*- LRR) : une droite de régression linéaire des moindres carrés est établie grâce à toutes les intersections des traits de côte historiques pour un transect. La pente de cette droite est le taux de régression linéaire en mètres par an (Faye et al., 2011; Himmelstoss, 2009; Oyedotun, 2014 ; Prukpitikul et al., 2012)

Les éléments suivants sont pris en compte dans la méthode de régression linéaire : *primo* la totalité des données est utilisée dans l'analyse, *secundo* la méthode est purement numérique, *tertio* les calculs sont basés sur des concepts statistique, et *quarto* et cette méthode est facile à mettre en œuvre. Pour rappel, la régression linéaire, d'usage très répandu dans la littérature, est considérée comme la meilleure méthode pour estimer les tendances évolutives du littoral sur le long terme (Fenster et al., 1993 ; Kuleli et al., 2011, Goncalves et al., 2012, Albuquerque, et al., 2013 ; Alina et al., 2014).

La Figure 42, ci-après, présente un exemple illustrant le principe de calcul du taux de régression linéaire.

**Figure 42:** Exemple illustrant le principe de calcul de l'indice LRR



Source : Thieler et *al.*, 2009.

Ensuite, les mesures de distance et les taux d'évolution concernant ces segments de côte ont été moyennés, pour cartographier l'évolution diachronique de la position du trait de côte, en vue d'établir une classification des zones qui présentent une tendance positive ou négative (Thieler et *al.*, 2009).

### 3.2.2. Traitement des données de sédimentologie

#### 3.2.2.1. Techniques d'analyse granulométrique

Dans le cadre de l'étude granulométrique, la technique du tamisage a été utilisée. Elle consiste à déduire les tailles des grains de sable et de gravier, en fonction de leur capacité à franchir ou non des orifices carrés, de dimensions connues (Verger, 1976).

Les analyses granulométriques des données de 2011 et 2012 ont été réalisées au Laboratoire CEFREM de l'Université Via Domitia de Perpignan, celles de 2014 au laboratoire Géolittomer de l'Université de Nantes. Les trois séries ont été traitées avec les mêmes référentiels.

- **Préparation des échantillons**

Dans un premier temps, l'échantillon prélevé est déposé dans un récipient référencé. Il est ensuite rincé, afin de le débarrasser des corps flottants (débris organiques) et des substances qui rendent le sable cohésif. Ainsi, on se débarrasse du chlorure de sodium et d'éventuelles pérites (toujours en quantité infime dans les sables étudiés). L'échantillon est ensuite séché dans une étuve chauffante ventilée pendant 48 h, à une température de 60°C.

- **Tamisage des sables**

Avant de procéder au tamisage, on effectue un quartage qui consiste à choisir la quantité de matériel à mettre dans les tamis. Pour le faire, on dispose de deux feuilles de papier se chevauchant sur lesquelles on répartit l'échantillon de façon à obtenir deux échantillons représentatifs de l'échantillon de départ. En effet, il ne faut surtout pas effectuer un pré-classement. Après le quartage on procède au tamisage. Celui-ci consiste à répartir les grains d'un échantillon en une série de classes dimensionnelles, par passage à travers une succession de toiles en acier inox constituées de mailles carrées de plus en plus petites.

Par échantillon, entre 100 et 200 grammes de sédiment ont été tamisés par agitation à sec selon une procédure classique (Rivière, 1977), sur une colonne AFNOR pendant 15 minutes en continu avec une amplitude d'agitation constante. Les refus récoltés dans chaque tamis sont pesés sur une balance électronique dont la précision est de 0,01g.

Les grains sont triés selon leur largeur, et non selon leur longueur, sur une série de tamis présentant une progression géométrique régulière :

2,5 – 2 – 1,6 – 1,25 – 1 – 0,8 – 0,63 – 0,5 – 0,4 – 0,315 – 0,25 – 0,2 – 0,16 – 0,125 – 0,1 – 0,08 – 0,063 mm.

La progression adoptée est celle de la norme de l'Association Française de Normalisation (AFNOR), dont la raison raison est  $101/10 = 1,2589$ .

Les pourcentages en masse de chaque refus et les pourcentages cumulatifs sont déduits par rapport à l'ensemble du sédiment. Les résultats obtenus permettent de calculer les principaux paramètres granulométriques suivants:

- la taille moyenne du sédiment, ou le grain médian (Md), notée  $\mu$
- le tri du sédiment, ou *Sorting index*, noté  $\sigma$ ,
- l'asymétrie de la distribution sédimentaire, ou *Skewness*, noté Sk.

Ces paramètres granulométriques sont calculés à partir des distributions en classe de taille des sédiments. Les formules de calcul de ces paramètres peuvent être regroupées en deux méthodes: d'une part, la méthode graphique, qui utilise certains percentiles extraits de la distribution en fréquence cumulée de l'échantillon sédimentaire (Folk & Ward, 1957) ; d'autre part, la méthode statistique, considérée comme plus précise, qui intègre la totalité de la population de l'échantillon sédimentaire (Blott & Pye, 2001). La distinction entre les différentes familles de sédiments se fait selon la classification de Wentworth (1922). Du fait

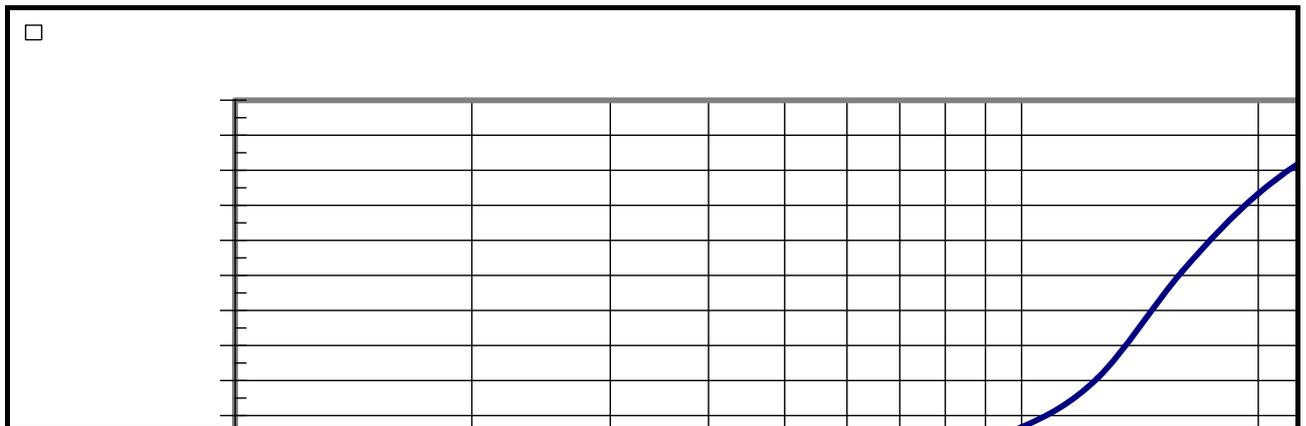
d'une importante proportion des échantillons plurimodaux, l'analyse granulométrique par la méthode paramétrique a été couplée à l'analyse modale (Barusseau, 1973; Barusseau, 2011).

- **Calcul des paramètres granulométriques**

La taille des particules est la propriété la plus fondamentale des sédiments qui les soumet aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (Blott & Pye, 2001). L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (Friedman, 1979 ; Bui et *al.*, 1990).

Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont obtenus à partir de la détermination des « fractiles », qui représentent les dimensions de particules correspondant à des pourcentages cumulatifs déterminés (Figure 43, ci-après).

**Figure 43:** Représentation d'une courbe granulométrique (pourcentages cumulatifs semi-logarithmiques).



Source : Ferrer P., 2005.

Les fractiles utilisés sont :

- les quartiles  $\Phi_{25}$ ,  $\Phi_{50}$  et  $\Phi_{75}$ , correspondant respectivement à 25 %, 50 % et 75 %;
- les déciles  $\Phi_{10}$  et  $\Phi_{90}$ , correspondant respectivement à 10 % et 90 %;
- les pentiles  $\Phi_{5}$  et  $\Phi_{95}$ , correspondant respectivement à 5 % et 95 %;
- les fractiles dit "écart type"  $\Phi_{16}$  et  $\Phi_{84}$ , correspondant respectivement à 16 % et 84 %.

L'unité Phi ( $\Phi$ ), qui correspond au système d'unité anglo-saxonne, a été choisie pour représenter les paramètres granulométriques par souci d'homogénéité. Cette unité est une transformation logarithmique en base 2 des diamètres de particules exprimées en millimètres, selon la formule :

$$d_{\Phi} = -\log_2(d_{\text{mm}})$$

Avec  $d_{\Phi}$  la taille des sédiments en unité  $\Phi$  et  $d_{\text{mm}}$  la taille des sédiments en mm.

Le grain médian (Md) définit la tendance centrale de la distribution granulométrique du sédiment. Elle renseigne sur l'énergie du milieu, et représente la taille des particules pour un pourcentage pondéral cumulée de 50 % (Md =  $\Phi_{50}$ ). La moyenne détermine le grain moyen d'un échantillon de sédiment. Elle renseigne également sur l'énergie du milieu (Konan, 2012 ; Yao, 2012 ).

L'écart type ou la déviation standard, ou le *Sorting index* ( $\sigma$ ), représente la mesure statistique de la dispersion autour de la moyenne d'une courbe gaussienne. Il caractérise le degré de classement du sédiment étudié. Plus sa valeur est faible, mieux est le classement du sédiment.

Le *skewness* traduit le degré d'asymétrie de la courbe de distribution par rapport à l'ordonnée, passant par son centre de gravité. Cette asymétrie permet d'affiner le classement du sédiment. Elle indique l'étalement de la granulométrie vers les particules fines par les valeurs positives des *skewness*, et inversement l'étalement vers les particules grossières par les valeurs négatives (Rivière, 1977). Cette distribution reflète relativement les conditions hydrodynamiques littorales. Les conditions agitées en domaine littoral favorisent le vannage des particules fines. On obtient des granulométries tronquées et étalées vers les grossiers. En revanche, le piégeage des particules fines dans les sédiments est illustré par un étalement des granulométries vers les fines. Le Tableau 10, ci-après, présente les formules de calcul des paramètres granulométriques par la méthode logarithmique des moments, les limites et la terminologie des classes en fonction des valeurs prises par les paramètres granulométriques.

**Tableau 10:** Granulométrie : formules de calcul des paramètres par la méthode logarithmique des moments, limites et terminologie des classes de valeurs prises par les paramètres.

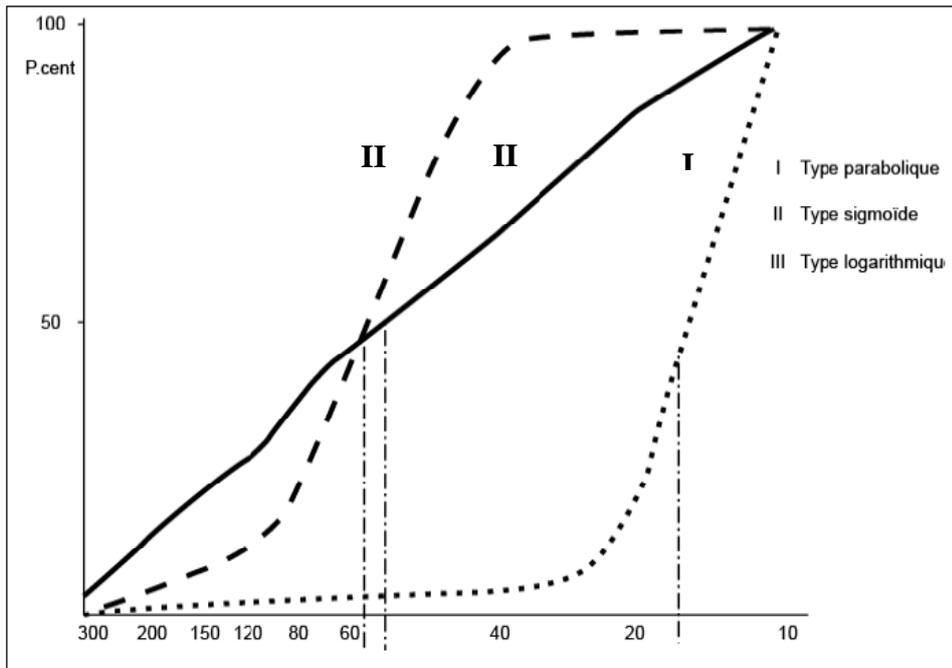
TAILLE MOYENNE (mm et $\Phi$ )			INDICE DE TRI OU SORTING $\sigma$		ASYMETRIE OU SKEWNESS SK	
Caractérisation du sédiment	(Md = 50).	$\mu_{\Phi} = \frac{\sum f \cdot d_{\Phi}}{100}$	$\sigma_{\Phi} = \sqrt{\frac{\sum f \cdot (d_{\Phi} - \mu_{\Phi})^2}{100}}$		$Sk_{\Phi} = \frac{\sum f \cdot (d_{\Phi} - \mu_{\Phi})^3}{100 \cdot \sigma_{\Phi}^3}$	
Sable très grossier	2 mm - $\Phi_{50}$ - 1 mm	- 1 $\Phi$ - 0 $\Phi$	Très bien trié	< 0,35	Très asymétrique vers les fines	> 1,30
Sable grossier	1 mm - $\Phi_{50}$ - 0,5 mm	0 $\Phi$ - 1 $\Phi$	Bien trié	0,35 - 0,50	Asymétrique vers les fines	0,43 - 1,30
Sable moyen	0,5 mm - $\Phi_{50}$ - 0,25 m	1 $\Phi$ - 2 $\Phi$	Assez bien trié	0,50 - 0,70	Presque symétrique	-0,43 - 0,43
Sable fin	0,25 - $\Phi_{50}$ - 0,125 m	2 $\Phi$ - 3 $\Phi$	Assez peu trié	0,70 - 1,00	Asymétrique vers les grossiers	-0,43 - -1,30
Sable très fin	0,125 - $\Phi_{50}$ - 0,63 m	3 $\Phi$ - 4 $\Phi$	Peu trié	1,00 - 2,00	Très asymétrique vers les grossiers	< -1,30
Source : Cordier, 2007 modifié.			Très peu trié	2,00 - 4,00		
			Extrêmement peu trié	> 4,00		

f : la fréquence en pourcentage de la distribution,  
 $d_{\Phi}$  : la taille des grains en unité  $\Phi$ .

- **Faciès granulométriques**

La forme des courbes granulométriques semi-logarithmiques permet de déterminer les différents faciès granulométriques. Cette détermination est effective grâce aux courbes types définies par Tricart (1965) pour les fractions sableuses (Figure 44, ci-après).

**Figure 44:** Types fondamentaux de courbes granulométriques



Source : Tricart(1965)

Le faciès hyperbolique ou faciès sigmoïde (S) présente une courbe à concavité dirigée vers le bas. Il caractérise les sédiments très fins déposés, en principe, par décantation en eaux calmes dans des environnements très variés (lacustres ou laguno-lacustres, fosses marines dépourvues de circulation, zones pélagiques, etc.). Par ailleurs, le faciès hyperbolique affecte aussi très généralement la fraction grossière terminale de la distribution granulométrique (Rivière, 1977). Il est le fait de l'élimination progressive par abandon des particules les plus grossières, au fur et à mesure de la diminution de la compétence du milieu analogue à une décantation. Ainsi les sédiments des plages, singulièrement les éléments grossiers, peuvent présenter des courbes granulométriques en S plus ou moins symétriques, car ceux-ci restent peu à peu à la traîne au cours du cheminement littoral (Rivière, 1977).

Le faciès parabolique présente à l'inverse une courbe cumulative à concavité dirigée vers le haut. Cette courbe apparaît comme formée de deux segments à faible courbure, l'un correspondant aux éléments fins (souvent subrectiligne), l'autre à la partie silteuse ou sableuse du sédiment. Ces deux segments sont réunis par une zone de forte courbure. Il caractérise

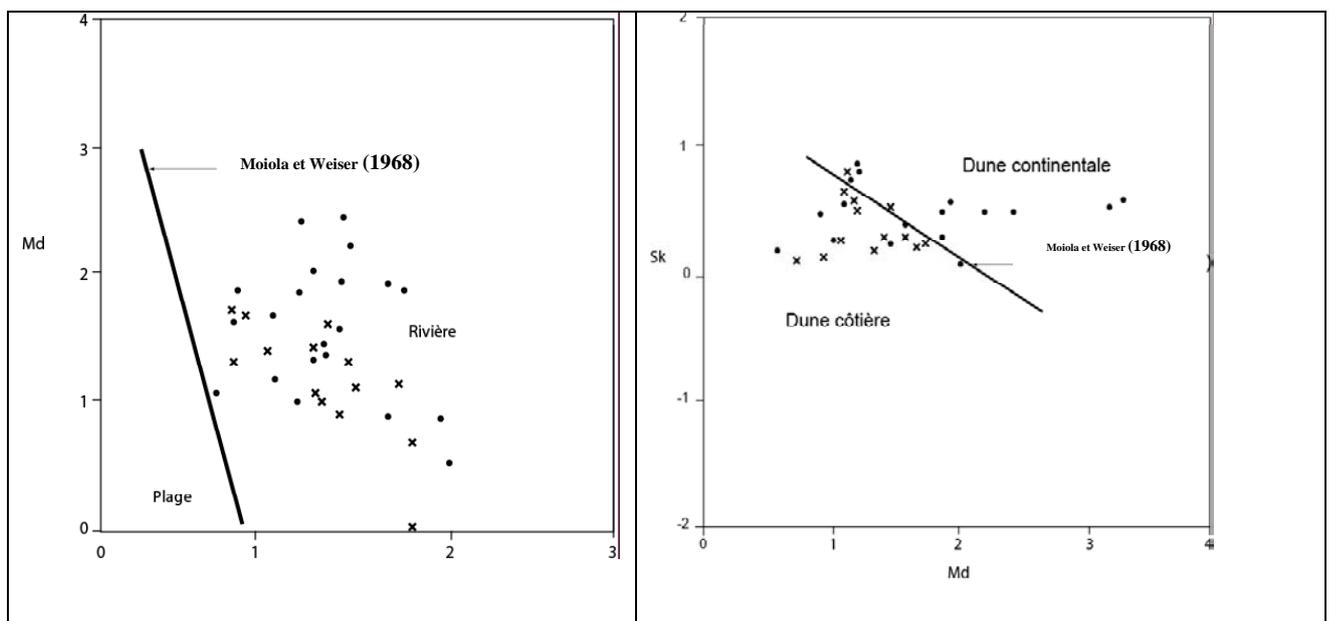
essentiellement les dépôts laissés par des courants fluviaux ou marins par excès de charge. Ce faciès est le plus souvent associé à des sédiments où le transport des particules a pu s'effectuer en suspension graduée pour les particules grossières, et en suspension uniforme pour les particules fines. Au niveau des plages les éléments les plus fins, tendant à être entraînés au large par des actions liées au déferlement des vagues dans le profil, peuvent être caractérisés par un faciès parabolique (Rivière, 1977).

La courbe cumulative du faciès logarithmique apparaît pratiquement rectiligne. Ce faciès caractérise les sédiments fins plus ou moins vaseux des cours inférieurs des fleuves, les vases estuariennes ou deltaïques, ainsi que des vases lagunaires ou littorales (de zones relativement calmes). Il correspond donc à l'évolution extrême des sédiments transportés par les courants et déposés par excès de charge, à la suite d'une diminution de la compétence de l'agent de transport.

- **Environnement de dépôt des sédiments sableux**

Les environnements de dépôt sont déterminés à partir des diagrammes So-Md et Md-Sk de Moiola et Weiser (1968). Ces diagrammes permettent de différencier les environnements de sables de plage, de rivière, de dune côtière et de dune continentale (Figure 45, ci-après).

**Figure 45:** Diagrammes Md-So (A) et Sk-Md (B) de Moiola et Weiser (1968)



Source : Moiola et Weiser (1968)

Les équations de droite utilisées dans le cadre des combinaisons So-Md et Md-Sk sont respectivement  $Y = -4,9 X + 3,76$  et  $Y = -0,53 X + 1,24$ .

### 3.2.2.2. Analyse morphoscopique des quartzs

La morphoscopie est la description de l'aspect de la surface et de la forme des grains de sables (Parpenoff et *al.*, 1970). Il existe deux méthodes pour l'étude morphoscopique : la celle de Krumbein (1936) et de Cailleux (1947).

- **La méthode de Krumbein (1936)**

La méthode de Krumbein (1936) se base sur la sphéricité et le caractère arrondi des grains qui composent le sédiment. En effet, Il définit la sphéricité comme le rapport des images de projection sur un plan de la longueur sur la largeur. L'arrondi est le rapport du rayon moyen des angles sur le rayon du plus grand cercle inscrit. Les deux caractères sont compris entre 0 et 1 (Tableau 11, ci-après).

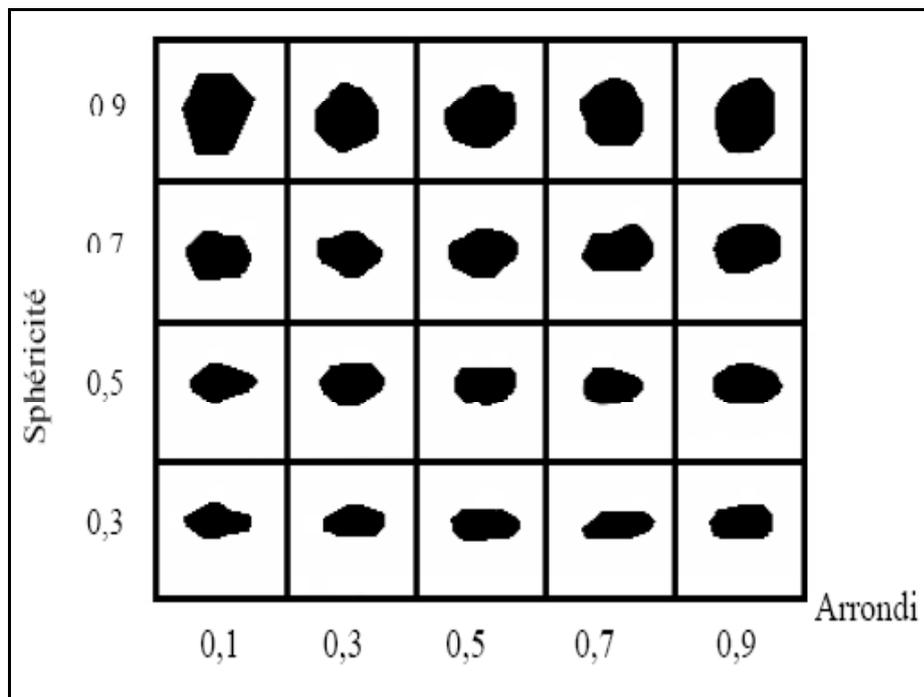
**Tableau 11:** Coefficient d'arrondi et de sphéricité

	Valeurs	Qualification
<b>Sphéricité</b>	0,3	Faible
	0,5-0,7	Moyenne
	0,9	Elevé
<b>Arrondi</b>	0,1	Anguleux
	0,3	Sub-anguleux
	0,5	Sub-arrondi
	0,7	Arrondi
	0,9	Très arrondi

Source : Krumbein, 1936.

Une classification de la sphéricité est également possible selon la valeur de l'indice et la charte visuelle. Cette classification permet d'estimer ces deux indices. Son principe se base sur le couplage de l'arrondi et de la sphéricité. La Figure 46, ci-après, présente la charte visuelle de la sphéricité des grains de sables avec en abscisse la sphéricité et en ordonnée l'arrondi.

**Figure 46:** Charte visuelle de la sphéricité des grains de sables



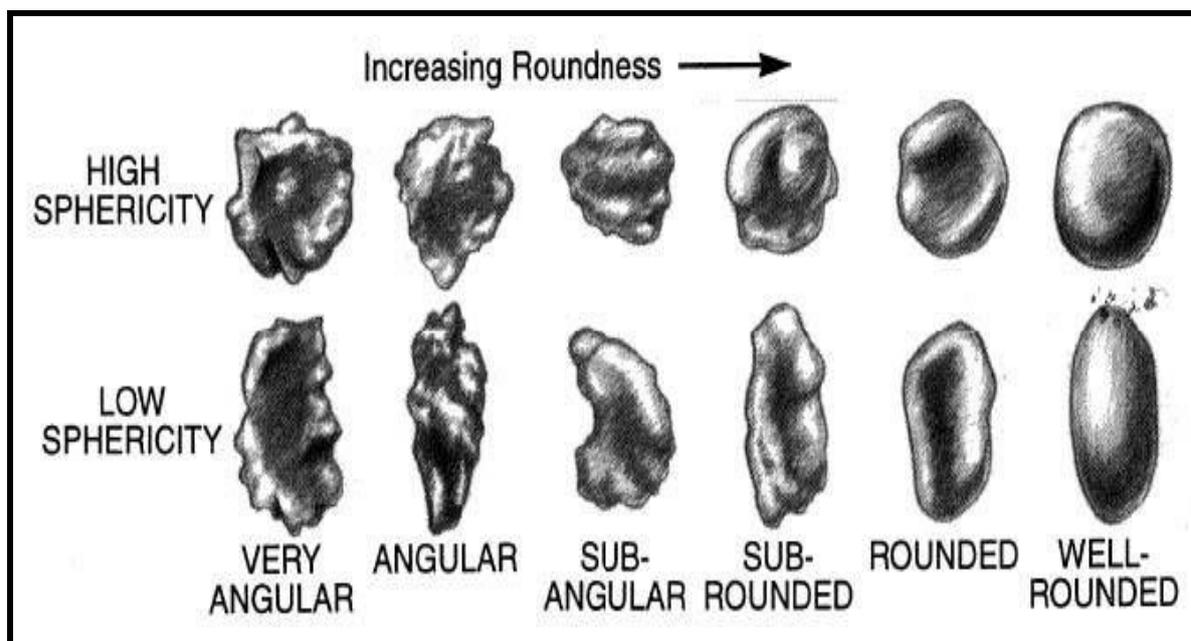
Source : Krumbein, 1936.

- **La Méthode de Cailleux (1947)**

La méthode de Cailleux (1947) consiste à trier par tamisage les principales fractions granulométriques d'un sédiment, puis à classer les grains par observation à la loupe binoculaire. La morphoscopie est l'appréciation, à la loupe binoculaire (x40), de la forme et de l'état de surface des grains de quartz constituant le sédiment. Elle nous renseigne sur la nature de l'agent de transport et, éventuellement, sur le milieu de sédimentation (Le Roux, 2005). Le classement des grains de quartz tient compte de deux critères : la forme des grains et l'aspect de leur surface. Le choix a porté sur 15 échantillons de bas de plage collectés au niveau des 15 profils couvrant la zone d'étude. Les dimensions des grains retenus sont comprises entre 160 et 200  $\mu\text{m}$ , 315 et 400  $\mu\text{m}$ , 630 et 800  $\mu\text{m}$ , respectivement pour les sables fins, moyens et grossiers.

La charte visuelle permet de distinguer trois catégories principales de grains (les « Non-Usés » ou « NU », les « Emoussés-Luisants » ou « EL » et les « Ronds-Mats » ou « RM ») (Figure 47, ci-après).

**Figure 47:** Charte visuelle d'estimation de la sphéricité et de l'éroussé des grains de sable



Source : Power, 1953.

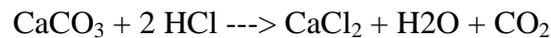
Le comptage et l'identification des propriétés physiques des différents types de grains (Pomerol et *al.*, 2002) ont été effectués sur 30 grains de quartz sélectionnés de façon arbitraire, pour chaque fraction granulométrique analysée (Timireva and Velichko, 2006). Ces paramètres permettent de discerner sur le grain les traces du façonnement aquatique ou éolien (Cailleux et Tricart, 1959 ; Saaidi, 1991 ; Pinot, 1994). Les statistiques pour les interprétations sédimentologiques ont été déterminées (Mahaney, 2002 ; Costa et *al.*, 2012). L'analyse de l'usure du sédiment permet de déduire l'agent de transport. Pour notre travail, seule la méthode de Cailleux (1947) a été utilisée.

### 3.2.2.3. Minéralogie du sédiment total

La détermination de la minéralogie globale des sédiments a été réalisée par diffraction aux rayons X, selon « la méthode de poudre ». Cette méthode consiste à irradier l'échantillon brut finement broyé dans l'espace angulaire compris entre 2 et 520, en utilisant la radiation  $K\alpha$  du cuivre. Les minéraux sont reconnus par la suite sur le Diffractogramme grâce à leurs raies caractéristiques. La diffractométrie a été réalisée au laboratoire CEFREM de l'Université Via Domitia de Perpignan (France). Les diagrammes obtenus sous forme d'enregistrements graphiques ont été traités par le logiciel WINPLOTTER et par Adobe Illustrator CS 3.

#### 3.2.2.4. Analyse calcimétrique

La calcimétrie est la mesure du pourcentage de carbonates de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) contenu dans un sédiment. La teneur en carbonates de calcium renseigne sur la proportion de débris de coquille et des tests d'organismes microscopiques dans un sédiment. Cette information peut être utile pour les études sur l'origine des sédiments et, par voie de conséquence, le transport sédimentaire (Barusseau et *al.*, 1984). L'appareil utilisé est le calcimètre Bernard. Le principe est basé sur la mesure du volume de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) dégagé après attaque de l'échantillon broyé à l'acide chlorhydrique, suivant la formule:



En prenant en compte cette équation, le calcul se base sur l'utilisation des masses molaires et des volumes molaires. Pour chaque échantillon, environs 0,4 g de matériel en poudre est attaqué à l'acide chlorhydrique en présence d'une solution saturée de NaCl. Si la masse de matière est supérieure à 0,4g, le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé sera trop important pour être mesuré par la technique du calcimètre Bernard. À l'aide d'une pipette, du HCl concentré est versé dans un tube, qui est mis au fond de l'erlenmeyer en utilisant une pince. Une fois le tube d'acide introduit, l'erlenmeyer est bouché. Pour effectuer une bonne lecture du niveau initial de la solution saturée dans le tube graduée, il est recommandé d'ajuster la hauteur de l'ampoule contenant la solution saturée de manière à ce qu'elle soit au même niveau dans l'ampoule et le tube gradué. Le contenu de l'erlenmeyer sera alors à la pression atmosphérique. On peut alors faire la première lecture du niveau de la solution saturée dans le tube. Cette lecture doit être notée, car elle servira pour déterminer la teneur des carbonates.

Ensuite, il faut faire couler l'acide chlorhydrique sur l'échantillon en poudre, reposer ensuite l'erlenmeyer et attendre la fin de l'effervescence, qui correspond à la fin de la dégradation de tous les carbonates contenus dans l'échantillon. Pour une mesure précise, il convient d'attendre un rééquilibrage de la température dans l'erlenmeyer avec celle de l'air ambiant (réaction exothermique). À cet instant, la pression dans le tube gradué est alors supérieure à la pression atmosphérique. À cet effet, Il convient de rétablir la pression atmosphérique en descendant la hauteur de la solution saturée, jusqu'à obtenir le même niveau dans l'ampoule et le tube gradué. Ce rajustement de niveau permet de mettre le  $\text{CO}_2$  dégagé à la pression atmosphérique. On peut ainsi faire la seconde lecture.

Lorsque l'acide HCl est en excès, son action sur une mole de  $\text{CaCO}_3$  (100g/mol) libère une mole de  $\text{CO}_2$  (22,4 l soit 22400 ml). Connaissant le volume de  $\text{CO}_2$  dégagé (seconde lecture moins première lecture), on peut calculer la masse de  $\text{CaCO}_3$  attaqué en utilisant la

Masse volumique du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) et le Volume molaire du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ).

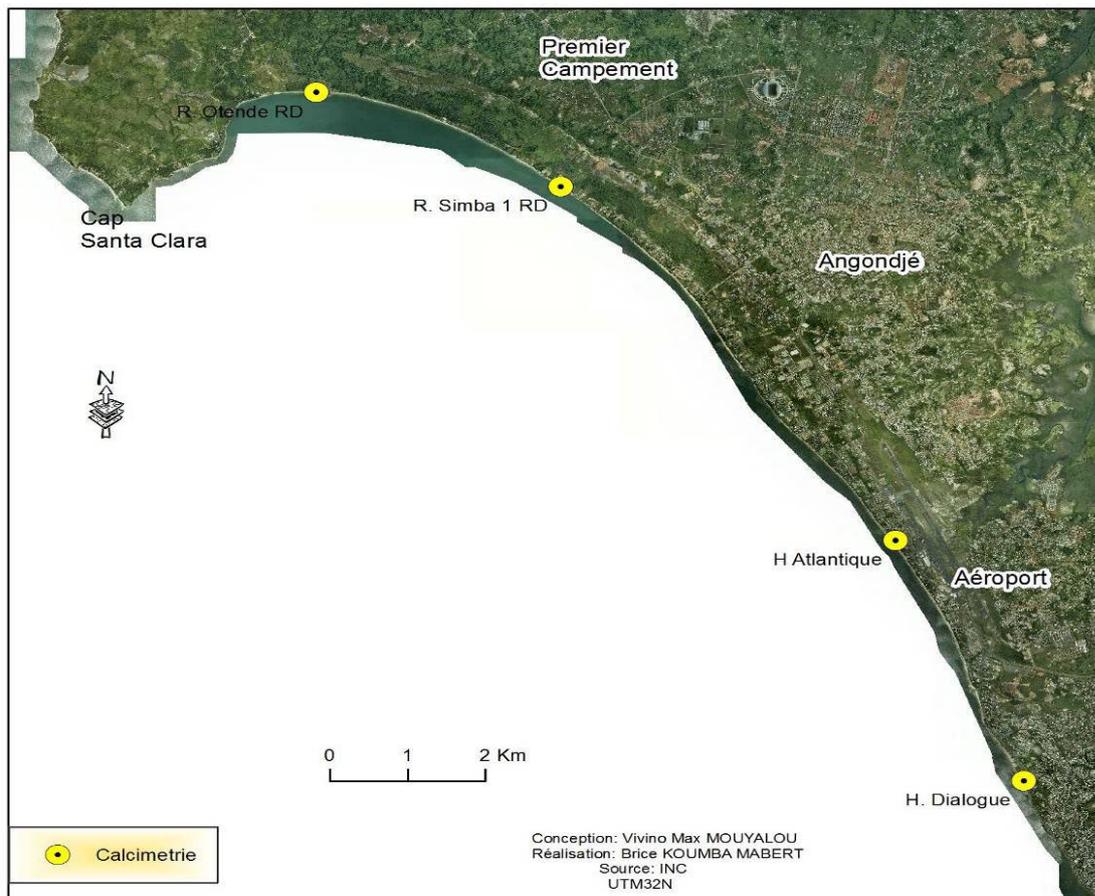
- $m$  (Masse de l'échantillon) = 0,4 g
- $v_1$  (première lecture de la solution saturée sous pression atmosphérique) = 15 ml
- $v_2$  (deuxième lecture de la solution saturée sous pression atmosphérique) = 72 ml
- Masse volumique du carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) = 100 g
- Volume molaire du gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) = 22400 ml

$$M(\text{CaCO}_3) = (72-15) \text{ ml} \rightarrow 100\text{g}/22400 \text{ ml} = 0,25\text{g}$$

La masse de  $\text{CaCO}_3$  dans notre échantillon est de 0,25 g, correspondant à 64 %.

Dans notre zone d'étude, sept profils ont fait l'objet d'analyse calcimétrique. Le choix de ces profils, depuis le fond de la Baie d'Akouango (rivière Otendé) à l'hôtel Dialogue, a été fait de telle sorte qu'il soit possible d'avoir une idée de la distribution des carbonates sur l'ensemble de la zone d'étude (Figure 48, ci-après).

**Figure 48:** Localisation des profils ayant fait l'objet d'analyse calcimétrique



Pour chaque échantillon, la démarche retenue a consisté à analyser les refus des tamis suivants :

- gravier ; refus du tamis 3,15 mm,
- sable très grossier ; refus du tamis 1.6 mm,
- sable grossier ; refus du tamis 630 microns,
- sable fin ; refus du tamis 200 microns,
- sable très fin ; refus du tamis 63 microns.

L'étude de la dynamique sédimentaire dans le cadre de notre travail a été rendue possible grâce à l'utilisation d'une série de méthodes et techniques d'analyses dans les domaines de la géomorphologie et de la sédimentologie. La collecte des données a été faite grâce à une série de stations ou profils marqués par un point fixe et situés sur le haut de plage. La collecte des données de morphologie a consisté à la réalisation des profils transversaux de plage à l'aide d'un niveau optique, dans le but de calculer les bilans sédimentaires. L'étude sédimentologique a consisté essentiellement au prélèvement des sédiments superficiels de la plage intertidale aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage. À cette collecte de données de terrain, il faut associer des bases de données en provenance du CNDIO ou de différents organismes publics et privés (DGM, GPM, IGN France, etc.) qui ont contribué également à l'étude de l'évolution morphodynamique de notre système côtier.

En laboratoire, les données de morphologie (données topographiques et du trait de côte) et de sédimentologie ont été traitées, analysées, puis interprétées en termes de dynamique sédimentaire. Les profils de plage ont été analysés suivant deux approches. L'approche qualitative a reposé sur l'analyse des morphotypes, et l'approche quantitative a été basée sur le calcul des bilans sédimentaires. L'exploitation des photographies aériennes a permis l'analyse diachronique du trait de côte, pour la période 1977-2013. L'étude sédimentologique a permis successivement de faire les analyses granulométrique, minéralogique, calcimétrique et enfin morphoscopique des sédiments superficiels de la plage intertidale.

En conclusion, le littoral autour de l'estuaire du Komo et celui de sa rive droite évoluent sous l'effet de nombreux agents et facteurs physiques. Il s'agit entre autres des facteurs physiques, des conditions météo-marines, qui est le moteur de la dynamique morphosédimentaire et des actions anthropiques. La zone d'étude se situe au niveau d'un estuaire caractérisé par des côtes basses sableuses. Les conditions hydrodynamiques sont

essentiellement dominées par les processus tidaux auxquels s'ajoute une houle résiduelle issue des vents dominants en provenance du Sud et du Sud-ouest. Le transit littoral est de nos jours faible, comme le témoigne l'affleurement à marée basse du platier rocheux au niveau de la plage du Lycée Léon Mba. Les sédiments sont sableux avec un affinement des particules depuis le Nord en direction du Sud. Deux structures géologiques se distinguent le long de ces plages : les calcaires de Sibang d'âge Turonien et les terrains quaternaires meubles correspondant aux paléo-cordons littoraux. Cette frange littorale est très fragilisée par de nombreuses actions anthropiques.

Après la description des caractéristiques physiques nécessaire à la compréhension de la dynamique morphosédimentaire, le dernier chapitre de cette partie aborde le cadre de l'outillage et des méthodes d'analyses utilisés dans notre travail. En effet, est faite l'analyse les techniques utilisées aussi bien sur le terrain qu'en laboratoire. Sur le terrain, il s'agit principalement de la réalisation des profils transversaux de la plage et la collecte des sédiments superficiels. En laboratoire, le travail a consisté au traitement et à l'analyse des différentes données collectées.

**DEUXIEME PARTIE :**

**LES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DE  
LA PLAGE INTERTIDALE DE LA COTE NORD  
DE LIBREVILLE**

Sur le plan de la morphodynamique d'un système côtier, il existe une boucle rétroactive entre morphologie, hydrodynamique et transport. En effet, la morphologie et l'hydrodynamique s'ajustent mutuellement par le biais du transport sédimentaire. Cet équilibre dynamique est également complété par d'autres facteurs de contrôle qui sont la dynamique du bassin et les volumes apportés.

La deuxième partie du présent travail présente en deux chapitres les différents résultats de l'analyse des données de morphologie.

Le premier chapitre, à travers l'analyse des profils transversaux de la plage intertidale, met en lumière les variations morphologiques des plages intertidale de l'échelle "évènementielle", saisonnière jusqu'à pluri-annuelle. Cette démarche à différentes échelles permet de mettre en évidence les variations morphologiques au cours du temps et de l'espace. Pour ce chapitre, deux approches sont proposées. Tout d'abord l'approche qualitative liée à la description de la morphologie des plages intertidale. Ensuite, l'approche quantitative qui se focalise sur l'analyse des bilans sédimentaires a été adoptée.

Le deuxième chapitre quant à lui, est consacré à la cinématique du trait de côte sur une période trente six ans (1977 à 2013). Celle-ci permet, à partir des tests statistiques (EPR et LRR), d'évaluer la mobilité du trait de côte durant la période définie, et d'établir la vulnérabilité de ce segment côtier, en lien avec les diverses pressions anthropiques qui y sont exercées. Les bilans surfaciques et volumiques, qui s'ajoutent à cette analyse, aideront à conforter les tendances traduites par les tests proposés.

## **CHAPITRE 4 : EVOLUTION MORPHOSEDIMENTAIRE DE LA PLAGES INTERTIDALE DE 2012 À 2015**

L'analyse des processus de transport sédimentaire en zone intertidale est une approche couramment utilisée en géomorphologie et/ou en ingénierie côtière (Giosan et al. 2000 ; Kumar et al. 2000 ; Sabatier et al. 2001 ; Lafon et al., 2004). Car, elle présente l'avantage de donner une vision globale des transits sédimentaires à l'échelle des différentes cellules hydrosédimentaires. Elle est aussi une étape essentielle dans le cadre de la gestion de l'érosion côtière, et de la modélisation de l'évolution du rivage. En effet, avoir une bonne connaissance, de l'évolution spatio-temporelle des bilans sédimentaires d'un environnement côtier, a toujours constitué le préalable à toutes les études relatives aux changements morphologiques ou aux processus morphodynamiques dans un contexte de gestion de la zone côtière (Pinot, 1991 ; Pinot, 1998 ; Esteves, 2009 ; Suanez, 2009).

Dans notre étude, l'analyse des bilans sédimentaires a été abordée à différentes échelles spatio-temporelles (événementielle, mensuelle à pluriannuelle). Le suivi de l'évolution morphodynamique de la plage intertidale dans la Baie d'Akouango a été réalisé grâce à une série de profils transversaux.

Dans ce contexte, le présent chapitre fait la synthèse de la dynamique de la plage intertidale de la Baie d'Akouango à différentes échelles. L'analyse des résultats obtenus a été faite selon deux approches. La première approche, dite qualitative, est basée sur l'interprétation de la morphologie des profils (Hegge, 1994). La deuxième, dite quantitative, se focalise sur la tendance évolutive du rivage et le calcul des bilans sédimentaires (Stépanian, 2002).

### **4.1. Analyse descriptive de l'évolution morphologique de la plage intertidale**

L'analyse descriptive de l'évolution morphosédimentaire des plages intertidales repose sur la prise en compte d'un certain nombre d'éléments déterminants, notamment les formes mineures et l'évolution de l'enveloppe des mouvements sédimentaires.

#### **4.1.1. Les formes mineures sur le profil de plage**

L'irrégularité des profils de plage est accentuée par la présence de formes mineures. Elles se caractérisent par leur diversité ainsi que leur variabilité spatio-temporelle dus aux conditions hydrodynamiques. *Primo* il y a les gradins de plage, *secundo* les croissants de plage, *tertio* l'ensemble crêtes et sillons sédimentaires et, *quarto*, les rides de plage.

Les gradins de plage sont des replats séparés les uns des autres par des micro-abrupts ou microfalaises. Ils s'édifient dans le haut du profil, à la suite des états successifs de la mer. Les observations *in situ* ont permis de mettre en évidence des formes fraîches, où le replat est large de 1 à 4 mètres et un micro-abrupt ou une microfalaise de 30 à 90 cm de hauteur en moyenne. Plusieurs profils illustrent ici pleinement ces formes (photo 28, ci-après).

**Photo 28:** Plage structurée en gradins de plage à la Plage du Remorqueur.



Cliché : Mouyalou V. M. T., mars 2017.

L'autre groupe de formes mineures est constitué par les croissants de plage. Les croissants de plages correspondant, chacun, à l'extrémité avancée d'un jet de rive, le "maximum" d'agitation se situe dans l'axe des creux. Ces croissants de plage sont construits et se défont au rythme des marées, traduisant leur énorme variabilité spatio-temporelle.

Une autre forme mineure observable sur les plages, et qui ressort de quelque façon que ce soit sur les profils, est l'ensemble des crêtes et sillons sédimentaires généralement localisés au niveau du bas de plage. Les crêtes correspondent au sommet des barres, qui s'observent assez facilement lors des marées basses. Ces barres sont généralement associées à des dépressions morphologiques nommées sillons littoraux peu profonds et parallèles à la côte.

On y trouve aussi des bâches, dont l'origine est le remous provoqué par le déferlement dans certaines conditions de cambrure de vagues (photo 29, ci après).

**Photo 29:** Plage caractérisée par la présence d'une bâche suivie d'une barre sous marine au Nord de la baie d'Akouango.



Cliché : Mouyalou V. M. T., mars 2017.

Ces formes sont assez peu visibles à cause de la forme concave des profils, à l'exception des zones d'embouchures. Les dernières des formes mineures, qui ont été observées sur le terrain, sont les rides de plages. En effet, sous l'action marine, il se produit préférentiellement au bas de plage, de nombreuses rides faiblement sinueuses, de petites tailles, dues à la nappe de retrait qui s'écoule de façon turbulente sur le bas estran. La Photo 30, ci-après, illustre des rides de plage.

**Photo 30:** Rides de plages au droit de la rivière Otendé au Nord de la Baie d'Akouango



Cliché : Mouyalou V. M. T., février 2016.

La présence de ces formes mineures est variable avec le temps, reflétant ainsi des états temporaires de la mer. L'ensemble de ces formes mineures justifie l'irrégularité de certains profils de plage, depuis le haut jusqu'au bas de plage.

#### **4.2. L'évolution morphosédimentaire des plages intertidales**

L'analyse de l'évolution morphosédimentaire des plages réalisée dans le cadre de cette étude se focalise sur l'utilisation de deux séries de données distinctes. La première série correspond aux données issues de six stations, dont le suivi a été réalisé suivant un rythme mensuel de décembre 2012 à juin 2015. Cette série concerne uniquement le secteur Nord de la Baie d'Akouango, soit un linéaire côtier d'environ 3 km.

La deuxième série englobe l'ensemble de la zone d'étude, depuis le Lycée Léon Mba jusqu'au complexe touristique Akouango Village, soit un linéaire côtier de 15 km. Cette série est moins étendue dans le temps, de juillet à septembre 2015. Toutefois, deux stations se superposent et seront donc analysées dans les deux séries. Il s'agit de la station Villa enr et R. Simba1 RD.

#### 4.2.1. Le suivi morphosédimentaire des plages de la zone Nord de la Baie d'Akouango de 2012 à 2015

La Figure 49, ci-après, présente la localisation des stations qui ont fait l'objet de suivi dans le secteur Nord de la Baie d'Akouango.

**Figure 49:** Localisation des stations du secteur Nord de la Baie d'Akouango



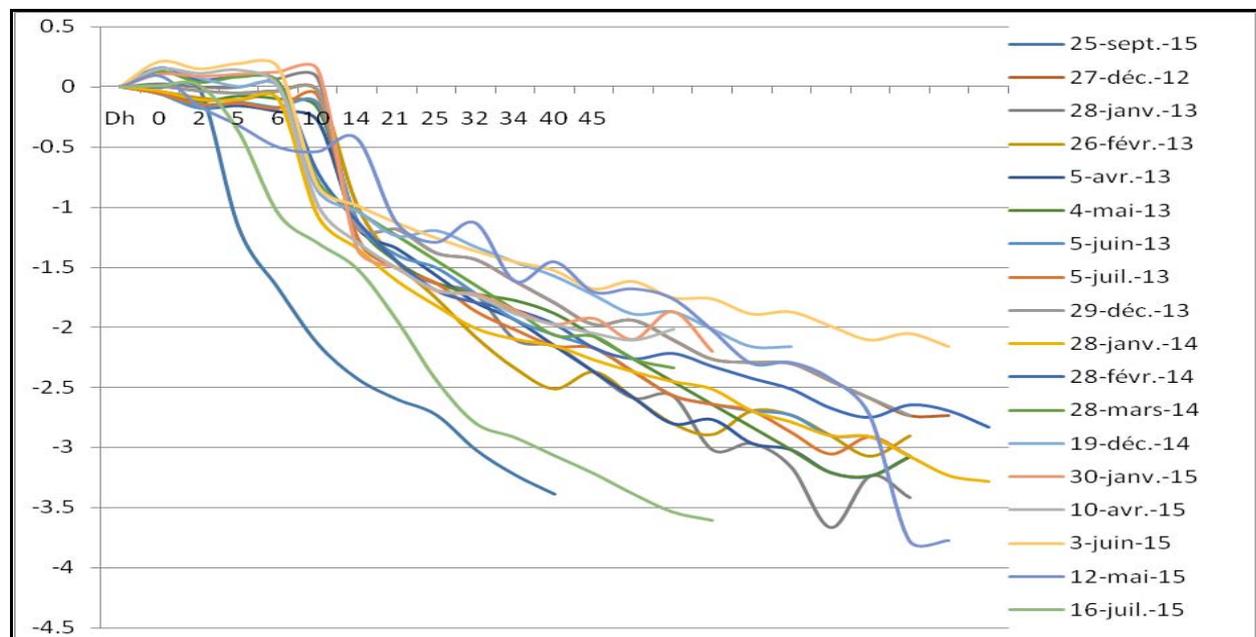
Comme l'illustre la Figure 48, ci-avant, la distribution des stations n'obéit pas à une répartition régulière. En effet, la distance entre deux stations est variable.

##### 4.2.1.1. L'évolution morphologique de la station Villa enr

Les profils transversaux de la station Villa enr montre une importante variation, avec une longueur comprise entre 26 et 42 mètres pour l'ensemble des levés. Ces profils se caractérisent par la diversité des formes contenues dans l'enveloppe des mouvements sédimentaires.

Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage (Figure 50, ci-après).

**Figure 50:** Profils transversaux de plage à la station Villa enr (décembre 2012 à juillet 2015).



Source : Mouyalou V. M. T.

Dans cette série, la totalité des profils se caractérise par la présence de formes mineures. Le cas le plus éloquent est le profil du 12 mai 2015, sur lequel on enregistre sept formes mineures ; contrairement à celui du 28 janvier 2014, où ces formes sont quasi absentes. Les profils de plage se caractérisent par la présence d'une berme sur le haut de plage suivie d'une pente assez raide. Vers le bas de plage, la pente s'adoucit considérablement. L'analyse de l'ensemble des profils permet de mettre en évidence de multiples formes. La variabilité spatio-temporelle des formes le long des profils fait référence aux formes mineures.

Dans le détail, l'analyse de la variabilité morphologique des profils permet de mettre en évidence une période, durant laquelle la variation du haut de plage avec la crête et le talus d'érosion a obéi à un modèle d'évolution quasi homogène. La période retenue va de décembre 2012 à mai 2015. En effet, au cours de cette période les différents levés, du moins pour le haut de plage, rentrent dans une enveloppe régulière des mouvements sédimentaires ; contrairement à la moyenne et au bas de plage intertidale. Ainsi, pour l'ensemble des données, l'analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet de mettre en évidence deux périodes particulières. La première va de décembre 2012 à mai 2015. La deuxième correspond aux levés de mai à septembre 2015.

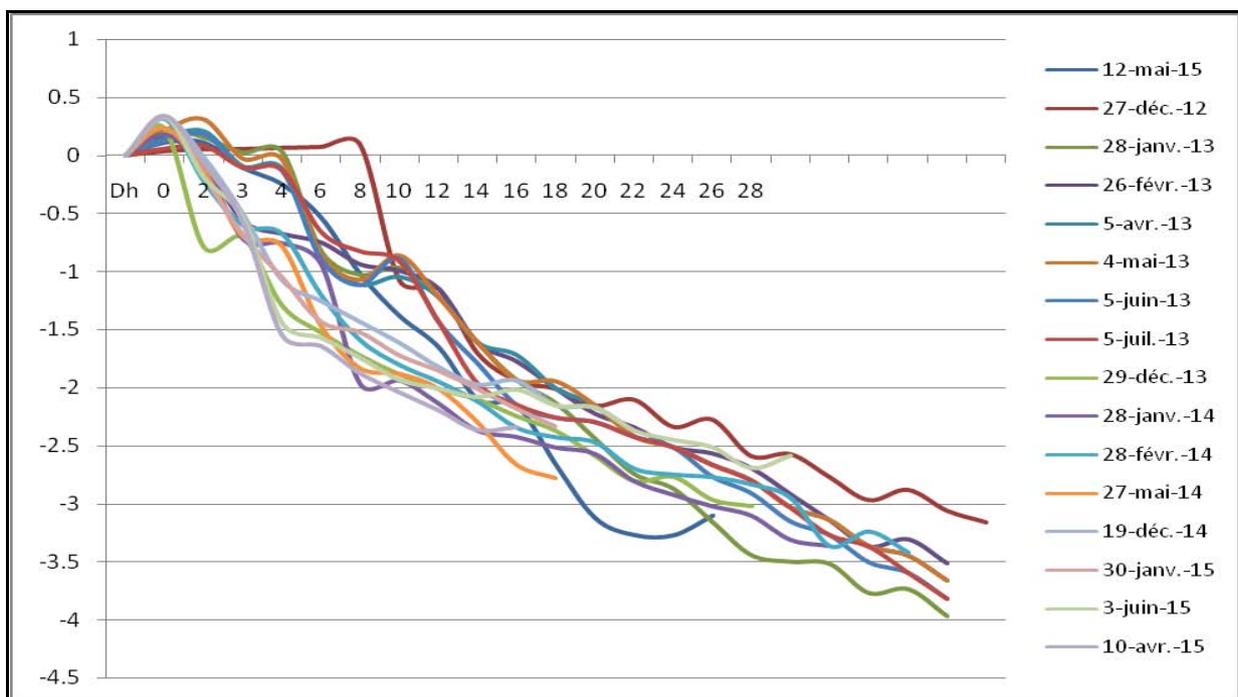
La différence de forme de profil entre ces deux séries permet de conclure que la station Villa enr a connu, de mai à septembre 2015, une phase érosive sans précédent depuis décembre 2012.

Les profils sont en général de forme concave, avec des micro-talus dont la hauteur varie autour de 1 à 1,5 m. La présence de ce talus constitue une des formes caractéristiques d'érosion.

#### 4.2.1.2. L'évolution morphologique de la station Chemin de Plage

L'analyse des profils Chemin de Plage permet de mettre en évidence une importante variation morphologique. Les profils ont des longueurs variant de 18 à 38 mètres. Cela se traduit par la diversité des formes de l'enveloppe des mouvements sédimentaires. Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage (Figure 51, ci-après).

**Figure 51:** Profils transversaux de plage à la station Chemin de Plage (décembre 2012 à juillet 2015).



Source : Mouyalou V. M. T.

L'analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet également de mettre en évidence la présence de ces formes mineures, à l'origine de l'irrégularité des profils de

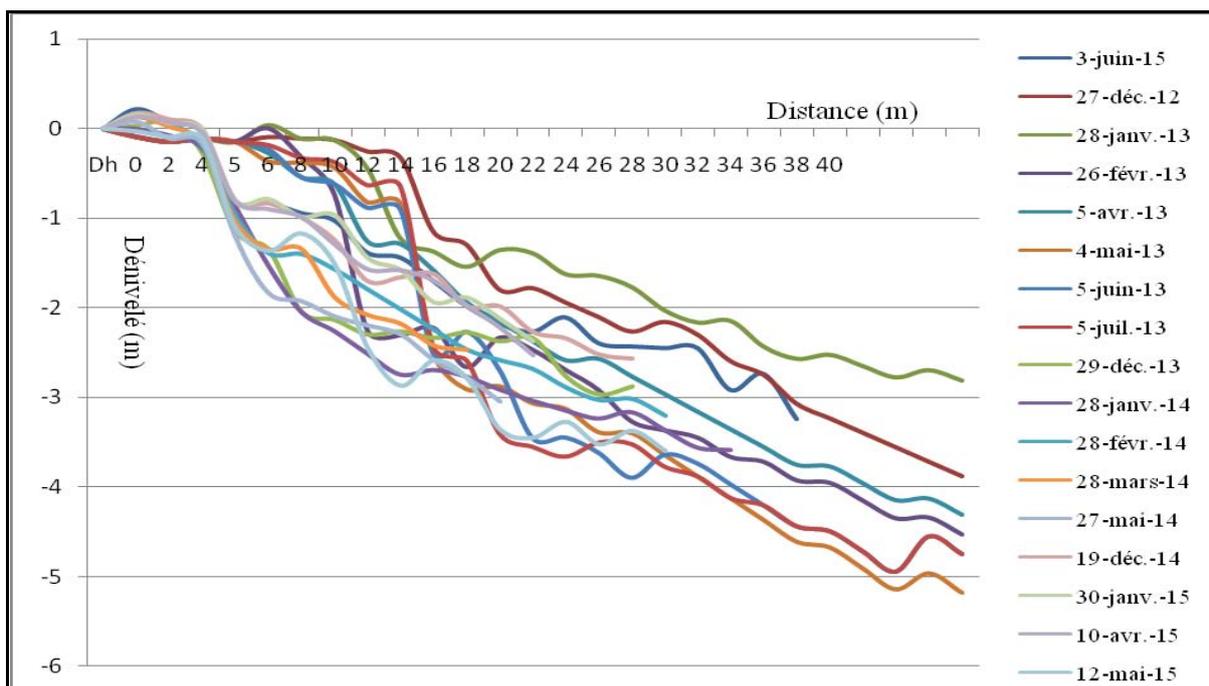
plage. En effet, la position de ces formes varie du haut vers le bas de plage en fonction des périodes.

Les profils sont en général de forme concave avec des micro-talus, dont la hauteur varie autour de 0,3 à 1 m. Cependant, ces micro-talus d'érosion ne sont pas présents sur tous les profils ; la présence de ceux-ci correspondant uniquement aux phases dites érosives.

#### 4.2.1.3. L'évolution morphologique de la station Cocoteraie Sud

L'analyse des profils de la station Cocoteraie Sud permet de mettre en évidence une importante variation morphosédimentaire. Les profils ont des longueurs variant de 22 à 48 mètres. Ils se traduisent par une diversité des formes de l'enveloppe des mouvements sédimentaires. Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage (Figure 52, ci-après).

**Figure 52:** Profils transversaux de plage à la station Cocoteraie Sud (décembre 2012 à juillet 2015).



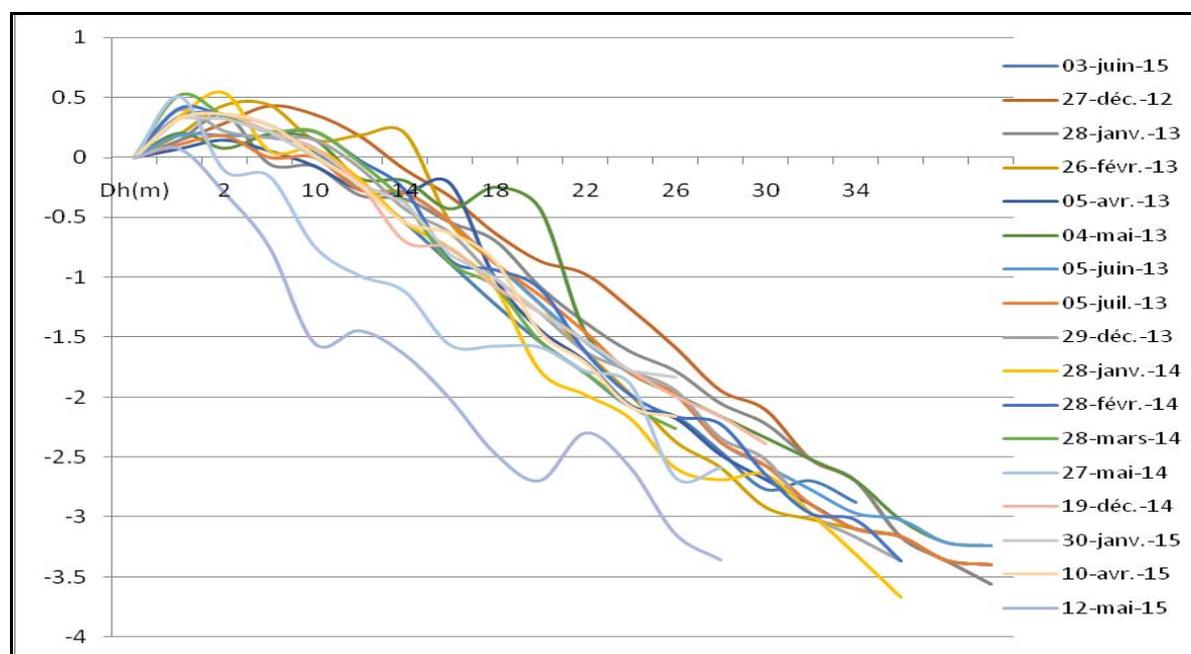
Source : Mouyalou V. M. T.

L'analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet également de mettre en évidence la présence de ces formes mineures, à l'origine de l'irrégularité des profils de plage. Ici, les profils de plage sont en gradins avec des micro-talus dont la hauteur varie autour de 1 à 1,5 m. Dans la majorité des cas, la présence de ces micro-talus constitue des formes caractéristiques d'érosion.

#### 4.2.1.4. L'évolution morphologique de la station R. Simba aval

L'analyse des profils de la station R. Simba aval permet de mettre en évidence une importante variation morphosédimentaire. Les profils réalisés ont des longueurs qui varient de 24 à 36 mètres, se traduisant par la diversité des formes de l'enveloppe des mouvements sédimentaires. Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage (Figure 53, ci-après).

**Figure 53:** Profils transversaux de plage à la station R. Simba aval (décembre 2012 à juin 2015).



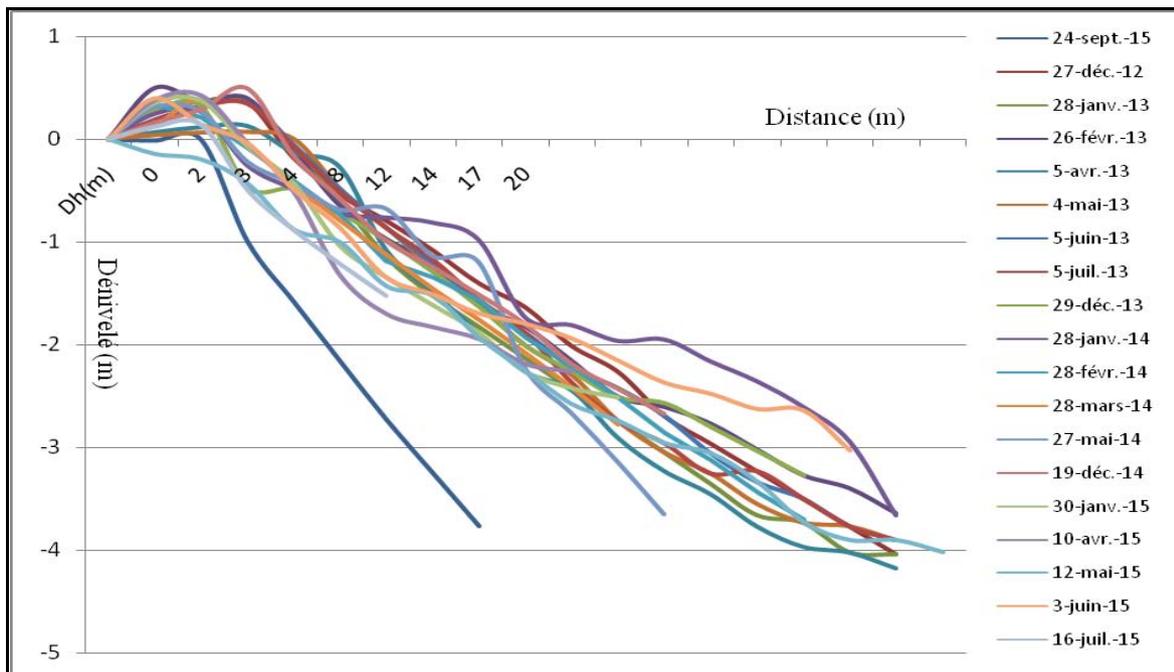
Source : Mouyalou V. M. T.

L'analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet également de mettre en évidence la présence de ces formes mineures à l'origine de l'irrégularité des profils de plage. La variabilité temporelle de ces formes, le long des profils, témoigne de la dynamique morphosédimentaire particulièrement active, et aussi de la mise en évidence des périodes les plus actives. C'est le cas des levés de mai 2014 et 2015, périodes pour lesquelles les profils de plage présentent des formes très caractéristiques d'un démaigrissement exceptionnel. Cela se justifie d'autant plus que les profils présentent des formes en gradins avec des micro-talus dont la hauteur varie autour de 0,5 à 1,5 m. La présence de ces micro-talus constitue des formes caractéristiques d'érosion.

#### 4.2.1.5. L'évolution morphologique de la station R. Simba 1 RD

L'analyse des profils de la station R. Simba1 RD permet de mettre en évidence une importante variation morphosédimentaire. Les profils réalisés ont une longueur qui varie entre 18 et 34 mètres, se traduisant par la diversité des formes de l'enveloppe des mouvements sédimentaires. Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage (Figure 54, ci-après).

**Figure 54:** Profils transversaux de plage à la station R.Simba1 RD (décembre 2012 à septembre 2015).



Source : Mouyalou V. M. T.

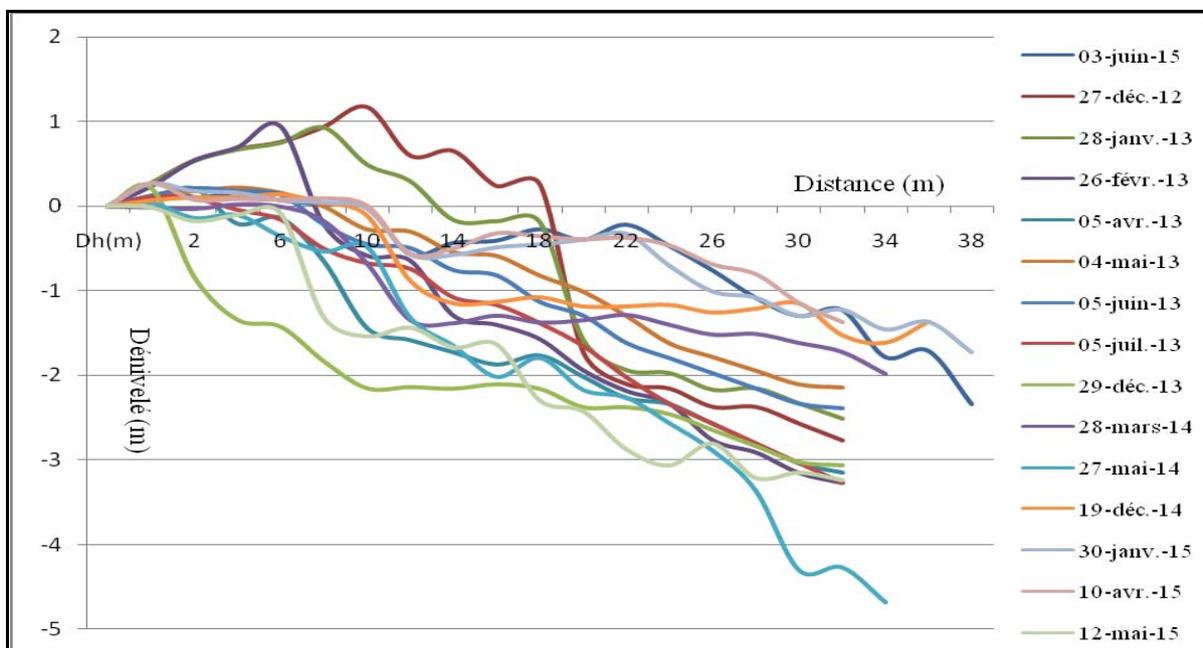
L'analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet également de mettre en évidence la présence de ces formes mineures à l'origine de l'irrégularité des profils de plage. La variabilité temporelle de ces formes le long des profils témoigne de la dynamique morphosédimentaire particulièrement active, et aussi met en évidence les périodes les plus actives.

C'est le cas de septembre 2015, date à laquelle le profil de plage présente une forme très caractéristique d'un démaigrissement par rapport aux autres levés. Cela se justifie d'autant plus que les profils présentent des formes abruptes sans de gradin et des micro-talus. La présence de ces talus constitue des formes caractéristiques d'érosion.

#### 4.2.1.6. L'évolution morphologique de la station R. Simba 1 RG

L'analyse des profils de la station R. Simba 1 RG permet de mettre en évidence la variation morphosédimentaire la plus importante de la série. Cela se justifie par la localisation de cette station au niveau de la rive gauche de l'embouchure de la rivière créée suite aux actions anthropiques, notamment les extractions de sables au niveau des paléocordons. Les profils ont des longueurs qui varient de 30 à 40 mètres, se traduisant par la diversité des formes de l'enveloppe des mouvements sédimentaires. Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut de plage liée aux activités anthropiques que dans, la moyenne et le bas de plage (Figure 55, ci-après).

**Figure 55:** Profils transversaux de plage à la station R. Simba 1 RG (décembre 2012 à juin 2015).



Source : Mouyalou V. M. T.

L'analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet également de mettre en évidence la présence de nombreuses formes à l'origine de l'irrégularité des profils de plage. Le long des profils, la variabilité temporelle de ces formes témoigne de la dynamique morphosédimentaire particulièrement active ; mais aussi, elle met en évidence les périodes les plus actives. Toutefois, les profils au haut de plage levés en décembre 2012, janvier et février 2013, portent les stigmates des actions anthropiques. Il s'agit des dépôts latéritiques utilisés dans le cadre de la protection côtière et, les déchets de terrassements des projets de construction des habitations privées en arrière plage (Photos 31 et 32, ci-après).

**Photo 31:** Amoncellement des déchets au haut de plage sur de la rive gauche de la rivière Simbal



Cliché : Koumbi Tety H., janvier 2014.

**Photo 32:** Mise en place des blocs latéritiques sur le haut de plage de la rive gauche de la rivière Simbal



Cliché : Koumbi Tety H, février 2014.

Il est important de préciser que ces dépôts ne participent en aucun cas dans les échanges morphosédimentaires au niveau de notre profil de plage. De plus, les profils de certains levés (avril et décembre 2013, mai 2015) présentent des formes très caractéristiques d'un démaigrissement de la plage. Cela se justifie d'autant plus que ces profils présentent des formes abruptes, avec la présence de gradin de plage et des micro-talus dont la taille varie de 0,5 à plus de 2 mètres. La présence de ces micro-talus constitue des formes caractéristiques d'érosion. En effet, au niveau de cette station R. Simba 1 RG, la présence d'une nouvelle embouchure de la rivière Simba rend très mobile ce secteur. Ainsi le haut de crête, correspondant typiquement au trait de côte pour cette station, n'a pas connu depuis 2012 un recul. La dynamique particulièrement active se limite aux seules modifications de la position de l'embouchure dans l'estuaire du Komo avec ses bancs migrants. Sur la base de l'évolution de l'enveloppe des mouvements sédimentaires, une analyse du recul du trait de côte a été élaborée et permet d'apprécier la variabilité de recul du trait de côte pour les stations Nord de la Baie d'Akouango, pour la période de décembre 2012 à juin 2015. Le Tableau 12, ci-après, présente les différents taux de recul pour la période considérée.

**Tableau 12:** Recul du trait de côte entre les stations Villa enr et R. Simba 1 RG (Nord de la Baie d’Akouango)- décembre 2012 à juin 2015.

Stations	récul côtier (m)
Villa enr	-6,5
Chemin de Plage	-7
Cocoteraie Sud	-12
R simba aval	-3
R. Simba1 RD	-2
R. Simba1 RG	/

Source : Mouyalou V. M. T.

Dans le détail, la dynamique de l’enveloppe des mouvements sédimentaires, pour l’ensemble des stations de la zone Nord de la Baie d’Akouango pour la période étudiée, est illustrée par l’Annexe 3 (p. 307). D’une manière générale, les stations situées dans l’extrême Nord de la Baie d’Akouango sont celles qui enregistrent les plus grands reculs du trait de côte.

Deux explications peuvent être retenues. La première explication est celle en lien avec les nombreux prélèvements de sables de plage dans ce secteur isolé, et qui échappe à tout contrôle des autorités compétentes. Il s’agit notamment des stations Cocoteraie Sud, Chemin de Plage et Villa enr qui enregistrent respectivement un recul de -12, -7 et -6.5 mètres. La deuxième explication est que le secteur correspond à la zone d’influence directe des houles résiduelles en provenance du large.

#### **4.2.2. Le suivi morphosédimentaire des plages du Lycée Léon Mba à Akouango Village de juillet à septembre 2015**

L’examen de la tendance évolutive du littoral du Lycée Léon Mba à Akouango Village s’appuie sur l’analyse morphosédimentaire de seize stations également distantes de 1 km. Ces stations ont fait l’objet d’un suivi entre juillet et septembre 2015, sur un linéaire côtier de 15 km (Figure 56, page ci-après).

**Figure 56:** Localisation des stations topographiques du Lycée Léon Mba à Akouango Village

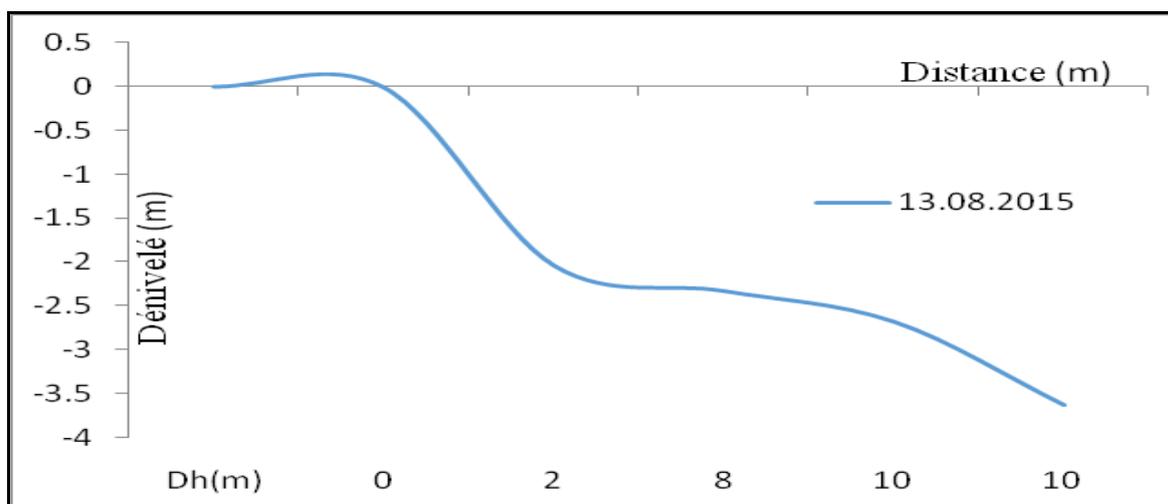


Faisant suite à la première série de données collectées sur un linéaire côtier d'environ 3 km, il nous est paru capital d'analyser la dynamique morphosédimentaire de la plage intertidale à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude. Bien qu'ayant été réalisé sur une période assez courte, ce suivi a permis tout de même d'analyser la dynamique morphosédimentaire à l'échelle de l'ensemble de la zone d'étude. L'annexe 4 (p. 308), présente l'ensemble des profils réalisés entre juillet et septembre 2015 et, ce, pour les 15 stations. L'analyse de l'ensemble des profils permet de mettre en évidence l'importante variation morphologique du profil de plage suivant, d'une part, le profil longitudinal et, d'autre part, en fonction de la variation temporelle des profils au niveau d'une station.

L'analyse des profils de l'ensemble des stations permet de mettre en évidence une importante différence dans la variation morphodynamique des plages. Cette observation s'applique aussi pour la variation de la pente des profils de plage suivant le profil longitudinal. En effet, un raisonnement logique permet de dire que les stations à profils à forte pente sont considérées comme étant les plus dynamiques, contrairement aux autres. Toutefois, il existe une série d'états intermédiaires, dont la distinction entre morphotypes escarpés et plats reste difficile à établir, compte tenu de la forte amplitude des pentes comprise entre 3,45 et 19,89 %.

La Figure 57, ci-après, présente un exemple de profil de plage dont la pente est d'environ 20%, correspondant à celui de la station de l'Ambassade de Corée.

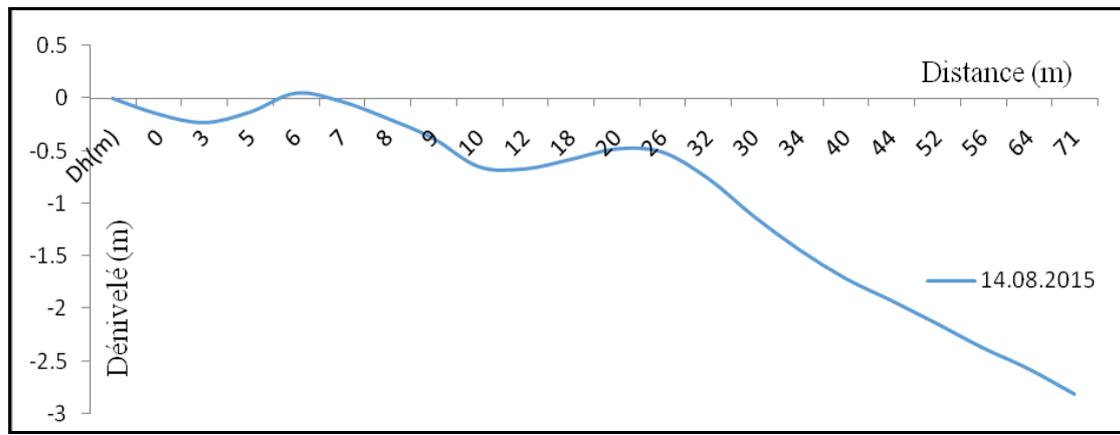
**Figure 57:** Exemple de profil de plage escarpée de la station Ambassade de Corée



Source : Mouyalou V. M. T.

À ces profils à pente forte s'associent des morphotypes plats, correspondant aux profils faiblement exposés aux houles résiduelles. Cette situation est la conséquence de la conjonction de plusieurs éléments. D'une part, il s'agit du caractère abrité face à la houle résiduelle en provenance du large. D'autre part, on a l'orientation de la côte NO-SE couplée à la présence du plateau librevillois. La Figure 58, ci-après, présente un exemple de profil de plage intertidale pour lequel la pente est faible (environ 3,5%).

**Figure 58:** Exemple de profil de plage à faible pente à la station Gué-Gué



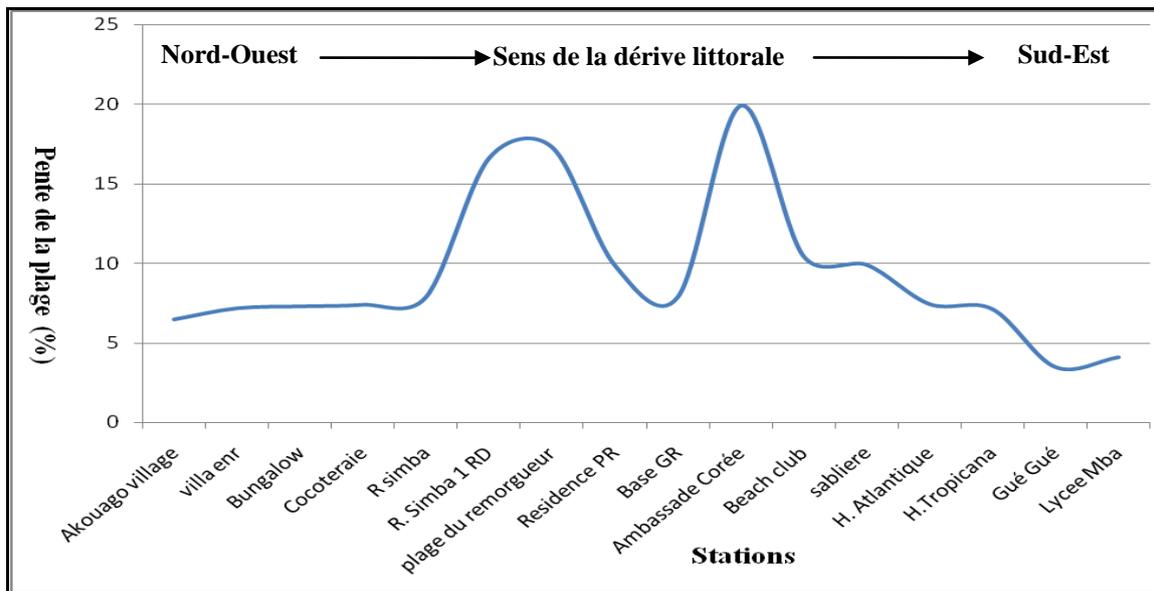
Source : Mouyalou V. M. T.

Ces résultats montrent que les plages ne répondent pas toutes aux mêmes conditions d'exposition face à la houle résiduelle en provenance du large. Ainsi, une zonation de la zone d'étude peut être faite sur la base des morphotypes des profils de plage. En effet suivant le profil longitudinal, l'analyse de la variation de la pente du profil de plage permet de mettre en évidence cinq principaux secteurs ci-après :

- Secteur 1 : Akouango Village-R simba ;
- Secteur 2 : R.Simba1 RD Plage du Remorqueur ;
- Secteur 3 : Résidence PR- Base GR ;
- Secteur 4 : Ambassade de Corée -Beach Club ;
- Secteur 5 : Sablière- Lycée Mba.

La Figure 59, ci-après, illustre cette variation de la pente des profils de plages du segment côtier étudié.

**Figure 59:** Variation longitudinale de la pente du profil de plage d’Akouango Village au Lycée Mba



Source : Mouyalou V. M. T.

L’existence de plusieurs segments côtiers, qui se caractérisent par des plages à pente faible, nécessite un éclairage. En effet, les segments côtiers à faible pente peuvent se justifier entre autres par le phénomène d’abri que constitue le Cap Santa Clara pour ce secteur côtier, ainsi que par la dérive littorale inverse orientée vers le Nord dont la limite amont transite pourrait se situer aux environs de la Cocoteraie.

En dépit du caractère anthropique de ce segment côtier, la faiblesse de la pente pour les profils de la station Résidence PR et Base GR peut s’expliquer par la largeur du plateau librevillois. Enfin, du profil Sablière au Lycée Léon Mba, la diminution progressive de la pente des plages peut se justifier par l’effet de la dérive littorale dans un secteur certes anthropisé, mais où le plateau librevillois garantit également une protection face à l’assaut des houles résiduelles à la côte.

À l’échelle de l’ensemble de la zone d’étude, les morphotypes escarpés, voire concaves, peuvent être définis comme étant ceux caractérisés par un environnement fortement énergétique avec un degré de protection peu élevé. Leur exposition aux houles résiduelles en provenance du large peut se justifier à plus d’un titre.

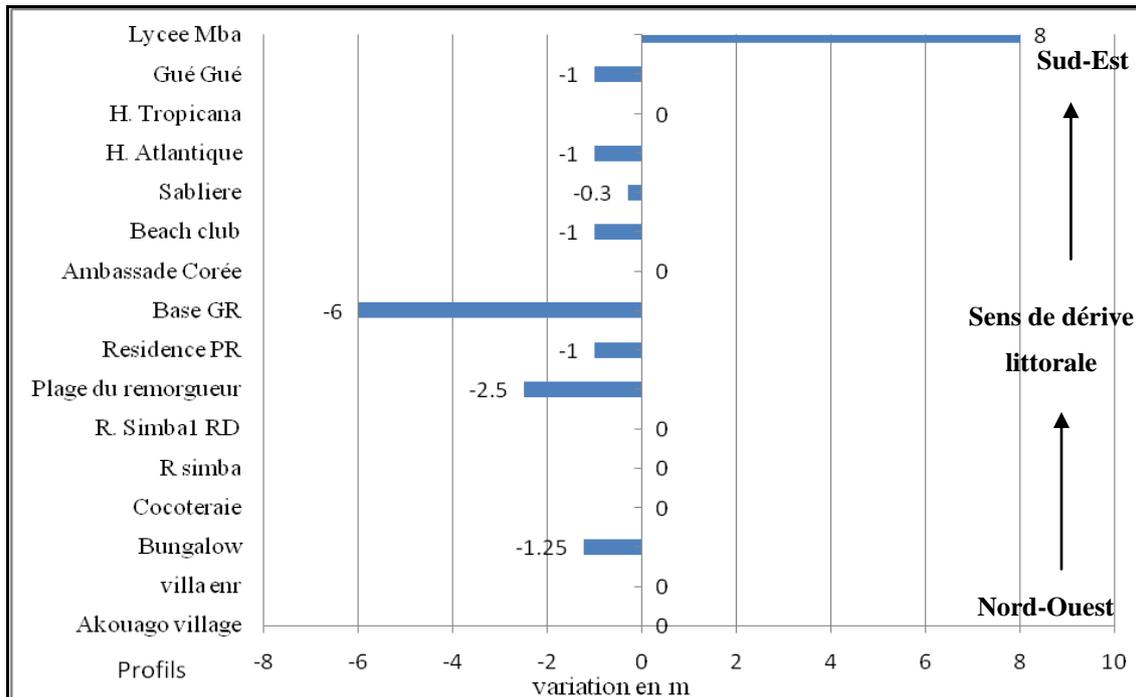
D’une part, il y a l’orientation NO-SE de la côte, qui engendre des zones à faible et très faible exposition aux houles résiduelles. Cet argument peut également être renforcé par la variation de la largeur du plateau librevillois, qui joue également un rôle dans ce sens.

D'autre part, il y a les activités anthropiques qui ont considérablement artificialisée la côte avec, pour conséquence, des profils aux pentes escarpés. Les stations concernées par cette catégorie sont R. Simbal RD, Plage du Remorqueur et Ambassade de Corée. Le point commun entre ces trois stations est le caractère artificiel de la côte, qui peut être pris comme cause des fortes pentes des profils de plages du fait de la perturbation des échanges sédimentaires du haut vers le bas de plage et inversement ; mais, aussi, suivant le sens de la dérive sédimentaire.

L'analyse de l'ensemble des profils des quinze stations permet de mettre en évidence une importante variation, traduisant la diversité des formes de l'enveloppe des mouvements sédimentaires. Cette variabilité s'enregistre aussi bien sur le haut, la moyenne et le bas de plage. Cette analyse de l'enveloppe des mouvements sédimentaires permet également de mettre en évidence une variabilité spatio-temporelle, et la présence des formes mineures à l'origine de l'irrégularité des profils de plage. À titre d'exemple, les gradins et les croissants de plages ne s'observent pas sur l'ensemble de la zone d'étude. La présence de ces formes mineures met en évidence l'impact de la houle résiduelle sur la dynamique morphosédimentaire, suivant le profil longitudinal.

La variabilité spatio-temporelle des formes mineures, le long des profils de plage, témoigne de la dynamique morphosédimentaire particulièrement active. Ces profils permettent d'identifier les zones les plus dynamiques. Les stations les plus dynamiques présentent des formes en gradin, avec des micro-talus dont la hauteur est variable. Ces micro-talus constituent des formes caractéristiques d'érosion. Par rapport au bilan de l'évolution des profils de plage entre juillet et septembre 2015, une tendance au recul du trait de côte a été observée sur certaines stations. En effet, en dépit de la brièveté de la période de suivi, on enregistre tout de même pour certaines stations des variations significatives de la ligne de rivage (Figure 60, ci-après).

**Figure 60:** Variation du trait de côte de juillet à septembre 2015 du Lycée Mba à d'Akouango Village



Source : Mouyalou V. M. T.

Cette variation de la ligne de rivage oscille entre 6 mètres de recul et 8 mètres de progradation. Les profils, qui se distinguent par des variations de la ligne de rivage inférieure à un mètre, sont considérés comme stables. L'ensemble des stations se distingue par des reculs du trait de côte, à l'exception du profil Lycée Mba. Dans la majorité des cas, l'évolution en termes de variations du rivage varie selon le profil longitudinal. Le segment côtier allant de la Plage du Remorqueur à la Base GR enregistre le plus grand taux de recul. Pour les stations Plage du Remorqueur et Résidence PR, cela peut se justifier par l'intense activité de prélèvement du sable de plage pour le projet de construction de la nouvelle résidence privée d'un haut dignitaire de la République. Celui-ci nécessite d'énormes quantités de sable pour le remblai et autres besoins inhérents à ce grand chantier. Enfin, pour la station Base GR, il s'agit une fois de plus de l'effet de l'action anthropique ayant favorisé la création d'une nouvelle rivière, afin d'évacuer le trop plein d'eau souvent à l'origine des inondations dans la zone de la dite station. La modification des conditions hydrodynamiques engendrées par cette nouvelle rivière est à l'origine du recul du trait de côte enregistré à cette station. En ce qui concerne la progradation, un seul cas a été observé au niveau de la station Lycée Mba.

Cet état de chose se justifie à plus d'un titre. D'une part, cela est lié au fait que cette plage est régulièrement l'objet de rechargements par les opérateurs économiques qui exploitent ce site et ce dans l'optique d'offrir aux clients des espaces de jeux adéquats. D'autre part, cela est aussi du à la présence de l'épi de l'hôtel Dialogue, qui avait été mis en place pour favoriser l'engraissement. En effet, cet épi continue de jouer son rôle malgré le fait qu'aujourd'hui cette plage dispose moins de disponible sédimentaire.

### **4.3. Les bilans sédimentaires**

L'analyse de l'évolution morphologique des profils de plage a permis d'évaluer les bilans sédimentaires calculés en mètre cube par mètre linéaire. Les bilans sédimentaires présentés dans le présent travail concernent les deux séries de données de notre étude. La première concerne les plages de la zone Nord de la Baie d'Akouango, pour la période décembre 2012 à juin 2015. La deuxième prend en compte l'ensemble de la zone d'étude depuis le Lycée Mba jusqu'au complexe touristique Akouango Village, au Nord de la Baie d'Akouango, pour la période allant de juillet à septembre 2015.

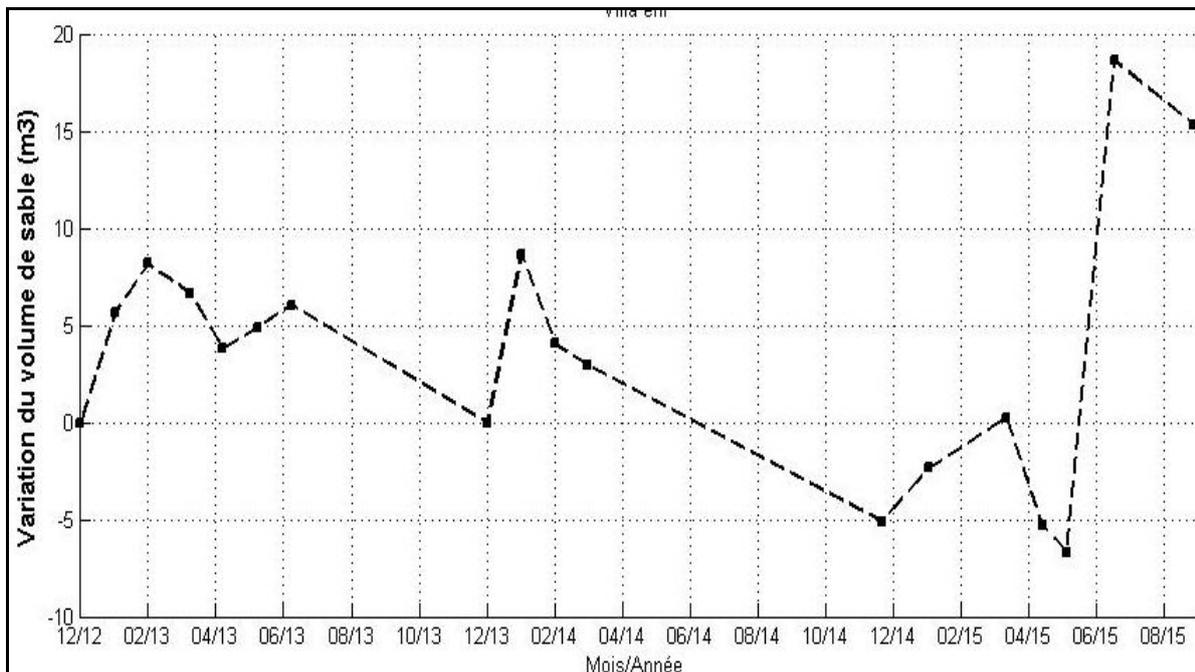
#### **4.3.1. Bilan sédimentaire de 2012 à 2015 : Nord de la Baie d'Akouango**

Entre décembre 2012 et juin 2015, six stations ont fait l'objet de suivi régulier dans la zone Nord de la Baie d'Akouango. Ces profils ont permis de calculer les bilans sédimentaires que nous présentons dans la présente partie de notre travail.

##### **4.3.1.1. La station Villa enr**

La Figure 61, ci-après, illustre les changements de volume calculés pour la station Villa enr pour la période de décembre 2012 à septembre 2015, en se basant sur une date de référence (décembre 2012).

**Figure 61:** Variation des bilans sédimentaires de la station Villa enr de décembre 2012 à septembre 2015



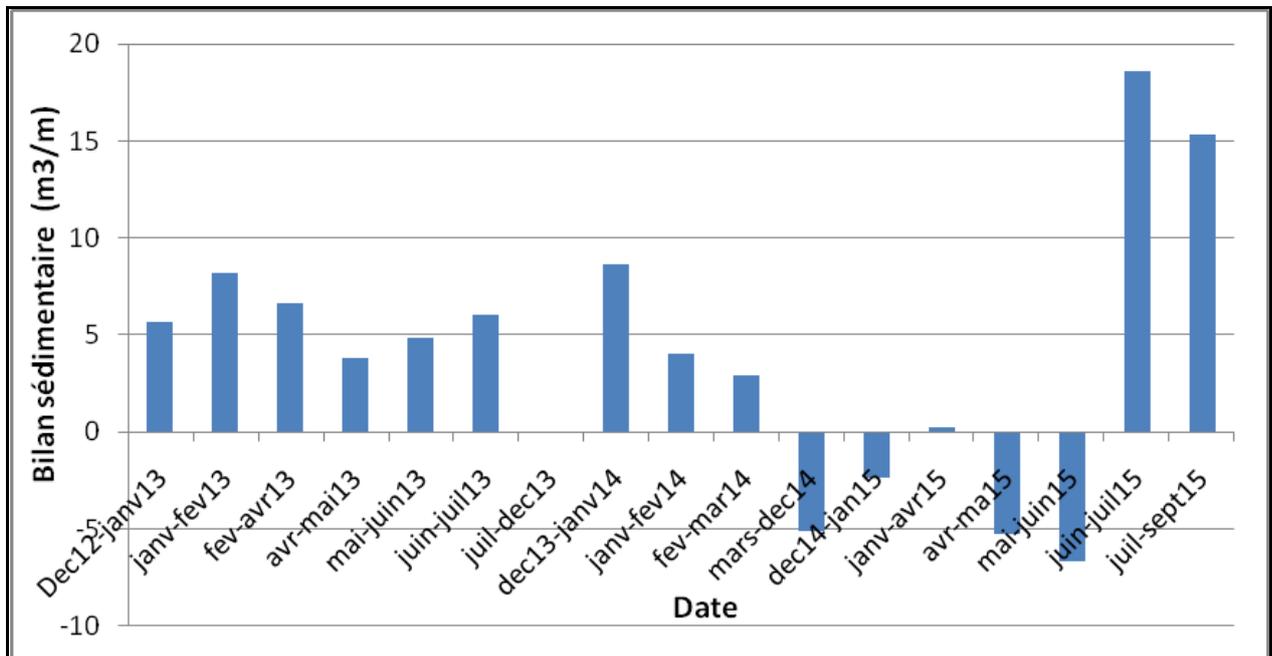
Source : réalisation Abessolo G., Université de Douala, d'après données de Mouyalou V. M. T.

Les variations des bilans obtenus confirment la dynamique des plages qui alternent entre phases d'érosion et d'engraissement. Sur près de trois ans de suivi, le bilan sédimentaire de la station Villa enr reste positif (15,3 m<sup>3</sup>/m), en dépit de la tendance générale qui est au démaigrissement des plages.

L'évolution du bilan sédimentaire a connu trois phases bien distinctes. La première phase concerne la période allant de décembre 2012 à décembre 2013. Au cours de cette période, le profil a enregistré deux phases d'engraissement suivi d'un démaigrissement, qui a permis au profil de plage de revenir à son état morphologique de décembre 2012. La seconde phase, qui va de janvier à décembre 2014, a connu principalement un démaigrissement. Enfin la troisième période, qui va de janvier à septembre 2015, se caractérise par une succession de phases d'engraissement et de démaigrissement.

En définitive, il est important de préciser que les phases d'engraissement et/ou de démaigrissement n'ont pas les mêmes intensités en fonction des années. En effet, le démaigrissement le plus prononcé correspond à mai 2015, suivi de l'engraissement le plus important de la série en juillet 2015. La Figure 62, ci-après, qui présente l'évolution du bilan sédimentaire calculé entre deux levés successifs, permet de mieux apprécier la dynamique sédimentaire.

**Figure 62:** Variation des bilans sédimentaires de la station Villa enr entre deux levés successifs de décembre 2012 à septembre 2015



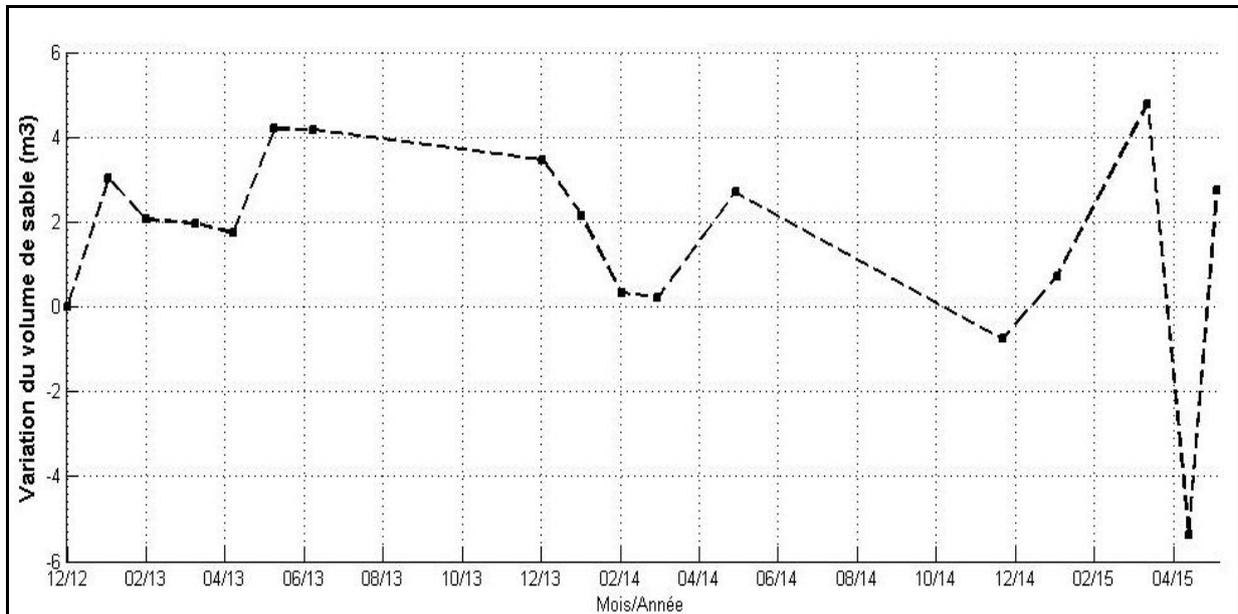
Source : Mouyalou V. M. T.

En effet, la période de décembre 2014 à juillet 2015 est marquée par un bilan sédimentaire négatif, qui contraste pleinement avec la variation du bilan sédimentaire avec les autres périodes du suivi. Cela suppose l'existence d'un évènement exceptionnel, qui peut être d'origine météorologique ou anthropique.

#### 4.3.1.2. La station Chemin de Plage

La Figure 63, de la page ci-après, illustre les changements de volume calculés pour le profil Chemin de Plage, pour la période de décembre 2012 à juin 2015, en se basant sur une date de référence (décembre 2012).

**Figure 63:** Variation des bilans sédimentaires de la station Chemin de Plage de décembre 2012 à juin 2015



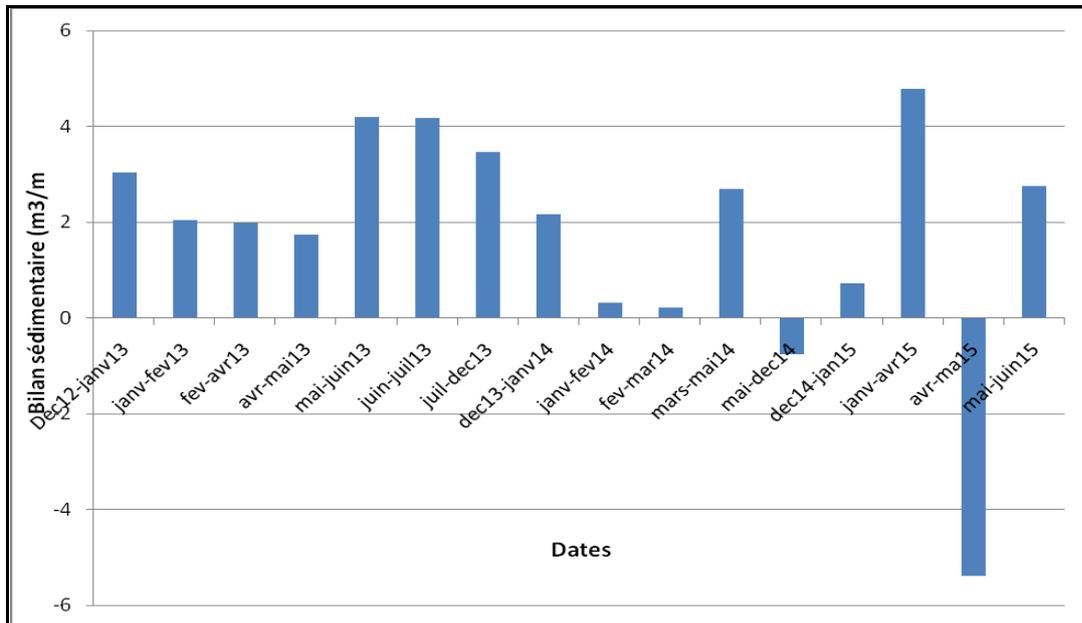
Source : réalisation Abessolo G., Université de Douala, d'après données de Mouyalou V. M. T.

Les variations des bilans obtenus confirment la dynamique des plages, qui alternent entre phases d'érosion et phases d'engraissement.

Sur plus de deux ans de suivi, le bilan sédimentaire de la station Chemin de Plage reste faiblement positif ( $2,74 \text{ m}^3/\text{m}$ ), en dépit de la tendance générale de la plage qui est au démaigrissement.

Les périodes d'engraissement correspondent respectivement aux mois de janvier, mars et mai, et ce pour l'ensemble de la période de suivi. À l'inverse, les mois où l'on enregistre un démaigrissement sont mars, avril, mai et décembre. Force est de constater que les mois de mars et de mai se caractérisent aussi bien par l'engraissement que par le démaigrissement. De ce fait la mise en évidence de l'évolution du bilan sédimentaire, en lien avec un cycle saisonnier et avec les phénomènes météorologiques, semble peu évidente. Pour une meilleure visualisation, il nous est paru nécessaire de calculer les bilans en prenant en compte deux levés successifs (Figure 64, page ci-après).

**Figure 64:** Variation des bilans sédimentaires de la station Chemin de Plage entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015

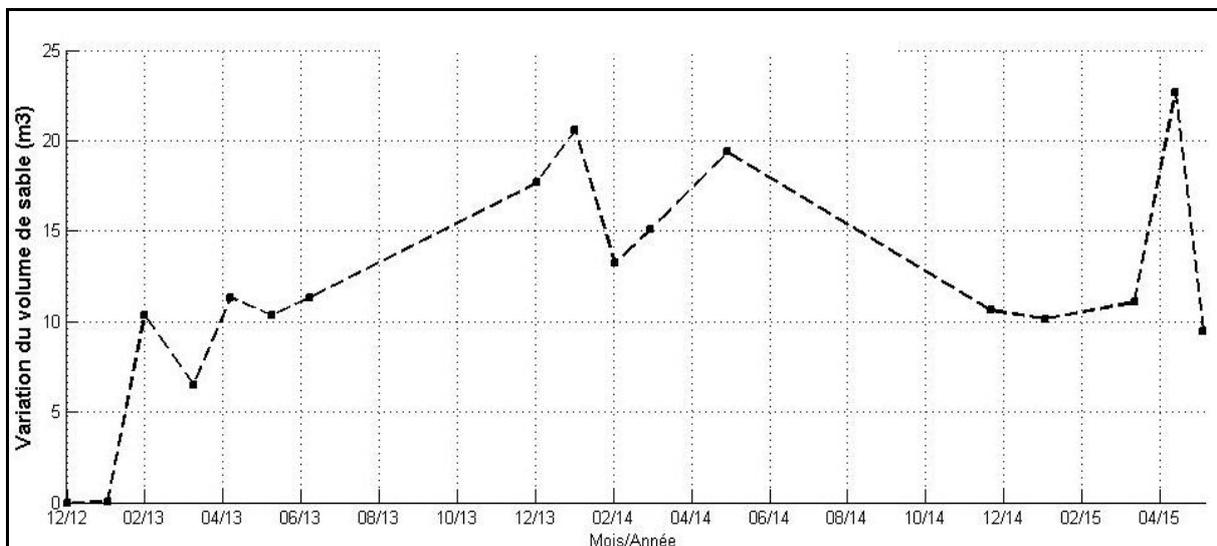


Source : Mouyalou V. M. T.

#### 4.3.1.3. La station Cocoteraie Sud

Les variations de volume calculées pour le profil de la station Cocoteraie Sud pour la période décembre 2012 à juin 2015 en se basant sur une date de référence (décembre 2012) est illustré par la Figure 65, ci-après.

**Figure 65:** Variation des bilans sédimentaires de la station Cocoteraie Sud de décembre 2012 à juin 2015



Source : réalisation Abessolo G., Université de Douala, d'après données de Mouyalou V. M. T.

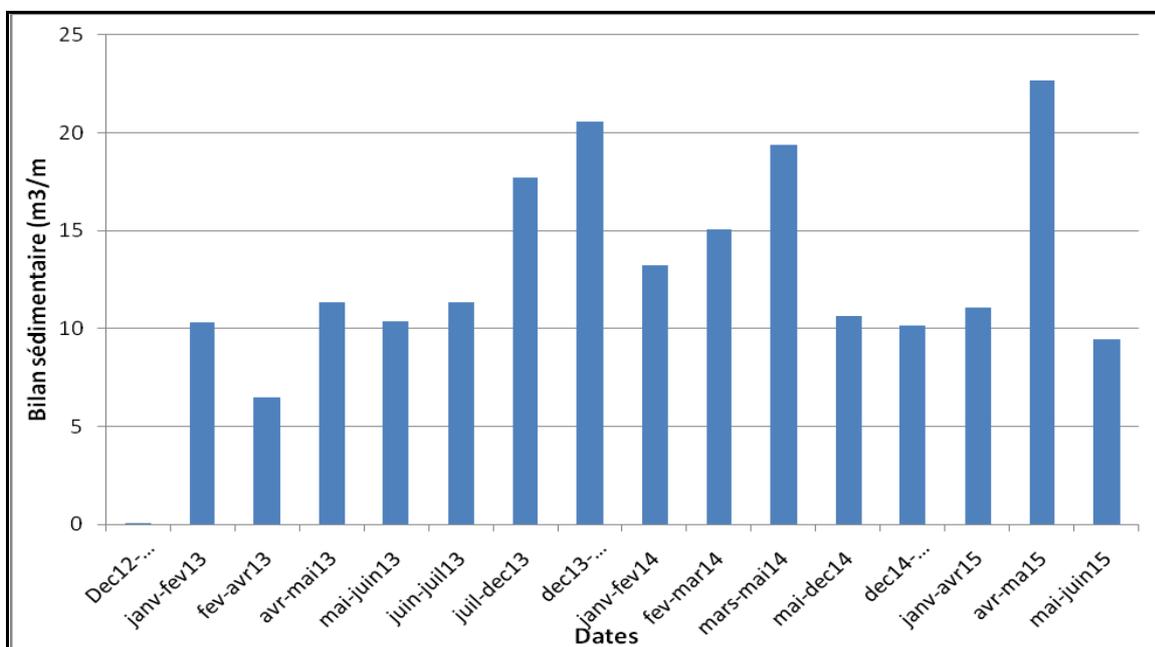
Les variations des bilans obtenus confirment la dynamique des plages qui alternent entre phases d'érosion et phases d'engraissement. Sur plus de deux ans de suivi, le bilan sédimentaire de la station Cocoteraie Sud reste positif (9,43 m<sup>3</sup>/m), traduisant une tendance générale à l'engraissement des plages. Les phases d'engraissement correspondent aux mois de février, avril, janvier et mai. À l'inverse, les démaigrissements correspondent aux périodes de mars, février, janvier et juin.

Force est de constater que certains mois de l'année correspondent aussi bien aux périodes d'engraissement et de démaigrissement.

De ce fait, il est difficile d'établir une corrélation entre la variation du bilan sédimentaire avec celle de cycles saisonniers en lien avec les évènements météorologiques (saison pluvieuse ou sèche).

La Figure 66, ci-après, permet de mieux apprécier la variation du bilan sédimentaire calculée entre deux levés successifs. Dans le détail, trois périodes se distinguent par de fortes variations de bilans sédimentaires : de décembre 2013 à janvier 2014, de mars à mai 2014 et enfin d'avril et mai 2015.

**Figure 66:** Variation des bilans sédimentaires de la station Cocoteraie Sud entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015



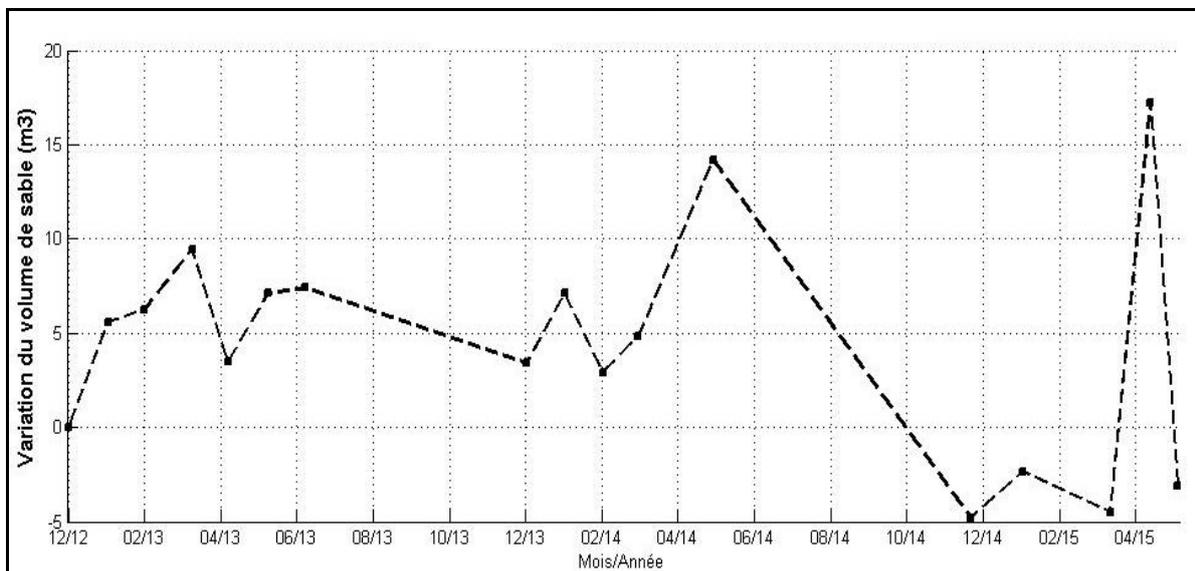
Source : Mouyalou V. M. T.

Le reste du temps, les bilans semblent être homogènes. Une précision est importante pour cette série : aucun bilan négatif n'a été enregistré.

#### 4.3.1.4. La station R. Simba aval

La Figure 67, ci-après, illustre les changements de volume calculés pour le profil R. simba aval, pour la période de décembre 2012 à juin 2015 en se basant sur une date de référence (décembre 2012). Les variations des bilans obtenus confirment la dynamique des plages, qui alternent entre phases d'érosion et phases d'engraissement. Sur plus de deux ans de suivi, le bilan sédimentaire de la station R. Simba aval reste négatif (-3,08 m<sup>3</sup>/m), traduisant ainsi une tendance générale au démaigrissement des plages.

**Figure 67:** Variation des bilans sédimentaires de la station R simba aval de décembre 2012 à juin 2015



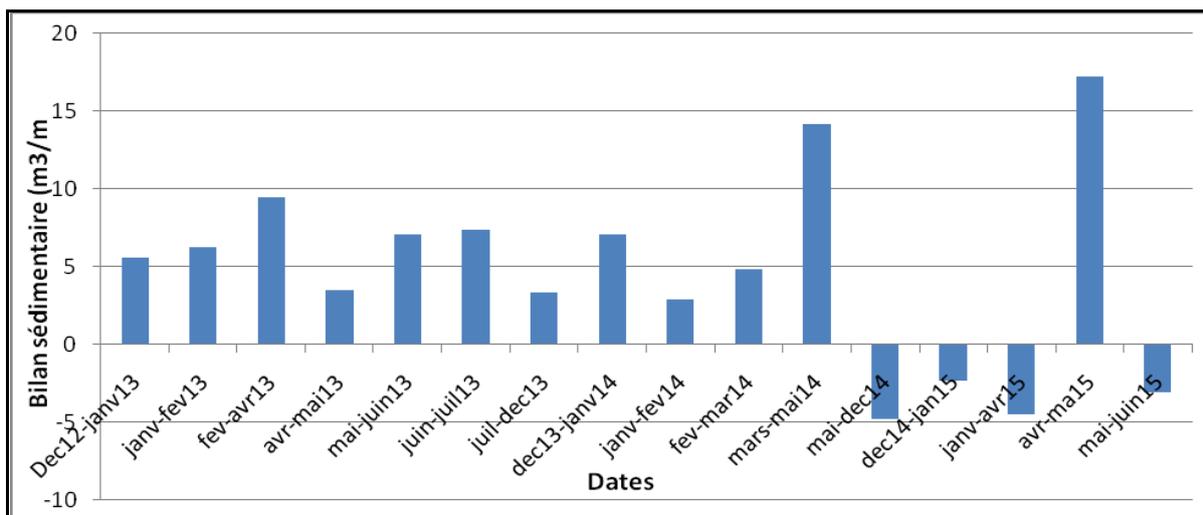
Source : réalisation Abessolo G., Université de Douala, d'après données de Mouyalou V. M. T.

D'une manière générale les mois, qui correspondent à l'engraissement, sont janvier mars et mai pour l'ensemble de la période de suivi. À l'inverse, ceux correspondant au démaigrissement sont février, mars, avril et décembre pour toute la période de suivi. Force est de constater que le mois de mars correspond aussi bien à une phase d'engraissement qu'à celle d'un démaigrissement.

De ce fait, une fois de plus, il est difficile d'établir une corrélation entre la variation du bilan sédimentaire en fonction d'un cycle saisonnier.

Ainsi, il nous est paru capital d'analyser les bilans sédimentaires calculés entre deux levés successifs. En effet, la Figure 68, ci-après, présente la variation du bilan sédimentaire calculée entre deux levés successifs.

**Figure 68:** Variation des bilans sédimentaires de la station R simba aval entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015



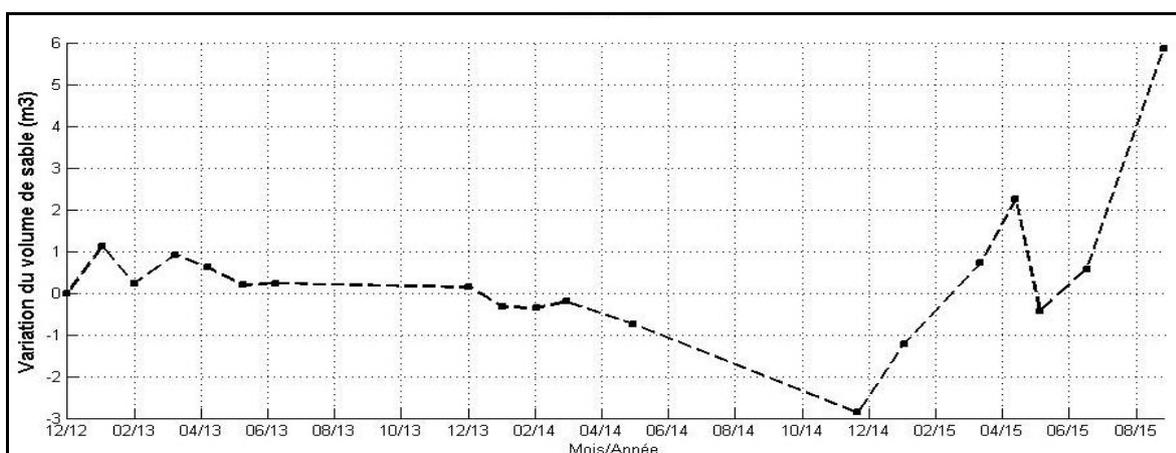
Source : Mouyalou V. M. T.

D'une manière générale, cette figure permet, d'une part, de mieux apprécier les différentes phases d'engraissement et/ou de démaigrissement, et d'autre part, également de mettre en évidence deux périodes distinctes. La première va de décembre 2012 à mai 2015, et se distingue par la présence de bilan sédimentaire positif. La deuxième période, de mai à juin 2015, se distingue par l'alternance de bilans sédimentaires positifs et négatifs.

#### 4.3.1.5. La station R. Simba1 RD

La Figure 69, ci-après, illustre la variation de volumes calculés pour la station R. Simba1 RD, pour la période de décembre 2012 à septembre 2015, en se basant sur une date de référence (décembre 2012).

**Figure 69:** Variation des bilans sédimentaires de la station profil R. Simba1 RD de décembre 2012 à septembre 2015



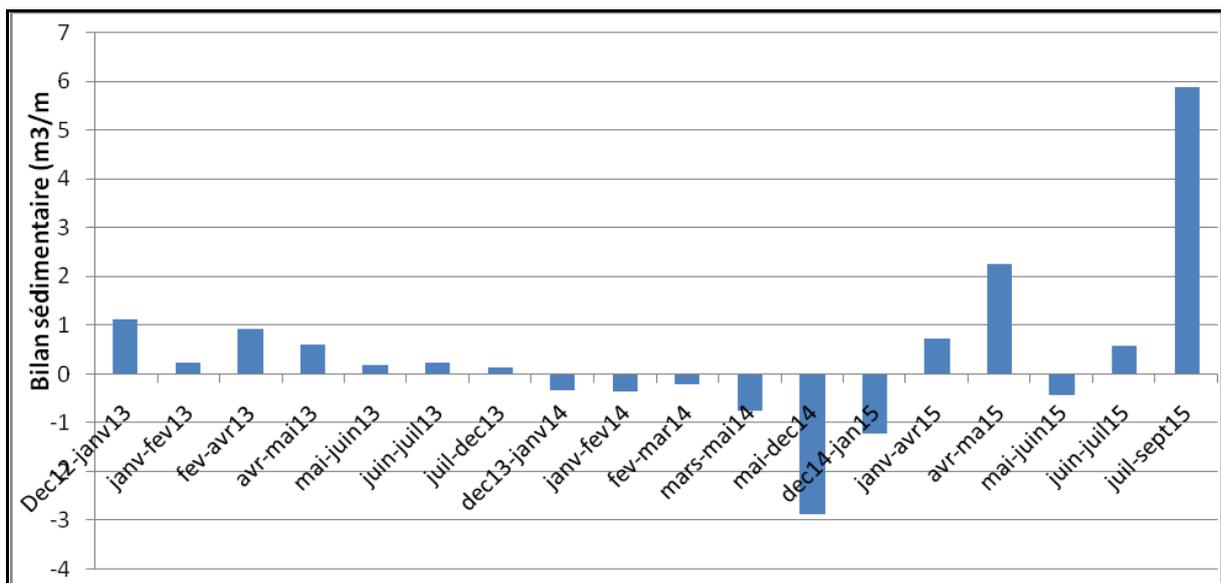
Source : réalisation Abessolo G., Université de Douala, d'après données de Mouyalou V. M. T.

Les variations des bilans obtenus confirment la dynamique des plages. Elles alternent entre phases d'érosion et phases d'engraissement avec un bilan positif ( $5,86 \text{ m}^3/\text{m}$ ), traduisant ainsi une tendance globale à l'engraissement des plages.

D'une manière générale, les mois correspondant à l'engraissement sont janvier, mars, mai et septembre. À l'inverse, ceux correspondant au démaigrissement sont février, mai et décembre.

Une fois de plus le mois de mai correspond aussi bien aux phases d'engraissement que de démaigrissement, rendant ainsi difficile la mise en corrélation entre l'évolution des bilans sédimentaires et un cycle saisonnier en lien avec les phénomènes météorologiques (saison de pluie et saison sèche). La variation des bilans sédimentaires calculée entre deux levés successifs permet de mettre en évidence trois périodes distinctes de l'évolution des bilans sédimentaires (Figure 70, ci-après).

**Figure 70:** Variation des bilans sédimentaires de la station R. Simba1 RD entre deux levés successifs de décembre 2012 à septembre 2015



Source : Mouyalou V. M. T.

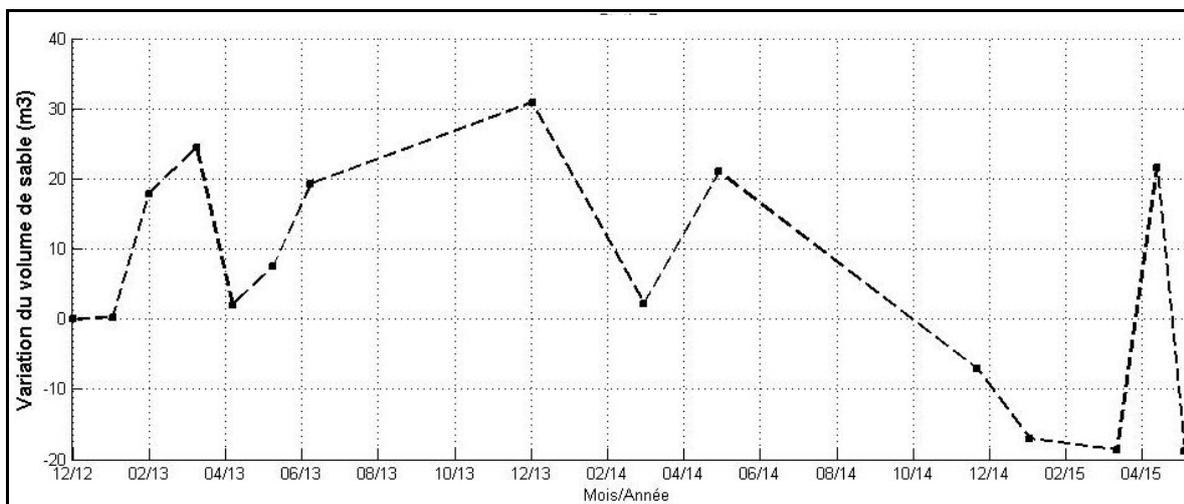
La première, qui va de décembre 2012 à décembre 2013, se caractérise par des bilans sédimentaires positifs. À l'inverse la seconde période, qui va de janvier 2014 à janvier 2015, se distingue par des bilans négatifs. Enfin le troisième période, qui va d'avril 2015 à septembre 2015, se distingue par la prédominance des bilans sédimentaires positifs.

D'une manière générale, les bilans sédimentaires sont faibles (autour de  $1 \text{ m}^3/\text{m}$ ) à l'exception des trois périodes qui sont mi-décembre 2014, avril-mai 2015 et juillet-septembre 2015.

#### 4.3.1.6. La station R. Simba1 RG

La Figure 71, ci-après, illustre la variation de volume du bilan sédimentaire pour la période de décembre 2012 à juin 2015, en se basant sur une date de référence (décembre 2012). Les bilans obtenus confirment la dynamique des plages qui alternent entre phases d'érosion et phases d'engraissement, avec un bilan sédimentaire totalement négatif (-18,84 m<sup>3</sup>/m), traduisant ainsi une tendance générale au démaigrissement.

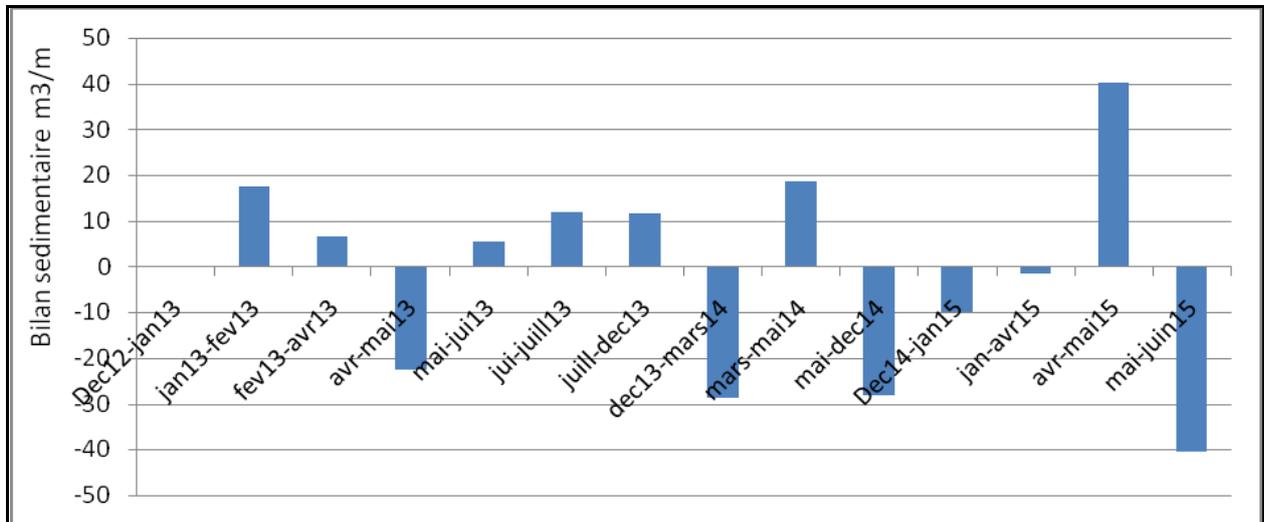
**Figure 71:** Variation des bilans sédimentaires de la station R. Simba1 RG de décembre 2012 à septembre 2015



Source : réalisation Abessolo G., Université de Douala, d'après données de Mouyalou V. M. T.

Pour cette série de données, les mois correspondant à l'engraissement de la plage sont respectivement mars, mai et décembre. À l'inverse, ceux correspondant au démaigrissement sont mars, avril et juin. Une fois de plus le mois de mars correspond aussi bien aux phases d'engraissement que de démaigrissement. De ce fait, il est difficile d'établir de façon nette et précise une quelconque corrélation entre la variation des bilans sédimentaires et les cycles saisonniers en lien avec les phénomènes météorologiques (saison de pluie et saison sèche). La Figure 72, ci-après, présente la variation du bilan sédimentaire calculée entre deux levés successifs pour la station R. Simba1 RG.

**Figure 72:** Variation des bilans sédimentaires de la station R. Simba1 RG entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015



Source : Mouyalou V. M. T.

Contrairement aux autres profils, le bilan sédimentaire de celui-ci se distingue par l'alternance quasi régulière de bilans positifs et négatifs. À titre de comparaison, cela contraste pleinement avec les autres séries de données. L'autre fait marquant est l'amplitude des variations des bilans sédimentaires. Par exemple, entre les périodes d'avril-mai 2015 et mai-juin 2015, l'amplitude du bilan sédimentaire est de 80 m<sup>3</sup>/m, ce qui est assez exceptionnelle comparativement à l'ensemble de la zone d'étude.

#### 4.3.2. Existe-t-il une variation saisonnière des bilans sédimentaires ?

Les variations saisonnières des plages résultent des phénomènes météorologiques et physiques. Selon le principe général, la dynamique morphosédimentaire des plages dépend des variations saisonnières des conditions d'agitation. En effet, les faibles conditions d'agitation au cours de la saison estivale induisent un transport sédimentaire dirigé vers la côte et engendre un engraissement des plages. À l'opposée il est commun d'observer que pendant les périodes les plus énergétiques, notamment la saison de pluie, les plages connaissent une phase de démaigrissement (Gujar et *al.*, 2001).

Les forçages regroupent principalement le régime des vents et des houles au large. Ceux-ci représentent un régime permanent, avec une certaine périodicité saisonnière à l'échelle de l'année. De plus, certains phénomènes exceptionnels de types tempêtes ou orages

peuvent également intervenir. Ils font partie des forçages extérieurs conditionnant l'hydrodynamisme, et donc, l'évolution des plages.

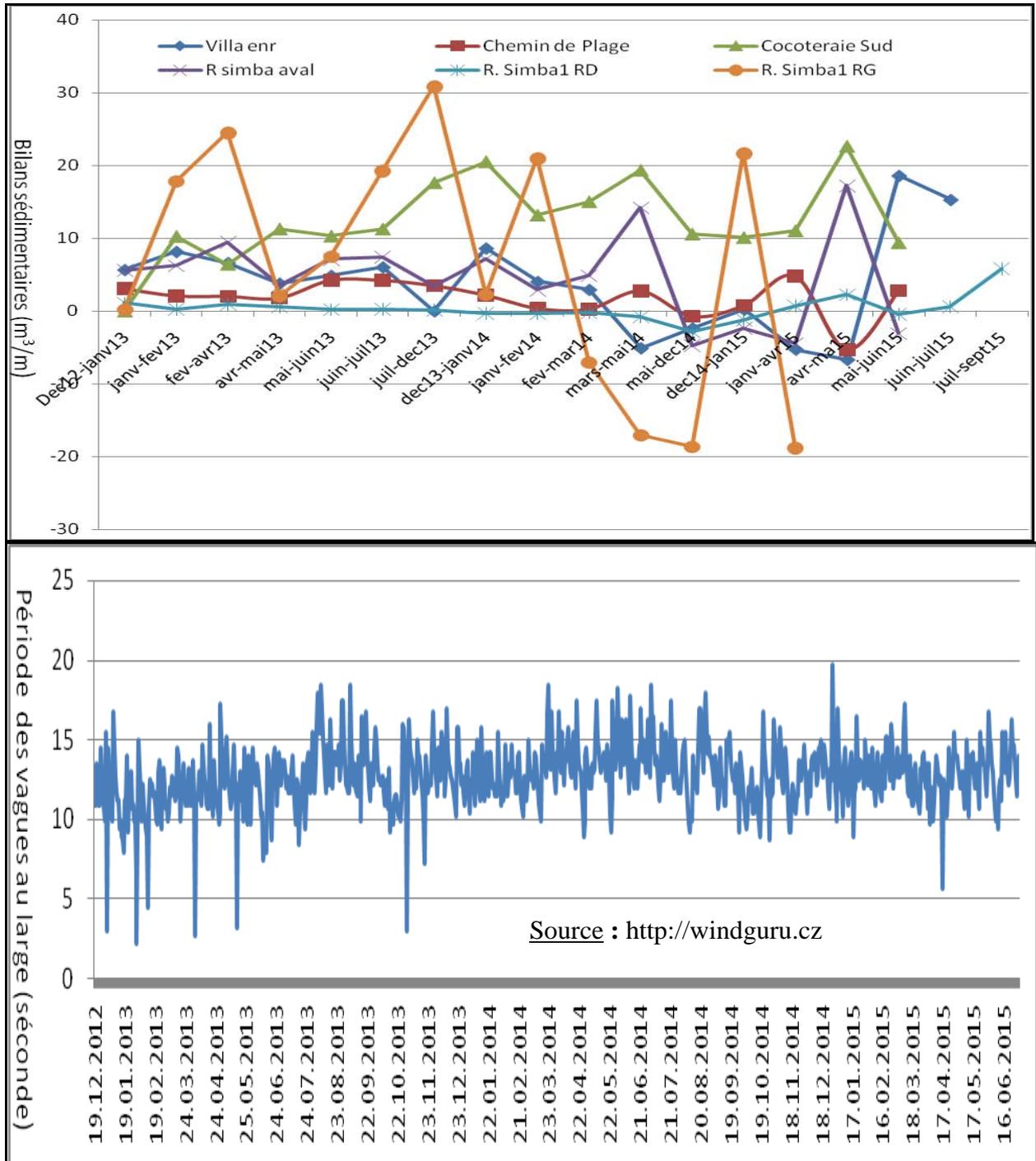
La notion d'évolution morphodynamique des milieux côtiers se définit comme étant un système, dont l'ajustement mutuel de la morphologie et de l'hydrodynamique est étudié par le biais du transport sédimentaire (Wright et Thom, 1977 ; Wright et Thom, 1984; Masselink et al., 2006). Les conditions hydrodynamiques induisent un transport sédimentaire, lui-même responsable de l'évolution morphologique de la plage. Cependant, les conditions hydrodynamiques locales sont fonction des forçages au large. Mais, elles sont aussi fortement influencées par la topographie locale.

L'évolution d'un système côtier est donc dépendante de l'état antérieur de ce système et des forçages météo-marins. Ces forçages possédant un caractère stochastique, l'évolution morphodynamique des systèmes côtiers peut être décrite comme un processus markovien, défini comme une succession d'états morphologiques interdépendants (Sonu & James, 1973). On distingue deux temps de réponse morphologique aux changements des conditions hydrométéorologiques :

- le temps de réaction, qui correspond à la durée entre les changements hydrométéorologiques et le début de l'évolution morphologique ;
- le temps d'ajustement, qui correspond à la durée de la mise à l'équilibre du système morphologique en fonction des conditions hydrométéorologiques.

L'ensemble de ces temps de réponse dépend étroitement des conditions locales. La comparaison des bilans sédimentaires cumulés pour les six stations de la zone Nord de la Baie d'Akouango pour la période décembre 2012 et juin 2015 et la période des vagues au large donne ce qui suit (Figure 73, ci-après).

**Figure 73:** Comparaison de l'évolution des bilans sédimentaires cumulés par station et la période des vagues enregistrées au large de l'estuaire du Komo de décembre 2012 à juin 2015.



Source : Mouyalou V. M. T.

Ces conditions de forçages concernent principalement les périodes des vagues au large. L'objectif visé par cette démarche est l'analyse de la variabilité saisonnière de la morphodynamique des plages. La pente entre deux points consécutifs décrit l'évolution du

profil de plage. Si la pente est positive, il y a accrétion et le profil concerné est alimenté en sable. Si la pente est négative il y a érosion, et le profil a perdu du matériel sédimentaire. Une pente nulle, ou très faible, signifie que le profil est resté « stable » ou a peu évolué entre deux relevés successifs.

Le couplage des bilans sédimentaires cumulés et des conditions de forçages (période des vagues au large) ne permet pas de mettre en évidence, de façon absolue, une variation saisonnière des phases d'érosion et d'accrétion. Toutefois, l'impact de certains événements extrêmes est aisément observable dans la variation des bilans sédimentaires pour bon nombre de stations.

Pour l'ensemble des stations, deux périodes se caractérisent par une érosion généralisée. Il s'agit de mai 2013 et décembre 2014.

Mai 2013 : le bilan sédimentaire au niveau de la majorité des stations est négatif, à l'exception de la Cocoteraie Sud située au niveau du lieu-dit la Cocoteraie dans la Baie d'Akouango. L'érosion mise en évidence peut être interprétée comme étant le résultat des vagues à longues périodes (entre 14 et 17 s) enregistrées en avril et mai 2013 au large de Libreville.

Décembre 2014 : une érosion massive est observée en décembre 2014, et ce pour la majorité des stations ; même si, une fois de plus, l'évolution du bilan sédimentaire de la station Villa enr n'obéit pas à cette logique. Il est tout de même important de préciser qu'un dépit de ce contre sens, il s'agit tout de même d'une variation très faible du bilan sédimentaire, qui ne permet pas de remettre en cause la tendance générale pour la période de décembre 2014. L'érosion côtière mise en évidence ici peut être interprétée comme étant la conséquence des vagues à longues périodes (entre 14 s et 19 s) enregistrées en novembre et décembre 2014.

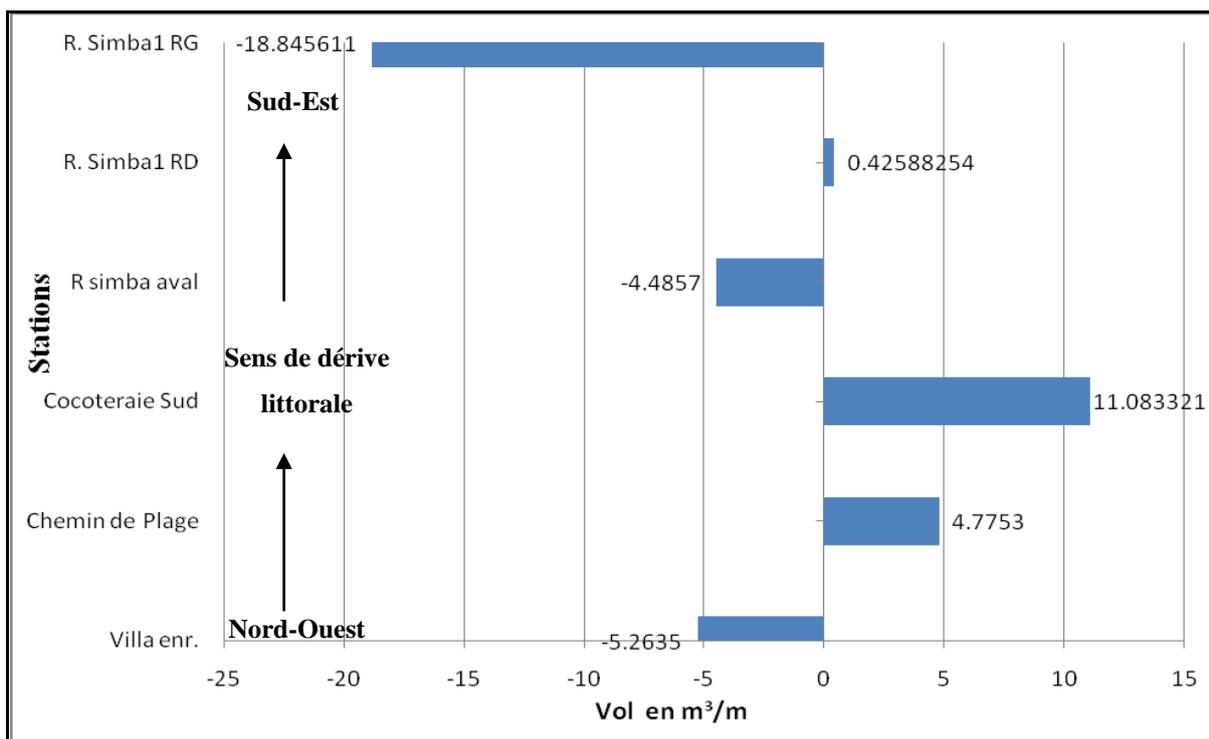
Deux périodes d'accrétion généralisée, pour l'ensemble des stations, sont également mises en évidence :

- Février 2013 : on observe une remarquable accrétion pour l'ensemble des stations. En effet, après un régime de vagues à grande période en décembre 2012 et janvier 2013 (entre 14 et 16 s), février se caractérise lui par de vagues à basse période (entre 3 et 12 s) traduisant un régime calme.
- Juillet 2013 : l'accrétion observée au cours de cette période succède à la phase érosive enregistrée au niveau de la majorité des stations en mai 2013. Pour juillet 2013, la période de vagues au large était de 12 secondes.

En dehors de ces périodes particulières pour lesquelles le bilan sédimentaire, pour l'ensemble ou la majorité des stations évolue, dans le même sens, il existe des cas où telle n'est pas la situation. En effet pour la même date, certaines stations présentent un engraissement, alors que d'autres s'érodent et inversement.

D'une manière générale, les stations Villa enr, Chemin de Plage et Cocoteraie Sud situés plus au Nord de la zone d'étude enregistrent plus d'engraissement que celles situées en aval transit. Ici, aucune progression linéaire n'est mise en évidence, par exemple une érosion généralisée en amont transit et un engraissement conséquent en aval. De ce fait, ce résultat n'est pas conforme à l'existence d'un transit littoral et une redistribution des sédiments depuis le Nord vers le Sud par les courants de dérive littorale comme l'illustre la Figure 74, ci-après.

**Figure 74:** Bilan sédimentaire des stations de la zone Nord de la baie d'Akouango de décembre 2012 à juin 2015



Source : Mouyalou V. M. T.

Ce résultat suppose l'existence d'autres facteurs et mécanismes, qui interviennent dans l'alimentation de l'ensemble des plages situées dans la Baie d'Akouango. En effet, l'absence d'un système de redistribution des sédiments suivant le sens du transit littoral suppose l'existence d'une sous unité spatiale ou cellule hydrosédimentaire entre les différentes

stations, au sein de laquelle se font les échanges sédimentaires. Cela permet d'affirmer une origine proximale pour les sédiments qui alimentent ces plages. En effet, en l'absence des sources d'apport tels que les fleuves, il s'agit alors essentiellement du remaniement à l'échelle spatiale de la station, depuis l'arrière plage et/ou le bas de plage. Cela nous pousse à nous interroger sur le devenir de ces plages, sachant que les sédiments régulièrement remaniés ne sont pas illimités. En effet, s'annoncent les prémises d'une crise sédimentaire majeure, comme on l'observe déjà sur des plages de Libreville situées en aval transit de l'épi de l'hôtel Dialogue.

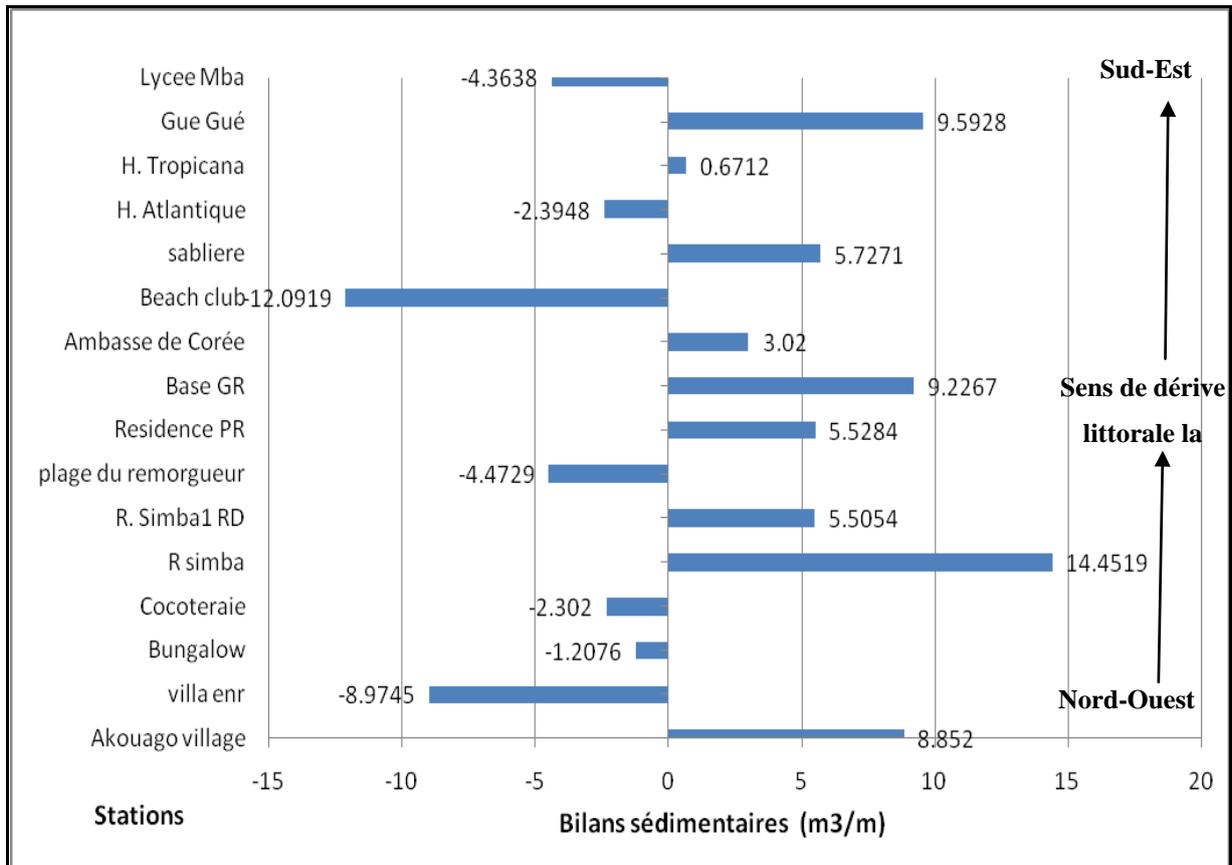
#### **4.3.3. Le bilan sédimentaire des plages du Lycée Mba à Akouango Village entre juillet et septembre 2015**

L'analyse des profils de plages, entre le Lycée Léon Mba et le complexe touristique Akouango Village, a permis de calculer les bilans sédimentaires pour la période de juillet à septembre de 2015. Ayant été réalisé sur une période assez courte, ce suivi ne nous permet pas de faire une analyse de l'évolution saisonnière des bilans sédimentaires. Toutefois, cela met en évidence la variation des bilans sédimentaires suivant de profil longitudinal (Figure 75, ci-après).

D'une manière générale, l'analyse des bilans sédimentaires pour l'ensemble de la zone d'étude permet de mettre en évidence une alternance des bilans positifs et négatifs. Dans cette série, les bilans positifs sont représentés à près de 56%, contre 44% pour les bilans négatifs. Les bilans positifs varient entre 0,67 et 14,54 m<sup>3</sup>/m, correspondant respectivement aux stations H. Tropicana et R Simba. De même, les bilans négatifs varient entre -1,20 et -12,09 m<sup>3</sup>/m, correspondant respectivement aux stations Bungalow et Beach Club.

Dans le détail, l'analyse des bilans sédimentaires permet de mettre en évidence l'effet des forçages anthropiques dans l'évolution des plages, et par voie de conséquence des bilans sédimentaires. Les effets anthropiques concernent aussi bien les bilans positifs que négatifs.

**Figure 75:** Bilans sédimentaires calculés entre juillet et septembre 2015 du Lycée Mba à Akouango Village.



Source : Mouyalou V. M. T.

La différence entre bilans sédimentaires peut être un argument pour mettre en évidence l'effet des activités anthropiques dans leur variation spatiale. L'analyse de l'environnement urbain et les effets des activités anthropiques permettent de prendre quelques stations en exemple : Villa enr, Plage du Remorqueur, Beach Club et Lycée Mba.

Tout d'abord, le bilan sédimentaire enregistré au niveau de la station Villa enr peut s'expliquer par la présence d'un cordon d'enrochement en arc de cercle mise en place pour protéger l'habitation des assauts de la mer. En retour, cet ouvrage à cause de sa forme se comporte comme un épi, avec en amont transit une accumulation et en aval un recul du trait de côte.

Ensuite, par rapport à la station Plage du Remorqueur, les observations de terrain ont également permis de confirmer l'effet des activités anthropiques dans la variation des bilans sédimentaires. Cette situation se trouve dans un environnement très anthropisé (Photo 33, ci-après), avec la présence de structures parfois en dur directement érigées sur le haut de plage et dont la conséquence est de perturber les processus hydrosédimentaires et par voie de conséquence les échanges morphosédimentaires.

**Photo 33:** Une construction en dur sur le haut estran à la Plage du Remorqueur



Cliché : Mouyalou V. M. T., mars 2016.

Cette photo 33, ci-avant, illustre une implantation humaine maçonnée inadaptée au haut de plage. Comme cela est vu ci-avant, la présence de ces structures en parpaing ou en béton a pour effet direct de modifier les conditions de transport et de sédimentation. Ainsi, cette situation couplée aux prélèvements de sables de plage peut, entre autres, expliquer de bilan négatif enregistré au niveau de la station Plage du Remorqueur.

Le bilan négatif de la station Beach Club a pour explication, la plus rationnelle, la présence des clôtures en béton directement implantées sur la plage et le haut de celle-ci. L'effet est la modification des conditions hydrodynamiques et, par voie de conséquence, les processus de transport et de sédimentation.

Enfin, le bilan sédimentaire négatif de la station Lycée Mba s'explique par les prélèvements de sable régulièrement réalisés en amont transit par les opérateurs économiques (restaurant bar) installés sur ce site, afin recharger le haut de plage. L'objectif est de fournir aux clients des aires de jeux et de loisirs bien aménagées. À titre d'exemple la Photo 34, ci-après, illustre après rechargement du haut de plage, une mise en place pour la célébration d'un mariage civil sur la plage du lycée Mba.

**Photo 34:** Mise en place pour la célébration d'un mariage civil sur plage au niveau du *Family beach Restaurant-snack-bar* (plage du Lycée Léon Mba).



Cliché : Mouyalou V. M. T., juillet 2015.

À l'inverse, quelques cas de stations, où les bilans sédimentaires sont positifs, peuvent être versés à l'actif des actions anthropiques. Il s'agit notamment des stations R. simba et R. Simba1 RD, qui correspondent à deux zones d'embouchures des nouvelles percées sur l'estran de la rivière Simba, suite aux activités anthropiques (exploitation du sable de cordons). Pendant la période de suivi, ces secteurs ont enregistré des engraissements. Cela est particulièrement dû au fait qu'entre juillet et septembre le débit de la rivière Simba connaît une baisse notable. Ce fait favorise, un phénomène d'engrondissement conduisant à la fermeture complète ou partielle de ces embouchures d'origine anthropique. Ce phénomène d'engrondissement explique ce bilan sédimentaire positif.

#### **4.3.4. Les erreurs de calcul des bilans sédimentaires par la méthode des profils de plage**

La méthode des relevés de profils de plages utilisée dans notre travail de recherche est un outil efficace, qui est largement utilisé pour l'analyse de l'évolution morphodynamique des estrans sableux. En effet, cette méthode permet à la fois une bonne description des profils, ainsi que le calcul des bilans sédimentaires. Cependant, de nombreux éléments doivent être pris en compte pour la fiabilité des données.

D'une part, le respect scrupuleux de l'azimut, qui détermine la direction du profil de plage, est un préalable et le gage de la fiabilité des données obtenues au cours d'un suivi. En effet, une modification de la direction du profil conduit à une surestimation ou à une sous-

estimation de la longueur de la radiale, et amène l'opérateur à mesurer un profil qui s'éloigne de celui réalisé précédemment. Plus le profil mesuré est long, plus les écarts en bas de plage sont importants (Cordier, 2007). D'autre part, il y a, la vérification sur le terrain de l'exactitude des lectures stadimétriques. En effet, il est indispensable à chaque point du profil de procéder à une vérification de la précision de la mesure, comme cela est décrit dans la section matériels et méthodes (Chapitre 3, ci-avant).

Plusieurs de nos profils présentent une multitude des formes mineures. Ainsi, fort de ce qui précède, les fortes variations morphologiques mises en évidence, certaines de nos radiales peuvent être autant dues à un mauvais choix de l'azimut du profil qu'à la réelle dynamique de la plage. De plus, l'échelle métrique entre deux points de nos profils ne permet pas de lever dans toute sa rigueur la morphologie du profil.

L'utilisation de la seule méthode des profils de plage, pour le calcul des bilans sédimentaires, ne permet pas d'évaluer la marge d'erreur de la méthode. Ainsi, en lien avec les erreurs de calcul des bilans sédimentaires par la méthode des profils de plage, cette section se limite strictement aux orientations et recommandations à prendre en compte dans la détermination des erreurs.

Pour les perspectives de recherche et ce en vue d'évaluer les erreurs commises par la méthode des profils de plage dans le calcul des bilans sédimentaires, il y a nécessité de coupler deux méthodes. À la méthode des profils de plages, il faut associer pour la même station la réalisation des Modèles Numériques de Terrain (MNT) tridimensionnels. Cette méthode se base sur la réalisation des levés topographiques non plus suivant un profil (2D), mais sur des espaces bien définis, pour aboutir à la réalisation des levés topographiques en 3D. L'utilisation des programmes informatiques tels MATLAB, *Golden Software Surfer*, *ArcGIS*, et la superposition des différents levés réalisés au même maillage permettront d'aboutir au calcul surfacique des bilans sédimentaires. Les résultats obtenus seront ensuite ramenés à l'échelle du mètre cube par mètre linéaire.

La comparaison des deux résultats obtenus au niveau d'une même station, et pour des levés de même période, permettra d'évaluer l'erreur du calcul des bilans sédimentaires par la méthode des profils de plage. Cependant, le matériel utilisé pour la réalisation des levés topographiques tridimensionnels doit être le plus précis possible. Tel est le cas du théodolite station totale *RTK*, dont la précision est millimétrique. Cet outil de pointe est largement utilisé dans le domaine du suivi morphodynamique des plages à travers le globe terrestre.

La conclusion de ce chapitre est que le suivi de l'évolution morphodynamique de la plage intertidale, réalisé de l'échelle événementielle à l'échelle interannuelle, montre une forte variabilité. Les résultats obtenus ont été analysés selon deux approches : qualitative et quantitative.

L'approche qualitative a été basée sur l'interprétation de la morphologie des profils de plage. Elle a permis de mettre en évidence la variabilité spatiale des pentes de plage allant des profils plats à escarpés. Les pentes les plus douces (3,5 %) correspondent aux profils les plus longs et se situent en position aval transit, où la dynamique morphosédimentaire est peu active ; c'est le cas au niveau de la plage du Lycée Mba. À l'inverse, les plages aux pentes les plus fortes (20 %) se situent dans les secteurs les plus impactés par les activités anthropiques de la zone d'étude. Il s'agit notamment de l'urbanisation du haut de plage. Cette analyse qualitative a également permis de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des formes mineures sur les différents profils de plage. Il s'agit des gradins de plages, des croissants de plage et des sillons sédimentaires ou bâches.

La comparaison des bilans sédimentaires cumulés et des conditions de forçages (période des vagues au large) ne permet pas de mettre en évidence, de façon absolue, une variation saisonnière des phases d'érosion et d'accrétion. Toutefois, l'effet de quelques événements hydrodynamiques isolés est bien observable dans la variation des bilans sédimentaires, pour plusieurs stations, en ce qui concerne aussi bien l'engraissement que le démaigrissement.

L'analyse de cette évolution a également permis de mettre en évidence l'effet des activités anthropiques dans la variation spatio-temporelle des bilans sédimentaires. L'absence d'un modèle cohérent, entre les phases érosives en amont suivi d'un engraissement en aval, suppose la faiblesse du système d'alimentation des plages par le transit littoral depuis l'amont vers l'aval transit. Cela peut également être soutenu par la faiblesse du transit sédimentaire enregistré sur ces plages. Les sédiments, qui alimentent les différentes plages, ont de ce fait une origine locale et correspondent essentiellement au remaniement soit depuis l'avant plage ou le haut de plage.

## **CHAPITRE 5: CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE DE L'HOTEL DIALOGUE A LA BAIE D'AKOUANGO DE 1977 A 2013**

Les plages sableuses limitées au Sud par l'épi de l'hôtel Dialogue et au Nord par le Cap Santa Clara constituent la dernière unité sableuse de la rive droite de l'estuaire du Komo.

Cette frange littorale est un espace fortement convoité, comme le témoigne la présence des activités socio-économiques de nature diverse et variée. Cependant dans la zone d'étude, le recul du trait de côte a détruit de nombreuses structures socio-économiques et bien d'autres se trouvent aujourd'hui vulnérables. Le recul du trait de côte est avéré, mais a rarement été quantifié. Par ailleurs la perspective des changements climatiques, associée à une anthropisation de plus en plus croissante de cet espace fragilisé, fait craindre une dégradation accentuée du milieu. Dans ce contexte de vulnérabilité, comprendre la dynamique du trait de côte et les processus qui la contrôlent s'avère primordial pour la mise en place d'une stratégie de "*gestion de la zone côtière*". Celle-ci est indispensable pour l'élaboration d'une politique d'aménagement et de gestion intégrées de cet espace face à l'érosion côtière.

Le présent chapitre a pour objectif l'analyse de la cinématique du trait de côte. Pour atteindre cet objectif, plusieurs éléments ont été pris en compte. Il s'agit de l'application des tests statistiques de la mobilité du trait de côte, de l'élaboration des cartes de vulnérabilité, de l'établissement des bilans surfaciques et volumiques et, enfin, de l'estimation des erreurs (Crowell et *al.*, 1991 ; Genz et *al.*, 2007, Juigner et *al.*, 2012 ; Moussaid et *al.*, 2015).

L'approche méthodologique mise en œuvre dans ce travail pour évaluer la variabilité du trait de côte s'inspire de la démarche adoptée dans les études de cinématique littorale utilisant des données multi-sources, traitées, intégrées dans une base d'informations géographiques et exploitée par un SIG (Andrews et *al.*, 2002 ; Aubry, 2010 ; Faye, 2010 ; Faye et *al.*, 2011 ; Lemoigne et *al.*, 2013, Le Guern et *al.*, 2014, Mourad et *al.*, 2015 ). En ce qui concerne le choix de l'indicateur pour le référencement du trait de côte, compte tenu des possibilités offertes par la littérature traitant des lignes de référence en géomorphologie littorale (Boak et Turner, 2005), nous avons choisi la limite de la végétation. Cet indicateur est le plus adapté dans la reconstitution de la cinématique du trait de côte de l'hôtel Dialogue au Cap Santa Clara.

## 5.1. Évaluation de la dynamique du trait de côte

Dans le cadre de cette étude, le suivi diachronique du trait de côte a été réalisé grâce à l'utilisation d'une série de photographies aériennes et d'orthophotoplans couvrant la zone allant de l'hôtel Dialogue à Akouango Village. Les photographies analysées correspondent aux années 1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013. La Figure 76, ci-après, présente la zone couverte par notre étude.

**Figure 76:** La zone couverte par la série de photographies aériennes analysées.

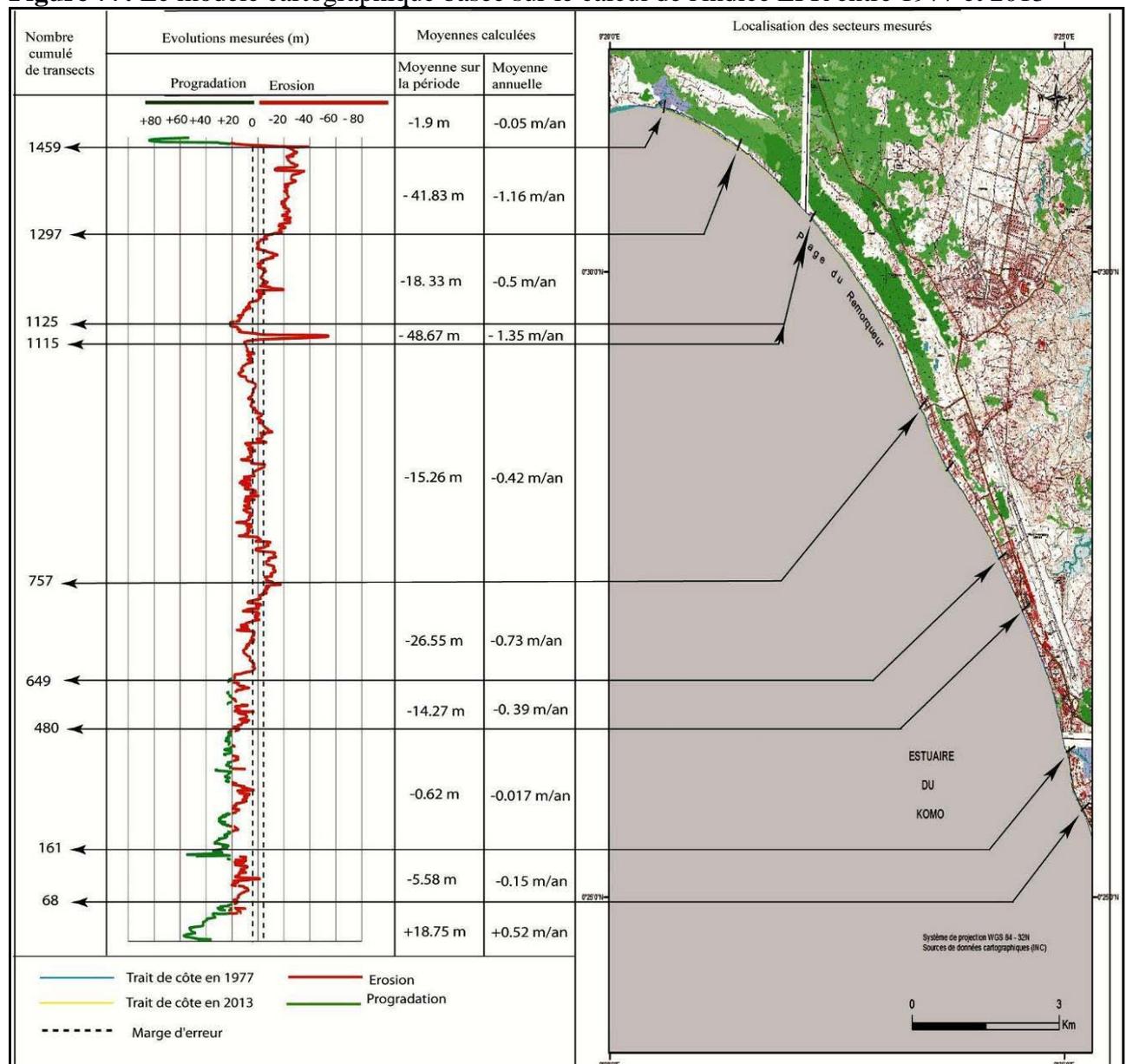


Les vitesses de déplacement de la ligne de rivage ont été estimées à l'aide de l'extension *Digital Shoreline Analysis System (DSAS)*, qui fonctionne sous l'environnement du logiciel ArcGis (Himmelstoss, 2009). Cette extension a permis de créer une ligne de base et 1486 transects orthogonaux espacés de 10 mètres, qui coupent les différents traits de côtes pour en analyser leur taux de variation. Les taux d'évolution du trait de côte ont été l'objet de deux calculs statistiques. Il s'agit de la méthode du point extrême (EPR) et celle du taux de régression linéaire (LRR) défini par Thieler et *al.* (2009).

### 5.1.1. Variation de l'indice EPR pour la période 1977-2013

L'indice EPR a permis d'évaluer le taux de variation du trait de côte entre 1977 et 2013, en se limitant exclusivement à ces deux dates. Les résultats obtenus à travers l'analyse de l'indice EPR ont permis de révéler que 83.18 % des transects sont en érosion, 0.47 % stables et 16.35 % accrétion. L'indice EPR moyenné pour l'ensemble des transects indique un taux de recul annuel du trait de côte de -0,39 m/an. Dans le détail, ce taux est assez hétérogène et varie de -2,07 m/an à +1.78 m/an. La Figure 77, ci-après, illustre la variation du trait de côte en prenant en compte l'indice EPR. Sur cette figure, la courbe en rouge représente l'érosion et celle en vert l'accrétion.

**Figure 77:** Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'indice EPR entre 1977 et 2013



Source : Mouyalou V. M. T.

D'une manière générale, pour la période de suivi, la variation de l'indice *EPR* dans la zone d'étude se caractérise par un recul du trait de côte, à l'exception de quelques petits secteurs. Il s'agit des plages situées au niveau de l'embouchure de la rivière Otendé et de la plage dite du Lycée Léon Mba. On note également que les plages situées dans la zone Nord enregistrent les taux de recul les plus importants. À titre d'exemple, le T1470 situé au Nord de la Baie d'Akouango se caractérise par un taux de recul de -1,55 m/an. À l'inverse, les transects situés dans la zone Sud, notamment au niveau de la plage dite du Lycée Léon Mba, se caractérisent dans leur majorité par une accrétion. Le transect 11, situé à l'hôtel Dialogue, enregistre un taux moyen d'accrétion de +1,04m/an.

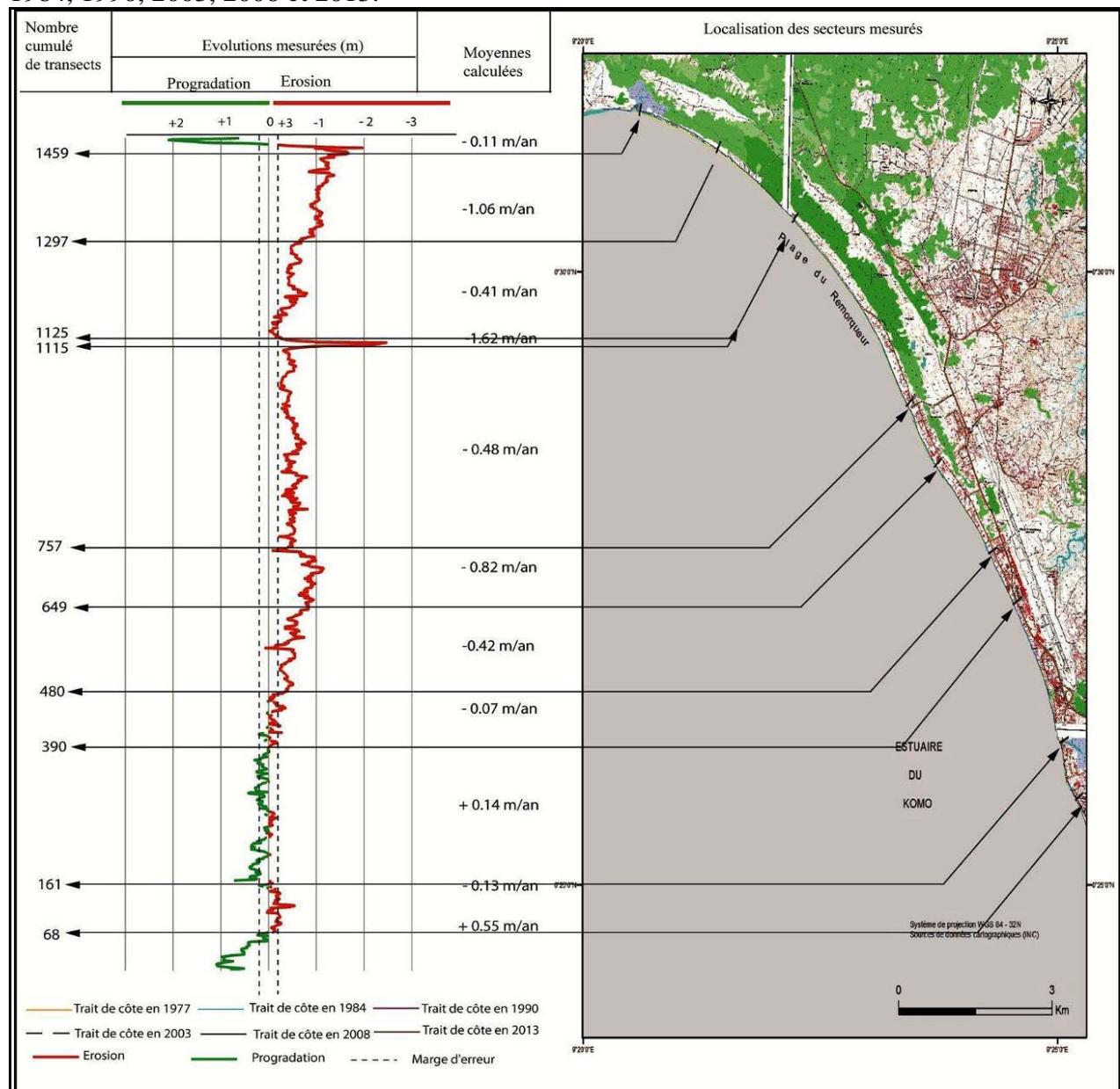
À cette tendance générale, il y a tout de même des transects pour lesquels, eu égard à leur position géographique, la variation du trait de côte n'obéit pas à la tendance globale de la zone dans laquelle il se situe. Tel est le cas du transect 1481, situé dans la zone Nord, qui enregistre un taux de variation de +1,78 m/an. Les taux de recul les plus importants s'observent au niveau de T1119, situé à la Plage du Remorqueur. Les taux moyens annuels de recul varient de -1,13 m/an à -2,07 m/an. Ces importants taux de recul annuels peuvent s'expliquer par l'ouverture de la rivière Simba causée par des prélèvements de sable ayant fragilisé le cordon. Face à ces zones très dynamiques, on note également des secteurs qui se caractérisent par un taux annuel de variation nul. Tel est le cas des transects 59 et 69, situés à la plage du Lycée Mba et dont l'indice *EPR* donne un taux de variation annuel de 0 m/an.

La méthode des points extrêmes n'utilise que deux positions connues de la ligne de référence: la position la plus ancienne et la position la plus récente. La distance mesurée entre ces deux emplacements extrêmes du trait de côte, durant la période d'étude, est divisée par le nombre d'années écoulées pour obtenir la vitesse d'évolution annuelle du littoral. L'avantage de cette méthode réside dans sa simplicité ; mais elle pose tout de même des problèmes. En effet, lorsque l'on dispose des traits de côtes intermédiaires entre les deux dates extrêmes, les taux estimés par cette technique n'intègrent pas les éventuelles variations temporelles dans l'évolution du littoral (accélération, ralentissement ou inversion de tendance). Pour parer à cette lacune, une autre méthode a été appliquée. Il s'agit de la méthode régressive ou du taux de régression linéaire (LRR), qui utilise toutes les positions du trait de côte dans l'analyse.

### 5.1.2. Variation de l'indice LRR pour la période 1977-2013

L'indice LRR a permis d'estimer le taux de variation du trait de côte en prenant en compte les traits de côtes de 1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013. Les résultats ont révélé que 79.40 % des transects sont en érosion, 0,60 % stables et 20% en accrétion. L'analyse de l'indice LRR moyennée pour l'ensemble des transects indique un taux de recul annuel du trait de côte de -0,36 m/an. À l'instar de la variation de l'indice EPR, dans le détail, la variation de LRR est assez hétérogène, avec des indices qui varient entre -2,47m/an à +2,10m/an. La Figure 78, ci-après, illustre la variation du trait de côte en prenant en compte l'indice LRR.

**Figure 78:** Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'indice LRR pour les années 1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013.



Source : Mouyalou V. M. T.

D'une manière générale, la variation de l'indice *LRR* dans la zone d'étude se caractérise par un recul du trait de côte. Les transects situés dans la zone Nord enregistrent dans leur majorité des taux de recul assez importants. À titre d'exemple, le T1470 situé au Nord de la Baie d'Akouango se caractérise par un taux de recul de -1,17 m/an. À l'inverse, les transects situés dans la zone Sud, notamment au niveau de la plage dite du Lycée Léon Mba se caractérisent dans leur majorité par une accrétion. Par exemple, le transect 11 situé à l'hôtel Dialogue enregistre un taux moyen d'accrétion de +1,1 m/an.

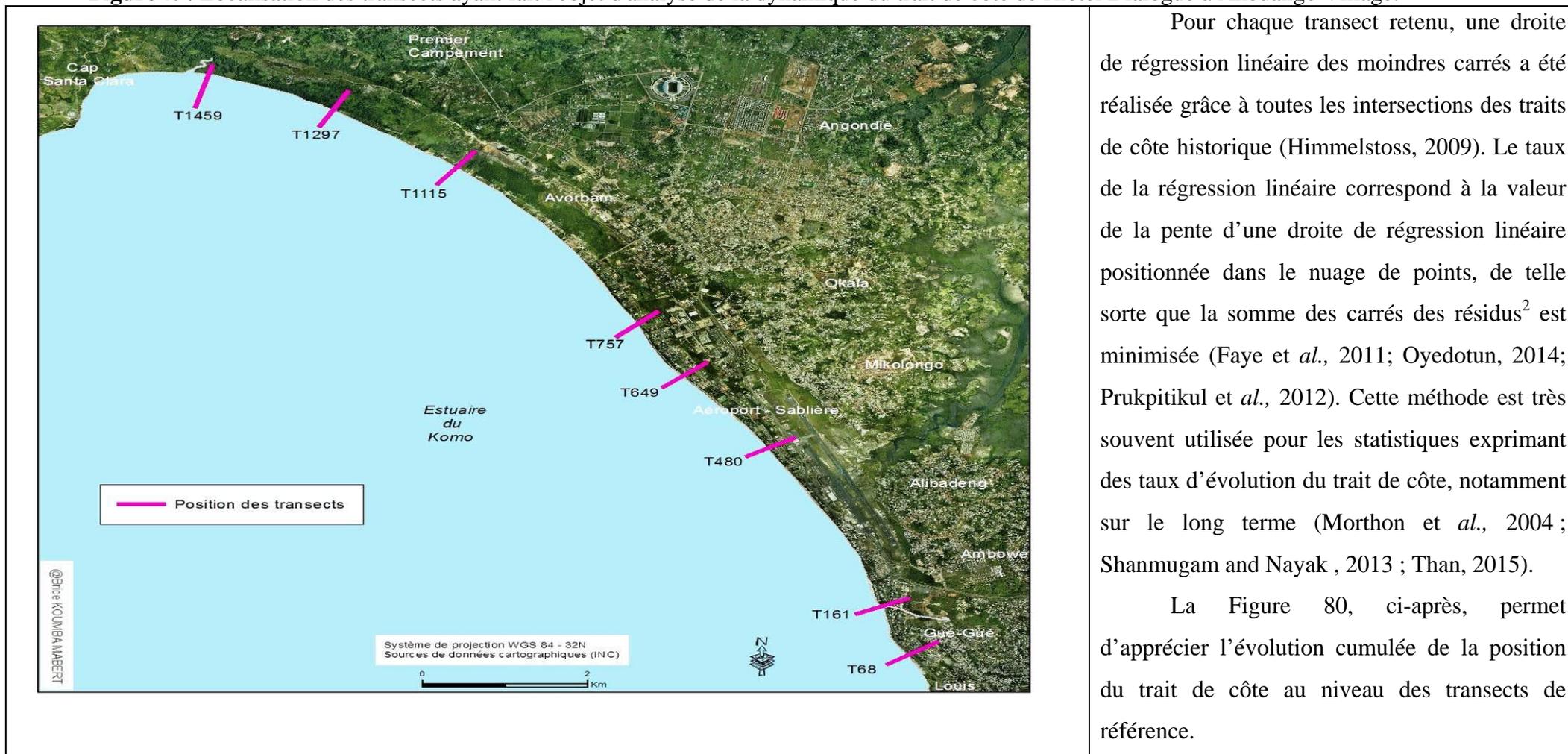
D'une manière générale, l'analyse de la variation du trait de côte pour la période 1977-2013 sur la base des indices *EPR* et *LRR* révèle que la majorité des plages enregistrent une érosion généralisée, à l'exception du petit segment côtier correspondant globalement à la plage dite du Lycée Léon Mba. Les reculs les plus importants ont été mis en évidence dans deux secteurs. Le premier est le Nord de la zone d'étude dans la Baie d'Akouango, où l'on recense plus d'activités anthropiques affectant la dynamique morphosédimentaire. Il s'agit principalement de l'urbanisation et des prélèvements de sables aussi bien de plages que des paléocordons situés en arrière plage. Le deuxième secteur est représenté par chacune des embouchures des rivières qui, au-delà de leur dynamique naturelle, ont également été le siège de prélèvements de sable d'estran.

## **5.2. Évolution périodique du trait de côte**

Le choix d'une méthode statistique pour évaluer la mobilité du littoral dépend des objectifs de la recherche, ainsi que des variations temporelles de l'évolution du trait de côte. D'après Dolan et *al.* (1991), si la tendance évolutive est linéaire, les taux d'évolution calculés par la méthode des points extrêmes et la régression linéaire sont cohérents. Dans le cas où l'évolution est chaotique avec une alternance de phases de progradation et d'érosion, les taux d'évolution obtenus peuvent varier du simple au quintuple suivant les méthodes de calcul. Dans tous les cas, quelle que soit la méthode de calcul utilisée, la fiabilité des taux d'évolution reste conditionnée par la précision du positionnement des lignes de référence que l'on compare (Dolan et *al.*, 1991 ; Genz et *al.*, 2007 ; Addo et *al.*, 2008 ; Frazer et *al.*, 2009).

Dans le but de bien apprécier la variation du trait de côte, il nous est paru nécessaire d'analyser cette dynamique en comparant les taux d'évolution en mètre au niveau de quelques transects de référence. Il s'agit des transects T68, T161, T480, T649, T757, T1115, T1297 et T1459, représentatifs de l'ensemble de la zone d'étude comme l'illustre la Figure 79, ci-après.

**Figure 79:** Localisation des transects ayant fait l'objet d'analyse de la dynamique du trait de côte de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.

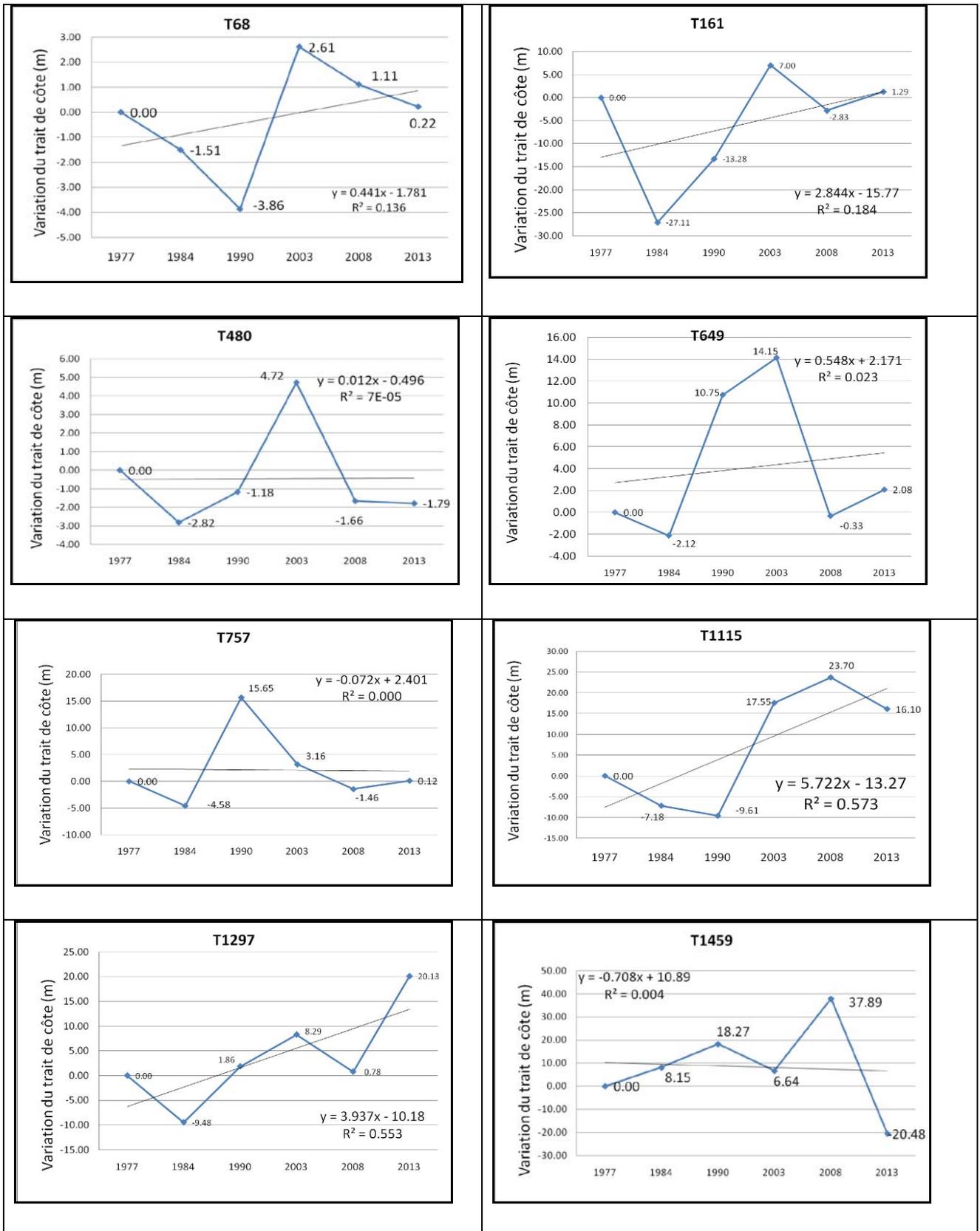


Pour chaque transect retenu, une droite de régression linéaire des moindres carrés a été réalisée grâce à toutes les intersections des traits de côte historique (Himmelstoss, 2009). Le taux de la régression linéaire correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points, de telle sorte que la somme des carrés des résidus<sup>2</sup> est minimisée (Faye et *al.*, 2011; Oyedotun, 2014; Prukpitikul et *al.*, 2012). Cette méthode est très souvent utilisée pour les statistiques exprimant des taux d'évolution du trait de côte, notamment sur le long terme (Morthon et *al.*, 2004 ; Shanmugam and Nayak , 2013 ; Than, 2015).

La Figure 80, ci-après, permet d'apprécier l'évolution cumulée de la position du trait de côte au niveau des transects de référence.

<sup>2</sup> La somme des carrés des résidus correspond à l'addition totale de la distance de décalage pour chaque point de mesure par rapport à la droite de régression élevée au carré.

**Figure 80:** Variation cumulée de la position du trait de côte de 1977 à 2013 pour quelques transects de référence de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.



Source : Mouyalou V. M. T.

Précisons que l'équation de régression de chaque courbe est de type :  $y = m.x + b$ .  $y$  est la distance de la ligne de base,  $m$  est la pente de la régression et  $b$  est l'ordonnée d'abscisse nulle.

Cette courbe est également associée à un coefficient de détermination ( $R^2$ ) qui détermine à quel point l'équation de régression est adaptée pour décrire la distribution des points. Le coefficient de détermination varie de 0 à 1. Plus le coefficient de détermination se rapproche de 0, plus le nuage de points est diffus autour de la droite de régression. Au contraire, plus le  $R^2$  tend vers 1, plus le nuage de points se rapproche de la droite de régression. De ce fait l'analyse des paramètres de l'équation associée au coefficient de détermination ( $R^2$ ) peut être utilisée pour décrire le caractère linéaire de l'évolution du trait de côte pour les différentes tranches temporelles. Dans notre série, la valeur de la pente de la régression linéaire est assez hétérogène et varie de -0,7 à +5,7. Les transects qui enregistrent le taux de recul le plus important se caractérisent par des pentes négatives. À l'opposé les transects, qui se caractérisent par un engraissement, se traduisent par des pentes positives de la régression linéaire.

En dépit de l'érosion généralisée qui a été mise en évidence, l'analyse des courbes cumulées de variation du trait de côte a révélé une dynamique marquée par l'alternance des phases d'ablation et d'engraissement. Sur la base de tous ces éléments, une synthèse de la dynamique du trait de côte a été réalisée pour nos transects de référence (Tableau 13, ci-après).

**Tableau 13:** Synthèse de la variation du trait de côte au niveau de quelques profils pour la période 1977-2013.

Transects	Localisation géographique	Variation du trait de côte (m) par période				
		1977-1984	1984-1990	1990-2003	2003-2008	2008-2013
T68	Hôtel <i>Radison blue</i>	-1,51	-3,86	+2,61	+1,11	+0,22
T161	Exutoire Gué-Gué	-27,11	-13,28	+7,00	-2,83	+1,29
T480	Camp Pompidou	-2,82	-1,18	+4,72	-1,66	-1,79
T649	Beach Club	-2,12	+10,75	+14,15	-0,33	+2,08
T757	Base GR	-4,58	+15,65	+3,16	-1,46	+0,12
T1115	Plage du Remorqueur	-7,18	-9,61	+17,55	23,70	+16,10
T1297	Cocoteraie	-9,48	+1,86	+8,29	0,78	+20,13
T1459	Exutoire Otendé	+8,15	+18,27	+6,64	+37,89	-20,48

Source : Mouyalou V. M. T.

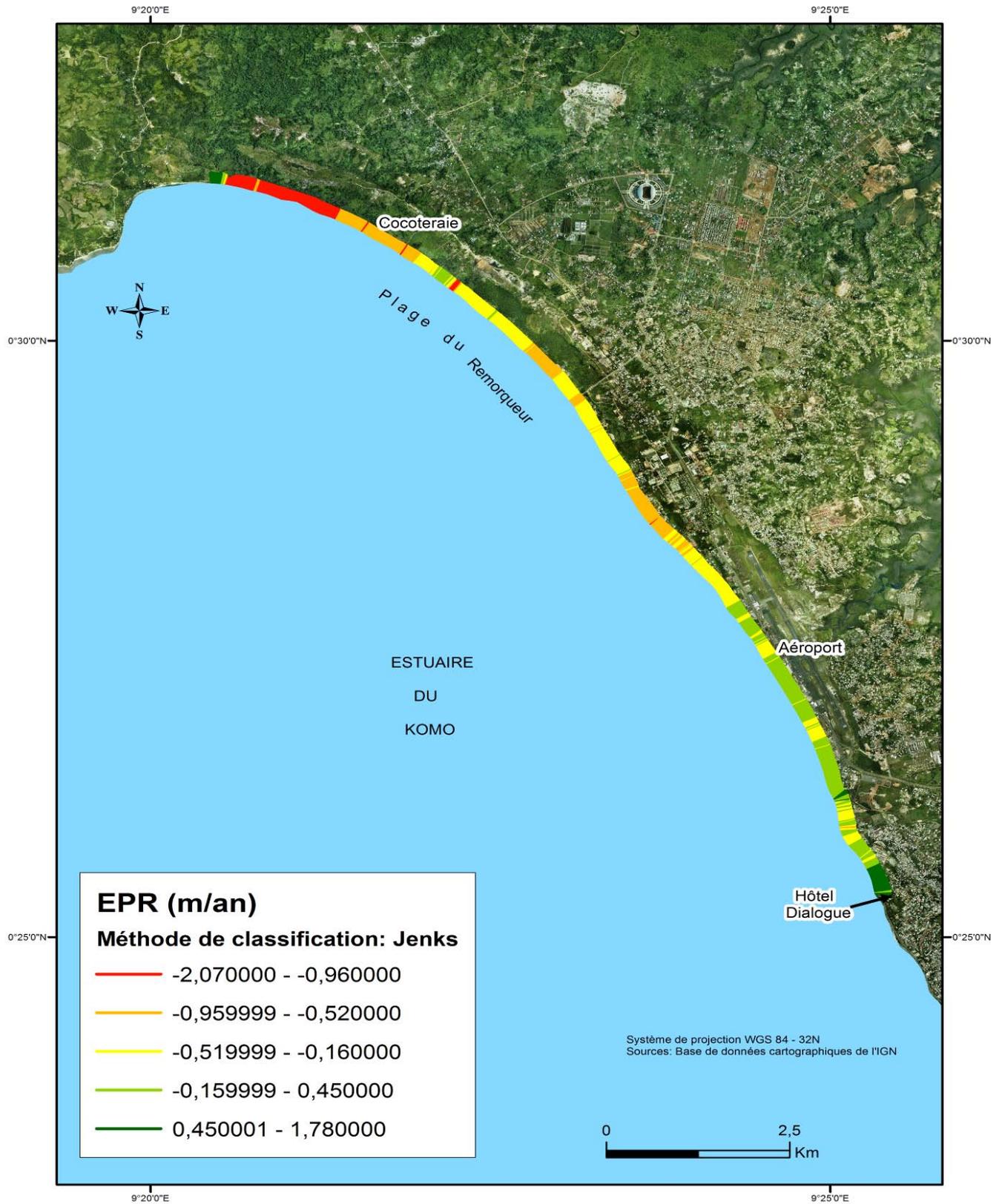
De ce Tableau 13, il ressort que la dynamique du trait de côte varie selon les transects. D'une manière générale, les transects situés au Nord ont les taux de recul les plus importants. Ainsi, en allant vers le Sud, on passe progressivement des zones érodées aux secteurs d'accumulation. Ce résultat est conforme au sens du transit littoral. Cependant, il est important de préciser que la progradation enregistré dans la zone aval transit, notamment sur la plage dite du lycée Léon Mba, est la conséquence de l'épi de l'hôtel Dialogue. De plus, ce tableau permet d'établir une comparaison des taux de recul pour les différents transects. Pour la période considérée, l'analyse du bilan de la dynamique du trait de côte suivant le profil longitudinal permet de mettre en évidence des zones plus dynamique que les autres. Quant aux engraisements enregistrés dans notre série pour la zone Sud, ils sont à mettre à l'actif de l'épi de l'hôtel Dialogue.

Il est important de préciser que les variations de la position de la limite de végétation ne sont pas toujours synonymes d'érosion ou d'accrétion de la plage. En effet, cette variation peut résulter de l'action de l'homme (stabilisation artificielle piétinement), ou tout simplement des effets saisonniers d'une manière générale (Morton et Speed, 1998 ; Robin, 2002 ; Juigner et *al.*, 2012). Ce sont là quelques facteurs dont il faut tenir compte dans l'interprétation des résultats, lorsqu'on utilise la limite de végétation comme indicateur du trait de côte (Faye, 2010).

### **5.3. Vulnérabilité face au recul du trait de côte**

L'utilisation de l'indice statistique *EPR* a permis d'obtenir des informations essentielles sur les vitesses de déplacement de la ligne de rivage. Les différents transects produits par DSAS ont favorisé une spatialisation des tendances d'évolution du trait de côte selon le profil longitudinal. Pour cela, les taux d'évolution calculés avec un intervalle de confiance de 90 % ont été discrétisés par la méthode de *Jenks*. Selon Cauvin et *al.* (1987), cette méthode repose sur la variance et correspond à la méthode des seuils observés. Adaptée pour discrétiser un grand nombre de valeurs, cette méthode permet de maximiser l'homogénéité des classes et d'accroître l'hétérogénéité celles-ci. Un dégradé discrétisation en cinq classes est appliqué pour représenter chaque classe allant du vert au rouge en passant par le jaune. Sur la Figure 81, ci-après, le vert symbolise l'accrétion, et du rouge au jaune foncé représente l'érosion.

**Figure 81:** Vulnérabilité à l'aléa érosion côtière du Lycée Léon Mba à la Baie d'Akouango selon la méthode de Jenks.



Source : Mouyalou V. M. T.

Cette figure permet d'avoir une vue d'ensemble de la vulnérabilité à l'érosion côtière. Les zones les plus vulnérables s'étendent de l'embouchure de la rivière Otendé au quartier résidentiel La Sablière, avec des taux de recul compris entre -2,07 m/an à -0,52 m/an. Dans le détail, les zones les plus vulnérables correspondent aux plus anthropisées. En effet, le secteur au Nord de la Baie d'Akouango, a fait et continue de faire l'objet de prélèvement de sables sur la plage intertidale. La conséquence de cette activité est l'étalement de la manifestation de l'érosion jusqu'au Sud du lieu-dit La Cocoteraie. Sur la Plage du Remorqueur, un pic érosif est également observé. Il s'agit d'un important recul du trait de côte lié à l'ouverture d'une nouvelle embouchure de la rivière Simba dans les années 2005-2006.

Les autres zones vulnérables de la Plage du Remorqueur sont également le champ de l'activité d'extraction du sable de plage pour les besoins des chantiers des particuliers. Enfin, la vulnérabilité enregistrée au niveau de la zone résidentielle de La Sablière peut être associée à la perturbation de la dynamique morpho-sédimentaire par les aménagements de tout ordre réalisés sur le haut de plage. Les Photos 35 à 38, ci-après, illustrent la manifestation de l'érosion côtière au Nord de notre zone d'étude.

**Photo 35:** Talus d'érosion au Sud de la rivière Otendé



Cliché : Mouyalou V. M. T, Décembre 2010.

**Photo 36:** Talus d'érosion à La Cocoteraie



Cliché : Koumba Mabert, Février 2012.

**Photo 37:** Talus d'érosion sur la Plage du Remorqueur



Cliché : Mouyalou V. M. T, Novembre 2011.

**Photo 38:** Cocotiers détruits par l'érosion côtière à La Cocoteraie



Cliché : Koumbi Tety H., mars 2012.

En dehors de ces secteurs fortement vulnérables à l'érosion côtière, la plage du Lycée Léon Mba a fait l'objet d'une mention spécifique. Cette plage, soumise à un remarquable phénomène d'accrétion, est dans un secteur non vulnérable protégé par l'épi de l'hôtel Dialogue. Depuis sa mise en place dans les années 70, cet épi est encore aujourd'hui suffisamment efficace pour favoriser un engraissement à son amont.

La notion de vulnérabilité permet, à travers l'évaluation de la tendance au recul du trait de côte, d'assimiler la notion de risque côtier. La vulnérabilité à l'érosion côtière fait intervenir la notion de sensibilité ou de degré d'exposition à l'aléa érosion. Les critères entrant dans une classification en terme de sensibilité peuvent être différents, selon les enjeux en présence (socio-économiques, biologiques, paysagers, patrimoniaux, etc.).

La carte de vulnérabilité à l'érosion côtière est indispensable à la sensibilisation des décideurs pour la mise en place d'un plan de gestion et d'aménagement de la côte. Cela est d'autant plus important que la zone Nord de la Baie d'Akouango fait l'objet d'une pression immobilière sans précédent.

#### **5.4. Prévision de l'évolution du trait de côte**

L'analyse de l'évolution du trait de côte et son effet sur les activités socio-économiques se rattache à la notion de risque côtier. Ainsi, dans le cadre de la mise en place d'un plan d'aménagement et de gestion de la zone côtière, il est fondamental d'analyser la cinématique du trait de côte en se conformant au tryptique « Passé-Present-Avenir ». Par rapport à l'avenir, l'une des principales préoccupations sera de fournir des informations convenables sur le sens de l'évolution de la zone côtière en général et du trait de côte en particulier. En considérant la cinématique du trait de côte de 1977 à 2013, des extrapolations de l'évolution future de la position du trait de côte ont été réalisées. Il est important de préciser que ces projections ont été faites en négligeant les processus markoviens responsables du caractère stochastique qui gouvernent l'évolution morphodynamique d'un système côtier. Ce résultat est également à considérer si l'on suppose que l'intensité des forçages reste constante.

Les différents pas de temps retenus sont respectivement dix, vingt, trente, cinquante et cent ans. Cette modélisation a été réalisée à partir du taux d'évolution moyen par an et par zone. Les transects T1115, T1297 et T1459 ont été retenus pour la partie Nord, T480, T649 et T757 pour le Centre et enfin, les transects T68 et T161 pour le Sud.

Le Tableau 14, ci-après, montre l'évolution du rivage de la zone d'étude dans dix, vingt, trente, cinquante et cent ans. Les valeurs négatives indiquent l'érosion.

**Tableau 14:** Prévision de l'évolution du trait de côte de 2013 à 2123 au niveau de quelques transects représentatifs de la zone d'étude

Transects	Taux moyens de 1977 à 2013 (m/an)		Evolution projetée du trait de côte (m)			
			2013- 2023 (10 ans)	2013- 2033 (20 ans)	2013- 2063 (50 ans)	2013- 2113 (100 ans)
T68	EPR	0,04	0,4	0,8	2	4
	LRR	0,01	0,1	0,2	0,5	1
T161	EPR	0,97	9,7	19,4	48,5	97
	LRR	0,71	7,1	14,2	35,5	71
T480	EPR	0,08	0,8	1,6	4	8
	LRR	0	0	0	0	0
T649	EPR	-0,68	-6,8	-13,6	-34	-68
	LRR	-0,81	-8,1	-16,2	-40,5	-81
T757		-0,36	-3,6	-7,2	-18	-36
	EPR	-0,46	-4,6	-9,2	-23	-46
T1115	LRR	-1,13	-11,3	-22,6	-56,5	-113
		-1,16	-11,6	-23,2	-58	-116
T1297	EPR	-0,6	-6	-12	-30	-60
	LRR	-0,54	-5,4	-10,8	-27	-54
T1459	EPR	-1,4	-14	-28	-70	-140
	LRR	-1,68	-16,8	-33,6	-84	-168

Source : Mouyalou V. M. T.

De plus l'évolution du trait de côte à différents termes du Tableau 14, ci-dessus, semble ne pas présenter un caractère inquiétant. Toutefois, au vue du mode d'implantation des populations directement sur le haut de plage, tout recul d'environ 5 mètres aura inexorablement des effets dommageables sur de nombreuses infrastructures. À titre d'exemple, le Boulevard du bord de mer, dont la bordure du trottoir se confond déjà avec le trait de côte sur la plage de Gué-Gué, pourrait être totalement détruit. C'est aussi le cas des habitations privées situées le long du quartier résidentiel de La Sablière qui sont déjà en position vulnérable. Les données présentées dans le Tableau 14 ci-avant montrent les résultats obtenus par la méthode des points extrêmes et la régression linéaire. Ceux-ci présentent quelques divergences. Cette variation est liée à l'évolution chaotique du trait de côte, qui alterne entre phases de progradation et d'érosion. D'une manière générale, la méthode LRR sous-estime le taux de variation par rapport à l'EPR (Dolan *et al.*, 1991 ; Genz *et al.*, 2007 ; Frazer *et al.*, 2009).

## 5.6. Calcul des bilans volumiques: approche basée sur l'aire

La méthode du calcul des bilans volumiques est basée sur la détermination des aires érodées. Cette technique est fondée sur la conception des traits de côte, en considérant l'espace compris entre deux traits de côte. Conceptuellement, la surface érodée est estimée en comparant les deux traits de côte extrêmes (Robin, 2002 ; Dehouck, 2006). On obtient alors un polygone en utilisant l'outil « *Feature to polygone* » du SIG, dont la superficie totale est calculée dans une table attributaire. Chaaban *et al.* (2012) démontrent l'utilisation fréquente de cette méthode pour les littoraux sableux à tendance rectiligne.

Les reculs côtiers obtenus à partir des traits de côte de 1977 et 2013 ont servi à calculer la section érodée. De plus, la hauteur moyenne du profil de plage correspondant à l'hypothèse basse a permis d'approcher les différentes configurations de la zone d'étude (Le Guern *et al.*, 2014). Cette méthode est approximative du fait de l'absence d'un modèle numérique de terrain, et du mode de calcul simplifié de la hauteur de la plage. Entre 1977 et 2013, la surface érodée ainsi calculée correspond  $252319 \text{ m}^2$ . Avec un profil dont la hauteur moyenne est de 3,3 m de hauteur, le volume érodé total de l'ordre est de  $832652,7 \text{ m}^3$ . Cela correspond à un transit de  $23129,24 \text{ m}^3/\text{an}$ . Le transit sédimentaire calculé dans notre travail est de moitié moins important que les valeurs de la littérature y relative. En effet, Bonnefille (1964) estime ce transit à  $41000 \text{ m}^3/\text{an}$ . Pour Becat (1995), le calcul effectué à partir des données de houles donne un transit de  $59557 \text{ m}^3/\text{an}$ . Cette disparité dans les résultats impose le couplage de méthodes plus élaborées pour le calcul du transit sédimentaire ; en prenant en compte aussi bien le domaine aérien que sous-marin. Toutefois, de notre point de vue, ce transit annuel semble être conforme à la réalité. En effet, les indices de vulnérabilité observés dans notre zone d'étude soutiennent ce résultat. Tel est le cas de la présence sur le haut de plage, en de plusieurs endroits, d'un mince liseré de sable alimenté par un transit littoral notablement insignifiant.

## 5.7. Estimation de la marge d'erreur dans la dynamique du trait de côte

Dans l'étude de la cinématique du trait de côte, plusieurs sources d'erreur influencent sa précision, et par conséquent les résultats des analyses (Crowell *et al.*, 1991 ; Durand, 2000 ; Moore, 2000 ; Fletcher *et al.*, 2003 ; Morton *et al.*, 2004 ; Morton *et al.*, 2005 ; Hapke *et al.*, 2006 ; Juigner *et al.*, 2012 ; Moussaid *et al.*, 2015). Les trois principaux facteurs d'imprécision sont liés aux données utilisées, à la méthode et aux techniques de traitement.

La première source est l'erreur pixel, qui correspond à la résolution des images. La deuxième source est l'orthorectification avec l'erreur RMS totale, qui est la moyenne des erreurs RMS produits par ArcGIS lors du calage des images. La troisième est l'erreur de digitalisation. Elle correspond à la moyenne des écarts maximum enregistrés en comparant plusieurs traits de côte digitalisés pour la même date. Cette erreur est liée à la sensibilité visuelle de celui qui digitalise le trait de côte. L'erreur de position globale (résultats sur le long terme) pour un trait de côte est calculée en prenant la racine carrée de la somme des carrés de chaque erreur (Fletcher *et al.*, 2003 ; Hapke *et al.*, 2006 ; Moussaid *et al.*, 2015). Le Tableau 15, ci-après, présente le calcul des erreurs sur le long terme.

**Tableau 15:** Synthèse des erreurs de l'analyse de la cinématique du trait de côte par année.

Sources d'erreur	Années					
	2013	2008	2003	1990	1984	1977
Erreur pixel	0,082	0,400	0,370	1,200	0,350	0,600
Erreur d'orthorectification (RMS)	0,526	/	0,000	0,000	0,000	0,000
Erreur de digitalisation	0,578	0,493	0,632	0,776	0,599	0,289
Erreur globale (m)	0,786	0,635	0,732	1,429	0,694	0,666

Source : Mouyalou V. M. T.

Le calcul des erreurs par tranche périodique a également été effectué. Ces erreurs peuvent être annualisées, en calculant la racine carrée de la somme des carrés de l'erreur globale de chaque date divisée par le temps écoulé entre ces deux dates (Fletcher *et al.*, 2003 ; Hapke *et al.*, 2006 ; Juigner *et al.*, 2012 ; Moussaid *et al.*, 2015). Le Tableau 16, ci-après présente les incertitudes périodiques calculées pour notre série de données.

**Tableau 16:** Synthèse des erreurs liées à l'analyse de la cinématique du trait de côte par période.

Période	1977-1984	1984-1990	1990-2003	2003-2008	2008-2013
Erreur globale (m/an)	0,30	0,35	0,16	0,43	0,43
Erreur globale (m)	0,71	0,68	1,081	1,061	0,68

Source : Mouyalou V. M. T.

L'analyse des erreurs périodiques nous a également permis d'estimer l'erreur enregistrée pour les différents transects lors, de la variation du trait de côte. Pour la période 1977-2013, elle est de  $\pm 0,33$  m/an. Au-delà de cette erreur, la combinaison de toutes les sources d'erreur (pixel, géo-référencement, digitalisation) aboutit à une erreur globale de  $\pm 4,94$  m.

L'analyse diachronique des photographies aériennes (1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013) a permis d'étudier la cinématique du trait de côte de l'hôtel Dialogue à Akouango Village soit un linéaire côtier de 15 km.

L'utilisation d'un SIG couplé à l'extension DSAS a permis de prendre en compte les indices statistiques (EPR et LRR). Ces indices statistiques ont mis en évidence les différents taux de variation du trait de côte. Il ressort de cette analyse que la position du trait de côte a alterné entre phases d'érosion et d'engraissement, même si la tendance globale est au recul. Les vitesses de variation du trait de côte ont été calculées le long de 1486 transects espacés de 10 m. Une différenciation géographique a été observée dans la dynamique du trait de côte. En effet, un taux moyen d'érosion d'environ -1.16m/an a été estimé pour la zone Nord. Cependant des vitesses sectorielles de recul le long de certains transects dans la partie Nord peuvent atteindre jusqu'à -1,35 mètres par an. À l'opposé, une vitesse d'accrétion moyenne de l'ordre de +0,52 mètre par an a été observée dans la Zone sud.

La prédiction des mouvements futurs du trait de côte a été réalisée en utilisant une extrapolation des vitesses moyennes de changements annuels. Le littoral à court terme (2033) pourra reculer d'au moins  $-28 \pm 4,94$  mètres dans la zone Nord. De même, la récession moyenne du rivage dans l'année 2063 pourra atteindre  $-70 \pm 4,94$  mètres. À long terme (2113), le littoral occidental sera érodé de  $140 \pm 4,94$  mètres.

Pour la période d'étude, le recul du trait de côte a érodé une surface totale de 252319 m<sup>2</sup>. L'utilisation d'un calcul simplifié basé sur la hauteur moyenne de la plage (3,3 m) fournit un transit annuel de 23129,24 m<sup>3</sup> pour la période considérée.

Enfin, une carte de vulnérabilité à l'érosion côtière a été élaborée. Cette matérialisation de vulnérabilité à l'érosion côtière doit servir de base pour orienter les futures politiques de gestion et d'aménagement de la zone côtière, principalement dans la zone Nord de la Baie d'Akouango.

*In fine*, le caractère morphodynamique de la zone d'étude a été mis en évidence à travers l'utilisation des profils de plages et la cinématique du trait de côte. L'étude de l'évolution des profils transversaux de plage a été effective grâce à un suivi périodique d'un réseau de profils topographiques implantés le long de la côte. Les différents états des plages et l'enveloppe des mouvements sédimentaires ont permis de mettre en évidence les tendances évolutives des dites plages. En outre, l'analyse comparative a conduit à la détermination des volumes de sédiments mobilisés au cours de la période d'étude, par l'application de la méthode dite de trapèze.

**TROISIEME PARTIE :**

**LES PARAMETRES SEDIMENTOLOGIQUES DE  
LA PLAGE INTERTIDALE DE LA COTE NORD  
DE LIBREVILLE**

La troisième partie est articulée autour de quatre chapitres, englobant les éléments relatifs à la sédimentologie des plages du segment concerné. Les différents résultats des analyses sédimentologiques permettent d'étudier le fonctionnement hydro-sédimentaire de la zone littorale au cœur de notre étude. Ainsi, une bonne connaissance de la dynamique sédimentaire est indispensable pour tout projet d'aménagement et de gestion de la zone côtière, en lien avec la problématique de l'érosion côtière.

Les éléments pris en compte dans notre analyse sont les suivants: *primo*, les indices paramétriques ; *deuxio*, les classes granulométriques ; *tertio*, les valeurs modales et, *quatro*, les autres expressions d'analyses que sont la morphoscopie, la minéralogie et la calcimétrie.

L'analyse des indices paramétriques et des classes granulométriques par point de prélèvement, par profil transversal et suivant le profil longitudinal permet de mieux caractériser les différentes sources d'approvisionnement des sédiments en présence.

L'analyse modale quant à elle, est une méthode pour mettre en évidence les différentes associations de modes granulométriques dans la composition des sédiments superficiels, ainsi que leurs variabilités interannuelles. Cela est indispensable pour caractériser les différents gisements sableux présents dans la zone étudiée.

Les autres éléments d'analyse concernent les processus au cœur de la mise en place des dépôts sont mis en évidence par les éléments d'analyses complémentaires. Il s'agit des analyses morphoscopiques, minéralogiques et calcimétriques des sédiments superficiels de la plage intertidale. La morphoscopie se rattache à la nature et l'origine des matériaux sableux présents sur nos plages. La minéralogie permet d'établir un lien avec le cortège du bassin versant traversé. Enfin, la calcimétrie permet d'établir l'origine détritique ou biodétritique de sédiments en présence.

## CHAPITRE 6: LES INDICES PARAMETRIQUES DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGE INTERTIDALE

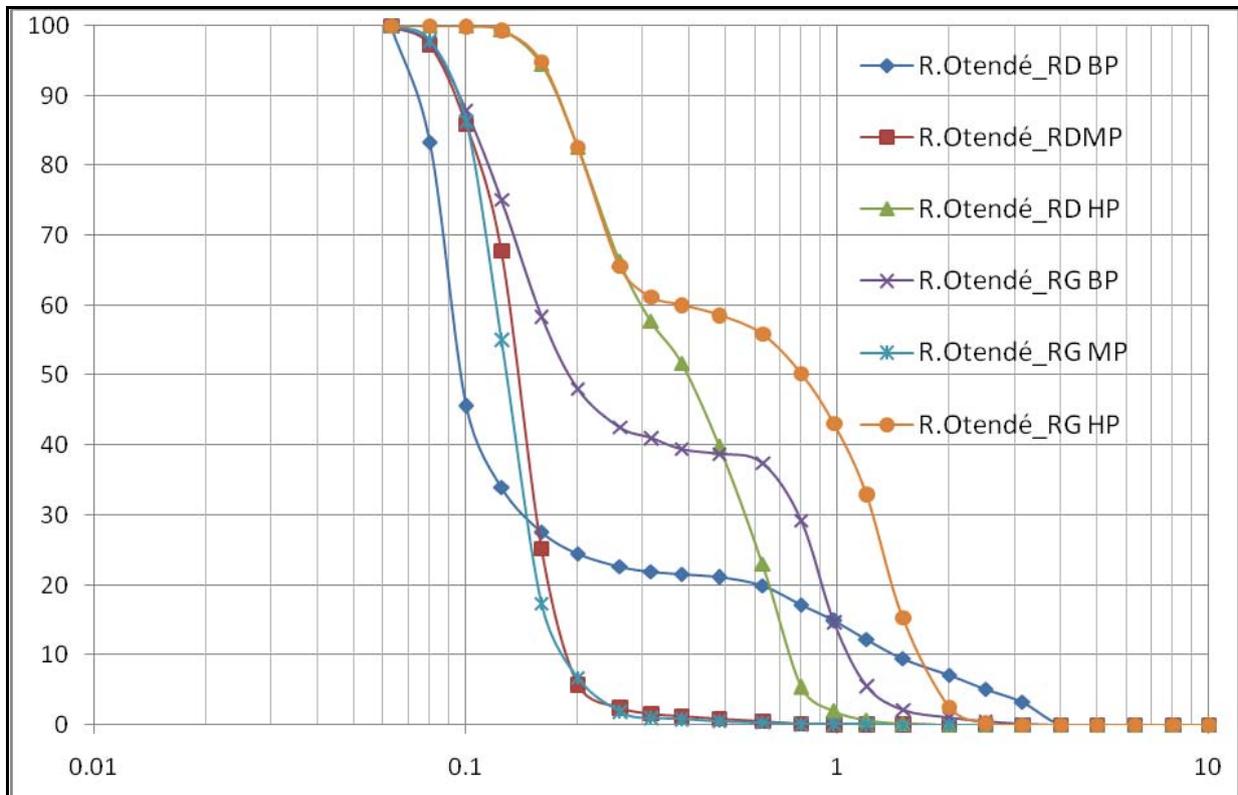
L'analyse granulométrique a largement été utilisée en sédimentologie pour expliquer les processus de transports et de sédimentation, à travers l'étude de la distribution des paramètres granulométriques (Udden, 1914; Pinot, 1993). Ceux-ci dépendent principalement du disponible sédimentaire et des conditions hydrodynamiques qui régissent les processus de transports et de sédimentation (Muzuka and Shaghude, 2000). Le présent travail s'inscrit dans ce sens. Le but visé est l'analyse de la dynamique sédimentaire de la plage intertidale entre l'hôtel Dialogue et le complexe touristique Akouango Village.

Dans des cas analogues, la méthode de Gao & Collins (1992) est largement utilisée en sédimentologie pour l'étude de la dynamique sédimentaire. L'originalité de cette méthode réside dans l'utilisation simultanée des trois paramètres statistiques usuels (médiane, Sorting et Skewness), pour mettre en évidence les filiations entre les différents sédiments d'un système côtier, et exprimer ensuite les résultats pour analyser les différentes directions de transport sédimentaire (Vanwesenbeeck & Lanckneus, 2000 ; Gao & Collins, 2001 ; Poizot et *al.*, 2006).

Cela passe par la cartographie de la distribution spatiale de ces trois paramètres granulométriques usuels. Laquelle cartographie fournit des informations sur la provenance des sédiments, et les conditions de dépôt pour chaque type d'environnement sédimentaire (Friedman, 1979 ; Bui et *al.*, 1990).

Cependant, le calcul de ces indices n'a de sens que dans le cas des échantillons unimodaux. Ce qui n'est pas le cas pour nos données, pour lesquelles les résultats mettent en évidence un mélange de plusieurs populations modales avec des courbes de tous les types: parabolique, sigmoïde et logarithmique. La Figure 82, ci-après, présente quelques exemples de courbes cumulées semi-logarithmiques pour des échantillons collectés au niveau de la rivière Otendé.

**Figure 82:** Courbes cumulées semi-logarithmiques des sables superficiels des profils Otendé au Nord de la Baie d’Akouango.



Source : Mouyalou V. M. T.

On observe plusieurs courbes cumulées ayant chacune un aspect propre témoignant de la diversité des propriétés physiques des sédiments au niveau d’une plage. En effet, comme l’illustre la figure ci-avant, sur la même plage selon que l’on soit au bas de plage, la moyenne plage ou le haut de plage, on peut avoir des sédiments très différents. Cette hétérogénéité se note aussi bien en termes de la taille des sédiments que de leur caractère unimodal ou plurimodal. Afin d’avoir une vue d’ensemble de la nature et des types de courbes cumulées semi-logarithmiques que l’on rencontre sur les plages étudiées, une compilation a été faite (Annexe 5, p. 311). Cette compilation permet également de mettre en évidence la contribution des différents caractères modaux dans les sédiments analysés.

Le Tableau 17, ci-après, illustre la répartition des proportions respectives des différents caractères modaux pour l’ensemble des échantillons. En effet, sur les 114 échantillons analysés, près de 72% des sédiments sont plurimodaux avec 50,88 % pour le caractère bimodal et 21,05 % pour le trimodal, contre 28,07 % unimodaux.

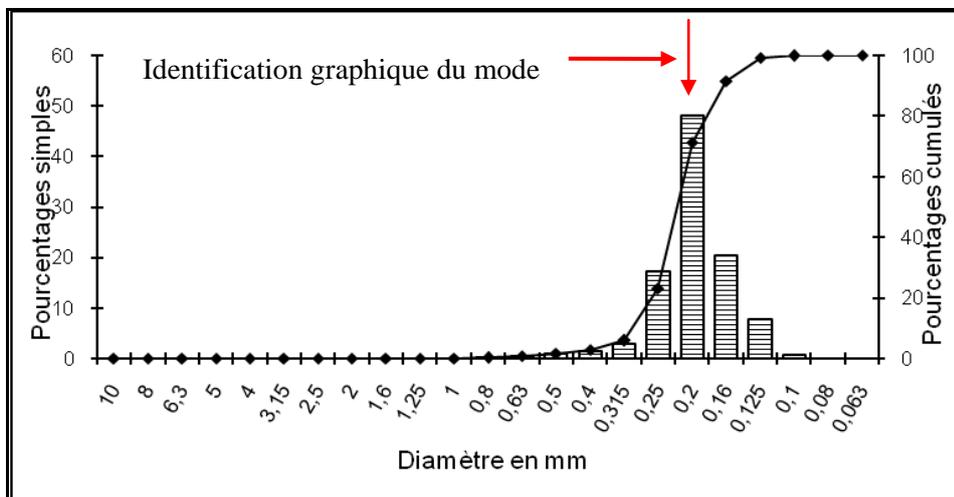
**Tableau 17:** Répartition modale des sédiments intertidaux dans la zone d'étude.

CARACTERE	NOMBRE D'ECHANTILLONS	POURCENTAGE
<b>Unimodal</b>	32	28,07 %
<b>Bimodal</b>	58	50,88 %
<b>Trimodal</b>	24	21,05 %
Totaux	114	100 %

Source : Mouyalou V. M. T.

Les Figures 83 à 85, ci-après, présentent les différents types d'association modale des sédiments intertidaux de l'hôtel Dialogue au complexe touristique Akouango Village.

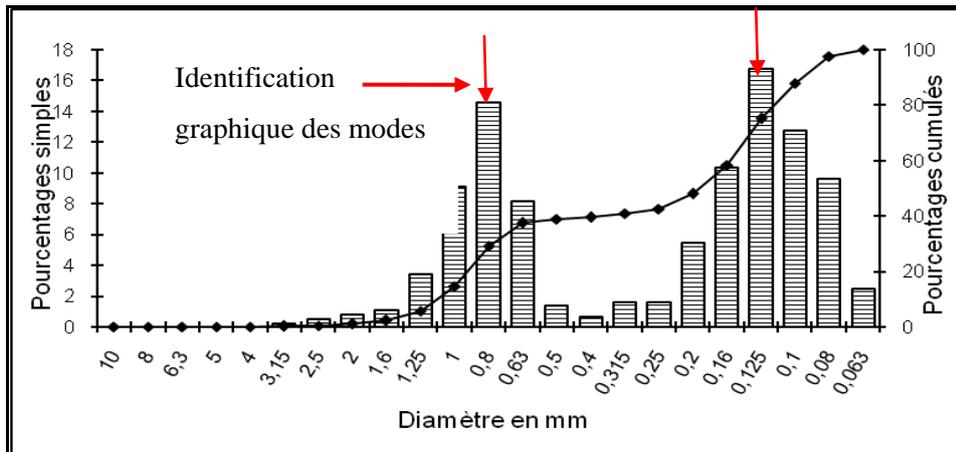
**Figure 83:** Exemple d'identification graphique du mode pour un échantillon unimodal de sables intertidaux du profil Gué-Gué.



Source : Mouyalou V. M. T.

Dans le cas de cette figure 83, la valeur du mode est de 0,2 mm, correspondant aux sables fins.

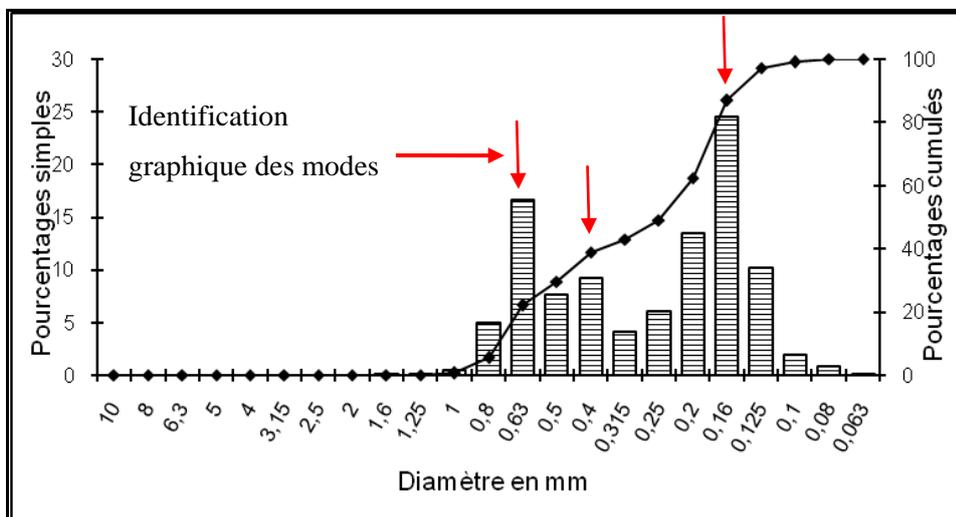
**Figure 84:** Exemple d'identification graphique des modes pour un échantillon bimodal de sables intertidaux du profil R. Simba1-RD



Source : Mouyalou V. M. T.

Dans le cas de cette figure 84 ci-avant, le sédiment total est composé par l'association de deux modes. Les valeurs sont respectivement de 0,8 mm (sable grossier) et 0,125 mm (sable très fin).

**Figure 85:** Exemple d'identification graphique des modes pour un échantillon trimodal de sables intertidaux du profil R. Otende\_RG.



Source : Mouyalou V. M. T.

La figure 85, ci-dessus, est caractéristique d'un sédiment composé par l'association de trois modes. Les valeurs des modes sont de 0,63, 0,4 et 0,16 mm. Ces modes correspondent respectivement aux sables grossiers, sables moyens et aux sables fins.

L'analyse des caractéristiques granulométriques des sédiments superficiels de la plage intertidale est un préalable nécessaire à l'étude de la dynamique hydrosédimentaire. Celle-ci se base sur l'utilisation de trois indices paramétriques usuels utilisés en sédimentologie que sont la médiane, le triage et l'asymétrie. Ces indices fournissent des informations capitales sur l'origine, l'historique du déplacement et les conditions de transport et de dépôt des sédiments (Friedman, 1979 ; Bui et *al.*, 1990). Toutefois, il est important de préciser que ces paramètres granulométriques n'ont de sens que pour les échantillons unimodaux. Car, le défaut de cette méthode est de fondre en un même calcul, dans le cas de distributions multimodales, des percentiles appartenant à un mélange de différentes populations granulométriques. De ce fait la méthode de Gao et Collins (1992) n'a pas de sens ici. Nous avons alors fait recours à d'autres méthodes d'analyse non paramétriques, qui permettent de caractériser les sédiments en milieu côtier. Il s'agit, entre autres, de l'analyse des classes granulométriques (Wentworth 1922 ; Blair and McPherson 1999) et de l'analyse modale telle que définie par Barusseau (2011). Toutefois, Il est néanmoins important de signaler que la méthode paramétrique a été utilisée ici pour des cas spécifiques d'échantillons unimodaux, pour déterminer les différentes sources de sédiments ainsi que les différents environnements de dépôt.

### **6.1. L'analyse paramétrique**

La détermination des indices paramétriques se fait à partir du traitement des données brutes. Dans le présent travail, les données brutes sont consignées sous la forme d'une planche (Annexe 6, p. 315). Celle-ci présente les différents tamis utilisés (correspondant à la progression AFNOR allant de 10 mm à 63 microns), avec les poids simples et cumulés obtenus (exprimés en grammes) pour chaque échantillon. Sur cette planche on trouve également une courbe cumulative semi logarithmique, un tableau récapitulatif de l'ensemble des paramètres granulométriques et les principaux percentiles indispensables pour le calcul des indices paramétriques.

L'analyse paramétrique exprime, par une valeur numérique, les différentes propriétés de la courbe granulométrique (courbe représentant le pourcentage cumulatif des masses des différentes particules en fonction de leur taille). L'intérêt de la méthode est le caractère qualitatif de l'analyse. En outre, elle est employée (à travers l'usage de la médiane, de l'indice de triage et de l'asymétrie) pour évaluer des critères utiles à l'étude de la dynamique hydrosédimentaire. Dans nos différentes séries de données, très peu d'échantillons présentent le caractère unimodal, ce qui ne permet pas d'avoir une vue totale et de façon continue de la variation de ces indices sur l'ensemble de la zone d'étude. Néanmoins, il nous est tout de

même paru capital d'analyser la variabilité spatio-temporelle (2011, 2012 et 2014) des indices paramétriques calculés pour le cas des échantillons unimodaux. L'objectif ici a été de caractériser, pour chaque point de prélèvement (haut de plage, moyenne plage et bas de plage), les sédiments superficiels et, par voie de conséquence, les processus de transport et de sédimentation en lien avec les paramètres de la marée précédant nos prélèvements.

L'analyse de la variation spatio-temporelle des indices paramétriques a été réalisée en comparant les différents points de prélèvement suivant le profil longitudinal. De notre point de vue, cette approche permet de mieux apprécier les différences au niveau des caractéristiques sédimentologiques tout d'abord pour le bas, ensuite la moyenne et enfin le haut de plage intertidale.

### 6.1.1. Les indices pour les échantillons du bas de plage intertidale

Le Tableau 18, ci-après, présente les indices granulométriques pour l'ensemble des échantillons unimodaux du bas de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014. Sur un total de 38 échantillons de bas de plage pour l'ensemble de nos trois séries de données, 7 sont unimodaux localisés au niveau de 4 profils. Il s'agit principalement des profils Dialogue, Gué-Gué, P13 et Plage du Remorqueur.

**Tableau 18:** Comparaison des indices granulométriques des échantillons du bas de plage entre l'hôtel Dialogue et la plage du Remorqueur pour les séries 2011, 2012 et 2014.

PROFILS	ANNEES	Médiane ( $\Phi$ )	Diamètre moyen ( $\Phi$ )	Ecart-type (Sorting) ( $\Phi$ )	Indice d'asymétrie (Skewness)	Médiane ( $\mu\text{m}$ )	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Ecart-type ( $\mu\text{m}$ )
Dialogue	2011	2,460	2,480	0,360	0,100	181	179	778
	2012	2,470	2,480	0,350	0,130	179	179	782
	2014	2,590	2,630	0,320	0,190	166	161	802
Gué-Gué	2011	2,180	2,190	0,360	0,030	221	219	778
	2012	2,060	2,070	0,410	-0,030	239	238	751
P13	2011	0,910	1,060	0,700	0,340	532	481	614
Plage du Remorqueur	2012	0,640	0,640	0,680	0,070	643	642	623

Source : Mouyalou V. M. T.

#### 6.1.1.1. La médiane

Pour l'ensemble des 7 échantillons unimodaux du bas de plage, l'analyse de la médiane révèle une certaine hétérogénéité. En effet, près de 70% des cas oscillent entre 2,59

$\Phi$  et  $0,64 \Phi$  (soit entre  $166 \mu\text{m}$  et  $643 \mu\text{m}$ ). Seuls 15% des échantillons ont une médiane supérieure à  $2,5 \Phi$ , et donc inférieure à  $175 \mu\text{m}$  ; les deniers 28% des échantillons ont une médiane inférieure à  $2 \Phi$  et donc supérieure à  $250 \mu\text{m}$ . De ce fait, la totalité des échantillons varie des sables fins à grossiers. On observe globalement une diminution de la médiane, depuis le profil Plage du Remorqueur à celle de l'hôtel Dialogue. En effet, les sables sont grossiers au niveau des profils Plage du Remorqueur et P13, et fins à Gué-Gué et Dialogue. Cela témoigne d'un affinement des particules conformément au sens de la dérive littorale, qui s'effectue du Nord vers le Sud.

La moyenne pour l'ensemble des échantillons du bas de plage est de  $1,9 \Phi$  soit  $308 \mu\text{m}$ , correspondant au sable moyen. Les échantillons aux médianes correspondant aux matériaux grossiers et détritiques ont deux origines possibles. Il s'agit des éléments siliceux lithoclastiques (débris de roches), ou calcaires, appelés bioclastiques (principalement des débris coquilliers). A ces deux types s'ajoutent les éléments d'origine anthropique composés le plus souvent des débris latéritiques et de ciments issus de la destruction d'anciennes constructions par l'érosion côtière, dont les dépôts les plus grossiers se retrouvent préférentiellement au niveau du bas de plage.

#### 6.1.1.2. L'Indice de Triage

La clef d'appréciation de l'Indice de Triage est présentée par le Tableau 19, ci-après.

**Tableau 19:** Valeurs d'appréciation de l'Indice de Triage.

QUALIFICATION	VALEURS ( $\sigma$ )
Très bien trié	$\sigma < 0,35$
Bien trié	$0,35 < \sigma < 0,5$
Assez bien trié	$0,5 < \sigma < 0,7$
Assez peu trié	$0,7 < \sigma < 1$
Peu trié	$1 < \sigma < 2$
Très peu trié	$2 < \sigma < 4$
Extrêmement peu trié	$\sigma > 4$

Source : Mouyalou V. M. T.

Cet indice montre la dispersion des tailles de particules par rapport à la moyenne. D'une manière générale, les sédiments sont globalement très bien à assez bien triés. Dans le détail, on obtient les proportions suivantes : 14%, 57% et 29% correspondant respectivement aux sédiments très bien triés, bien triés et assez bien triés. Pour l'ensemble des échantillons, aucun cas de sédiment très peu à extrêmement peu trié n'a été mis en évidence. La moyenne

pour l'ensemble de la zone d'étude est de  $0,45 \Phi$  (soit  $732 \mu\text{m}$ ), ce qui correspond à un sédiment bien trié. Ici, les cas de mauvais triage sont ceux correspondant uniquement aux courbes multimodales (mélange de populations qui ne sont pas prises en compte dans cette partie d'analyse).

L'analyse de cet indice permet aussi de caractériser les processus de transport et de sédimentation dans la zone d'étude. En effet, la présence d'un sable bien trié peut être utilisée comme un indicateur d'un secteur côtier stable, où les processus de transport et de sédimentation sont en adéquation avec les conditions hydrodynamiques et, aussi, avec le disponible sédimentaire. Ce résultat est conforme à la stabilité observée au niveau de l'hôtel Dialogue et, aussi, avec le fait de sa position en aval du transit sédimentaire, depuis le Nord où les courants marins ont eu largement le temps de faire aboutir un excellent triage. En effet, la distribution spatiale de l'indice du triage tient également compte du sens de la dérive littorale. Les meilleurs triages sont mis en évidence au niveau des échantillons du profil Hôtel Dialogue situés en aval transit de la dérive littorale. Le manque notoire de variabilité interannuelle dans ces résultats conforte davantage notre analyse dans ce sens.

### 6.1.1.3. L'indice d'asymétrie

La clef d'appréciation de l'indice d'Asymétrie est présentée par le Tableau 20, ci-après.

**Tableau 20:** Valeurs d'appréciation de l'indice d'Asymétrie.

QUALIFICATION	VALEURS
Très asymétrique vers les fines	$Sk_{\phi} > 1,3$
Asymétrique vers les fines	$0,43 < Sk_{\phi} < 1,30$
Presque symétrique	$-0,43 < Sk_{\phi} < 0,43$
Asymétrique vers les grossiers	$-0,43 < Sk_{\phi} < -1,30$
Tres asymétrique vers les grossiers.	$Sk_{\phi} < -1,3$

Source : Mouyalou V. M. T.

L'indice d'Asymétrie positif traduit un enrichissement en particules fines. À l'inverse, un indice négatif traduit une tendance vers les particules plus grossières. Dans le cas de notre étude, les sédiments analysés permettent de mettre en évidence trois types d'asymétrie. En effet, il s'agit de : 43% des sédiments qui se caractérisent par une asymétrie vers les fines, 43% presque symétriques et 14% très asymétriques vers les fines. Notons que les distributions presque symétriques, correspondant aux échantillons des profils Gué-Gué et Dialogue, sont

caractéristiques des sédiments évolués que l'on retrouve fréquemment en milieu marin. Il s'agit ici de l'empreinte du triage effectué par les courants marins lors du transit littoral. La moyenne générale pour l'ensemble de la zone d'étude est de 0,11, soit une asymétrie positive traduisant une prépondérance de particules fines par rapport à la moyenne.

L'indice d'asymétrie permet également de caractériser nos sédiments sur le plan de la contribution respective des classes grossières et fines. Ici, les résultats illustrent le caractère minoritaire des classes grossières, dans la composition des sables superficielles des estrans, sur l'ensemble de la zone d'étude. Cela est conforme à l'absence d'asymétrie négative symbolisant la dominance des particules grossières.

### 6.1.2. Les indices paramétriques pour les échantillons de la moyenne plage

Le Tableau 21, ci-après, présente les indices paramétriques pour l'ensemble des échantillons unimodaux de la moyenne plage pour les séries 2011, 2012 et 2014. Sur un total de 38 échantillons analysés au niveau de la moyenne plage, 12 correspondent à 6 profils présentant le caractère unimodal, indispensable pour la détermination des indices paramétriques. Il s'agit principalement des profils Dialogue, CES, Lycée\_E, H. Tropicana et La Cocoteraie.

**Tableau 21:** Comparaison des paramètres granulométriques des échantillons de la moyenne plage de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011,2012 et 2014.

PROFILS	Années	Médiane (Φ)	Diamètre moyen (Φ)	Ecart-type (Sorting) (Φ)	Indice d'asymétrie (Skewness)	Médiane (µm)	Diamètre (µm)	Ecart-type (µm)
Dialogue	2011	2,530	2,570	0,300	0,180	173	168	811
	2012	2,480	2,490	0,320	0,070	179	178	798
	2014	2,600	2,640	0,310	0,190	164	161	808
Gué-Gué	2012	2,230	2,240	0,370	0,060	213	212	774
CES	2014	2,2	2,2	0,35	-0,02	218	218	784
Lycée_E	2011	2,070	2,050	0,330	-0,140	238	242	795
	2012	2,150	2,150	0,330	0,010	226	226	795
H. Tropicana	2014	2,2	2,2	0,35	-0,02	218	218	784
	2012	2,080	2,070	0,470	-0,060	237	237	722
Cocoteraie	2011	2,210	2,260	0,360	0,060	216	209	778
	2012	2,040	2,080	0,300	0,270	243	236	811
	2014	2,430	2,430	0,310	0,130	186	186	804

Source : Mouyalou V. M. T.

### **6.1.2.1. La médiane**

Les résultats de l'analyse de la médiane révèlent une relative homogénéité entre les différents échantillons. En effet, 100% des échantillons correspond à des sables fins, avec une moyenne de 2.26  $\Phi$  (209  $\mu\text{m}$ ) pour l'ensemble de la zone d'étude.

Au niveau de la moyenne plage, les échantillons unimodaux sont présents sur une grande partie de la zone d'étude. Cela permet de mieux apprécier la distribution spatiale de la médiane dans la zone d'étude, en ce qui concerne les échantillons de la moyenne plage. D'une manière générale, ces données permettent de mettre en évidence l'affinement des particules du Nord vers le Sud conformément au sens de la dérive littorale ; même si certaines valeurs viennent de façon inattendue remettre en cause cette linéarité. En effet, les valeurs de médiane les plus importantes sont mises en évidence au niveau des profils situés en amont transit de la zone d'étude. C'est le cas des profils La Cocoteraie et H. Tropicana, où l'on enregistre des médianes supérieures à 200  $\mu\text{m}$ . Contrairement aux prélèvements du profil Dialogue, dont la médiane varie entre 178 et 164  $\mu\text{m}$ . Les valeurs les plus importantes sont localisées au niveau des profils La Cocoteraie et H. Tropicana. Cela peut se justifier par les actions anthropiques, notamment les barrières et les cordons d'enrochement érigés sur la plage et le haut de plage, qui modifient les conditions de transport et de sédimentation. Ainsi, les conditions particulièrement agitées, produites par la réflexion des vagues sur ces structures rigides, ont pour conséquence de favoriser une sédimentation particulièrement "grossière", par rapport aux autres profils.

### **6.1.2.2. L'indice de triage**

La clef d'appréciation de cet indice est représentée dans le Tableau 19, ci-avant. D'une manière générale, les sédiments sont globalement très bien triés à bien triés. Dans le détail, on obtient les proportions suivantes : 67% et 33% correspondant respectivement aux sédiments très bien triés et bien triés. Les échantillons, qui présentent un meilleur triage, se situent préférentiellement au niveau du profil Dialogue, mais aussi au niveau de La Cocoteraie. Pour ces deux profils, cette situation est conforme à l'idée selon laquelle le triage de sédiment s'améliore avec la dérive littorale. Pour l'ensemble de ces échantillons, aucun cas de sédiment mal trié n'a été mis en évidence. Une fois de plus, les cas de mauvais triage dans notre zone d'étude sont ceux correspondant uniquement à des échantillons plurimodaux. La moyenne pour l'ensemble est de 0,342  $\Phi$  (soit 209.25  $\mu\text{m}$ ), ce qui correspond à un sédiment très bien trié. La distribution spatiale de l'indice de triage tient également compte du sens de la dérive

littorale. En effet, le meilleur triage est mis en évidence au niveau des échantillons des profils situés en aval transit, notamment Dialogue et Gué-Gué.

Ainsi, peut-on conclure que dans le cas des échantillons de la moyenne plage, les sédiments dits grossiers sont souvent associés à un mauvais triage. Une fois de plus, une corrélation est faite avec l'influence des facteurs anthropiques dans la distribution spatiale des conditions de triage.

### **6.1.2.3. L'indice d'Asymétrie**

La clef d'appréciation de cet indice est présentée par le Tableau 20, ci-avant. Lorsque cet indice est positif, il traduit un enrichissement en particules fines. À l'inverse, un indice négatif traduit une tendance vers les particules plus grossières. Dans notre cas, la totalité des sédiments analysés est presque symétrique (100%). Il est à noter que les sédiments presque symétriques correspondent aux caractéristiques des sédiments quasi évolués que l'on retrouve fréquemment en domaine marin, contrairement au milieu fluvial ou à l'embouchure d'un fleuve où les sédiments n'ont encore subi aucun triage. La moyenne générale pour l'ensemble de la zone d'étude est de  $0,061 \Phi$ , soit une asymétrie positive traduisant la présence de particules fines. Par rapport à ces données, l'asymétrie indique finalement une prépondérance de particules fines par rapport à la moyenne. Cette conclusion est conforme aux résultats obtenus pour les échantillons du bas de plage.

### **6.1.3. Les indices paramétriques pour les échantillons du haut de plage**

Le Tableau 22, ci-après, présente les indices paramétriques de l'ensemble des échantillons unimodaux du haut de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014. Sur un total de 38 échantillons analysés au niveau du haut de plage, 11 correspondent à 11 profils présentant le caractère unimodal indispensable pour la détermination des indices paramétriques. Principalement du Sud au Nord, il s'agit des profils Dialogue, Gué-Gué, Lycée\_E, H. Tropicana, Villa\_P\_PR, Plage du Remorqueur, La Cocoteraie, R. Otende\_RG et Akouango V., Par rapport aux autres points de prélèvement, on observe que les échantillons unimodaux sont plus répandus au niveau du haut de plage.

**Tableau 22:** Comparaison des paramètres granulométriques des échantillons du haut de plage de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014.

PROFILS	ANNEES	Médiane (Φ)	Diamètre moyen (Φ)	Ecart-type (Sorting) (Φ)	Indice d'asymétrie (Skewness)	Médiane (µm)	Diamètre (µm)	Ecart-type (µm)
Dialogue	2011	2,330	2,340	0,260	0,130	198	197	837
Gué-Gué	2011	2,290	2,310	0,310	0,070	204	201	808
Lycée_E	2011	1,900	1,800	0,470	-0,380	268	286	720
	2012	1,930	1,850	0,510	-0,240	262	277	704
H. Tropicana	2014	1,99	1,86	0,52	-0,33	252	272	700
Villa_P_PR	2014	1,15	1,21	0,67	0,15	451	433	627
Plage du remorqueur	2012	0,750	0,810	0,670	0,160	596	571	630
R. Simba 1-RD	2012	0,940	1,060	0,730	0,210	521	479	602
Cocoteraie	2011	2,230	2,280	0,300	0,250	213	205	811
R. Otende_RG	2012	2,120	2,010	0,600	-0,350	230	249	660
Akouango V.	2014	2,51	2,53	0,34	0,08	176	173	790

Source : Mouyalou V. M. T.

### 6.1.3.1. La médiane

Les résultats de l'analyse de la médiane révèlent une certaine hétérogénéité. En effet, elle varie de 0,75 Φ à 2,51 Φ (soit de 176 µm à 596 µm) correspondant respectivement aux sables fins, moyens et grossiers. La distribution des valeurs de la médiane dans notre série d'échantillons nous permet d'obtenir les proportions suivantes : 45,45% de sables fins, 36,36% de sables moyens et enfin 18,18% de sables grossiers. La moyenne pour l'ensemble de la zone d'étude est de 1,831 Φ, soit 306,45 µm, correspondant aux sables moyens. Les échantillons unimodaux du haut de plage sont plus répandus dans la zone d'étude, comparativement à ceux du bas et de la moyenne plage. En effet, suivant le profil longitudinal leur distribution spatiale permet de mieux mettre en évidence le lien entre la localisation géographique et la nature des sédiments. La distribution spatiale de ces trois classes granulométriques mise en évidence ici, dans notre série du haut de plage, s'explique par plusieurs facteurs. Il s'agit des conditions de transport et de sédimentation qui dépendent, d'une part, du transit sédimentaire, et d'autre part, de l'influence des facteurs anthropiques sur les processus hydrodynamiques.

### **6.1.3.2. L'indice de triage**

La clef d'appréciation de cet indice est présentée dans le Tableau 19, ci-avant.

Pour l'ensemble de nos échantillons, les sédiments présentent une diversité d'indice de triage. Dans le détail, on obtient les proportions suivantes : 36,36% ; 9,09% ; 45,45% ; 9,09% correspondant respectivement aux sédiments très bien triés, bien triés, assez bien triés et, enfin, assez peu triés. La moyenne pour l'ensemble des échantillons est de 0.48  $\Phi$  correspondant aux sables bien triés. Les échantillons, qui présentent un meilleur triage, se situent préférentiellement au niveau des profils Dialogue, Gué-Gué et aussi Akouango Village, qui se situent en aval transit de la dérive littorale.

Toutefois, il faut rappeler l'existence d'une dérive littorale orientée vers le Nord au nord de la Baie d'Akouango. Ce meilleur triage est conforme aux résultats obtenus à la fois pour les sédiments du bas et de la moyenne plage, pour lesquels le triage s'améliore avec le transit littoral. En effet, la distribution spatiale de l'indice de triage dépend du sens de la dérive littorale. C'est ce processus qui justifie l'amélioration du triage au niveau des échantillons des profils situés en aval transit notamment Dialogue, Gué-Gué et Akouango Village. Pour l'ensemble de ces échantillons du haut de plage, aucun cas de sédiment mal trié n'a été mis en évidence.

Ici, on peut dire que les cas de mauvais triage sont ceux correspondant uniquement aux sédiments multimodaux (mélange de populations) non pris en compte dans le cadre du calcul des indices paramétriques.

### **6.1.3.3. L'indice d'asymétrie**

La clef d'appréciation de cet indice est présentée par le Tableau 20, ci-avant. Cet indice positif traduit un enrichissement en particules fines. À l'inverse, un indice négatif traduit une tendance vers les particules plus grossières. Dans notre cas, 100 % des sédiments analysés sont presque symétriques. De ce fait, la moyenne générale pour l'ensemble de la zone d'étude est de -0,023 correspondant aux sédiments presque symétriques. Il est à noter que la quasi symétrie correspond aux caractéristiques des sédiments presque évolués retrouvés fréquemment en domaine marin, en opposition aux embouchures de fleuves en milieu côtier.

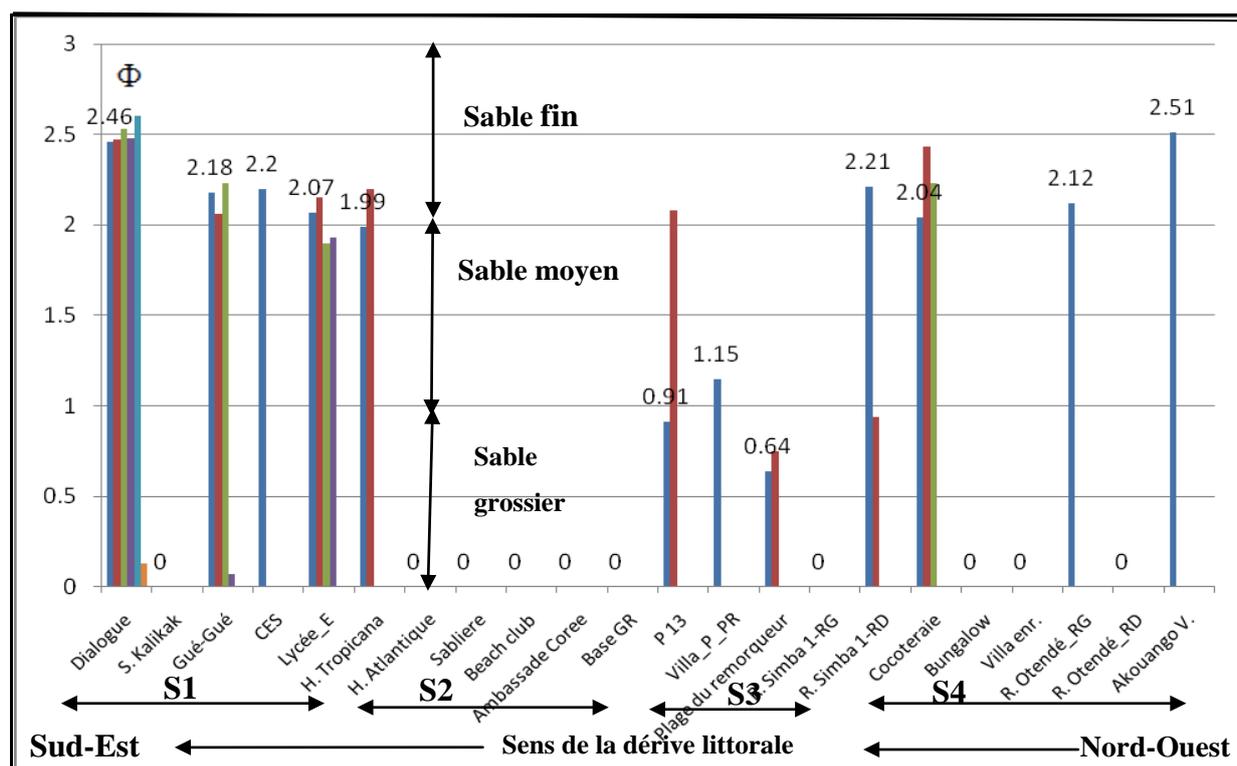
### 6.1.4. Variation des indices paramétriques suivant le profil longitudinal

En compilant toutes les séries temporelles, l'analyse de la distribution des différents indices paramétriques suivant le profil longitudinal permet également de caractériser les sédiments superficiels de la plage intertidale. Les indices paramétriques pris en compte dans cette analyse sont respectivement la médiane, l'indice du triage et enfin l'asymétrie.

#### 6.1.4.1. Variation de la médiane suivant le profil longitudinal

La Figure 86, ci-après, présente la distribution de la médiane pour l'ensemble des échantillons unimodaux (2011, 2012 et 2014) suivant le profil longitudinal.

**Figure 86:** Variation de la médiane des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014.



Source : Mouyalou V. M. T.

La médiane permet de mettre en évidence le modèle de la distribution spatiale des différents types sédimentaires, en fonction des secteurs mis en évidence dans la zone d'étude (secteur 1, secteur 2, secteur 3 et secteur 4).

**Le secteur 1** se caractérise par une densité très importante des échantillons unimodaux par rapport aux autres secteurs. De plus, sur le plan granulométrique, il se caractérise par la prédominance des sables fins et moyens, même si on note une faible apparition des médianes correspondant aux sables grossiers. Les sables fins sont présents au niveau de l'ensemble des profils. On note également une association de types sédimentaires au niveau de l'ensemble des profils. À titre d'exemple, les profils Dialogue et Gué-Gué se caractérisent par la présence à la fois des sables grossiers et des sables fins. Les profils Lycée\_E et H. Tropicana se caractérisent eux par l'association des sables moyens et fins.

**Le secteur 2** est marqué par l'absence totale d'échantillons unimodaux. Par conséquent, aucun indice paramétrique n'a été déterminé pour ce secteur. L'absence des indices paramétriques (échantillons unimodaux) peut être interprétée comme étant l'action combinée des activités anthropiques et des conditions d'agitation particulière liées à la faiblesse de la largeur du plateau librevillois.

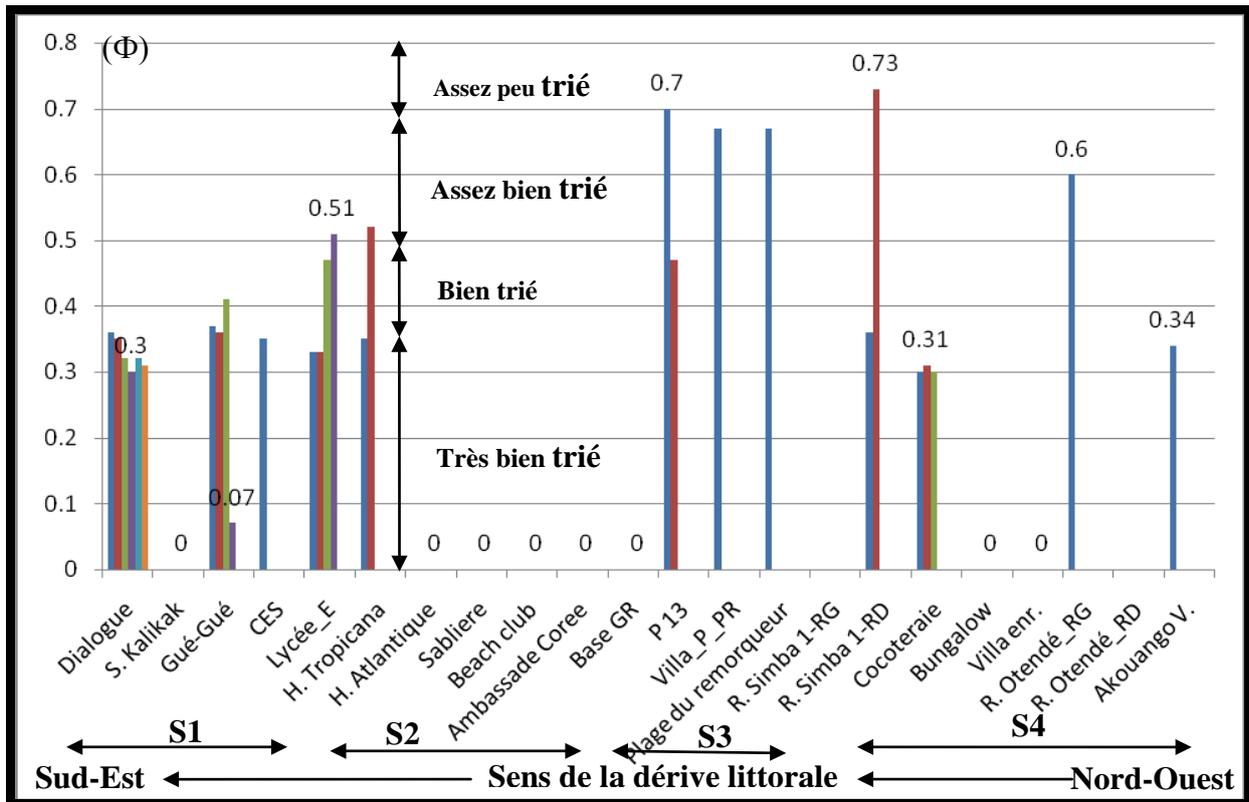
**Le secteur 3**, quant à lui, se distingue par la présence à la fois des sables grossiers, moyens et fins. Les sables grossiers sont présents au niveau de l'ensemble des profils de ce secteur, à l'exception du profil Villa\_P\_PR matérialisé par un seul type sédimentaire (sables moyens). L'association des sables grossiers et fins semble être le modèle le plus répandu dans ce secteur.

**Le secteur 4** se caractérise exclusivement par la présence de sables fins avec une densité de données moins importante par rapport aux secteurs 1 et 3. En effet, ce secteur correspond à un linéaire côtier au niveau duquel s'intercalent des profils qui se caractérisent par l'absence totale d'échantillon unimodaux.

#### **6.1.4.2. Variation de l'indice du triage suivant le profil longitudinal**

La Figure 87, ci-après, présente la distribution de l'indice du triage pour l'ensemble des échantillons unimodaux (2011, 2012 et 2014), suivant le profil longitudinal. L'analyse du modèle de la distribution spatiale de l'indice du triage se base sur les différents secteurs (1, 2, 3 et 4) mis en évidence au niveau de notre zone d'étude. L'indice de triage est un indicateur qui permet de caractériser les différentes conditions transport et de sédimentation. Le triage évolue avec la distance par rapport à la zone d'apport des sédiments au système côtier. En effet, plus le triage est excellent, plus le sédiment a été transporté par les courants loin de sa zone d'apport.

**Figure 87:** Variation de l'indice du triage des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014.



Source : Mouyalou V. M. T.

**Le secteur 1** se caractérise par l'association de plusieurs niveaux de triage. En effet, Il s'agit à la fois des sables très bien triés, bien triés et assez bien triés. Une association de niveau de triage a également été mise en évidence au niveau de certains profils pour les différentes séries temporelles. À titre d'exemple, les profils Dialogue et Gué-Gué se distinguent par l'association des sables très bien et bien triés. Ensuite, le profil Lycée\_E est marqué par l'association à la fois des sables très bien, bien et assez bien triés. Enfin, les sables du profil H. Tropicana sont bien et assez bien triés. Au niveau du secteur 1, une exception est faite pour le profil CES, qui se caractérise uniquement par un niveau de triage (bien trié).

En analysant toutes les séries, on constate que le secteur 1 se distingue majoritairement par un meilleur triage. Cela se justifie à plus d'un titre. Tout d'abord, il y a sa position en aval transit de la dérive littorale. Ici, les courants marins ont eu le temps lors du transit sédimentaire d'améliorer le triage. Ensuite, il s'agit d'un secteur jugé stable par rapport aux zones Nord qui sont les plus dynamiques. Cela se justifie par l'absence d'indices d'érosion (talus d'érosion), en comparaison à l'état du profil de plage dans les secteurs Nord qui sont les plus dynamiques.

**Le secteur 2** est marqué par l'absence totale d'échantillons unimodaux. Par conséquent, aucun indice paramétrique n'a été déterminé pour ce secteur.

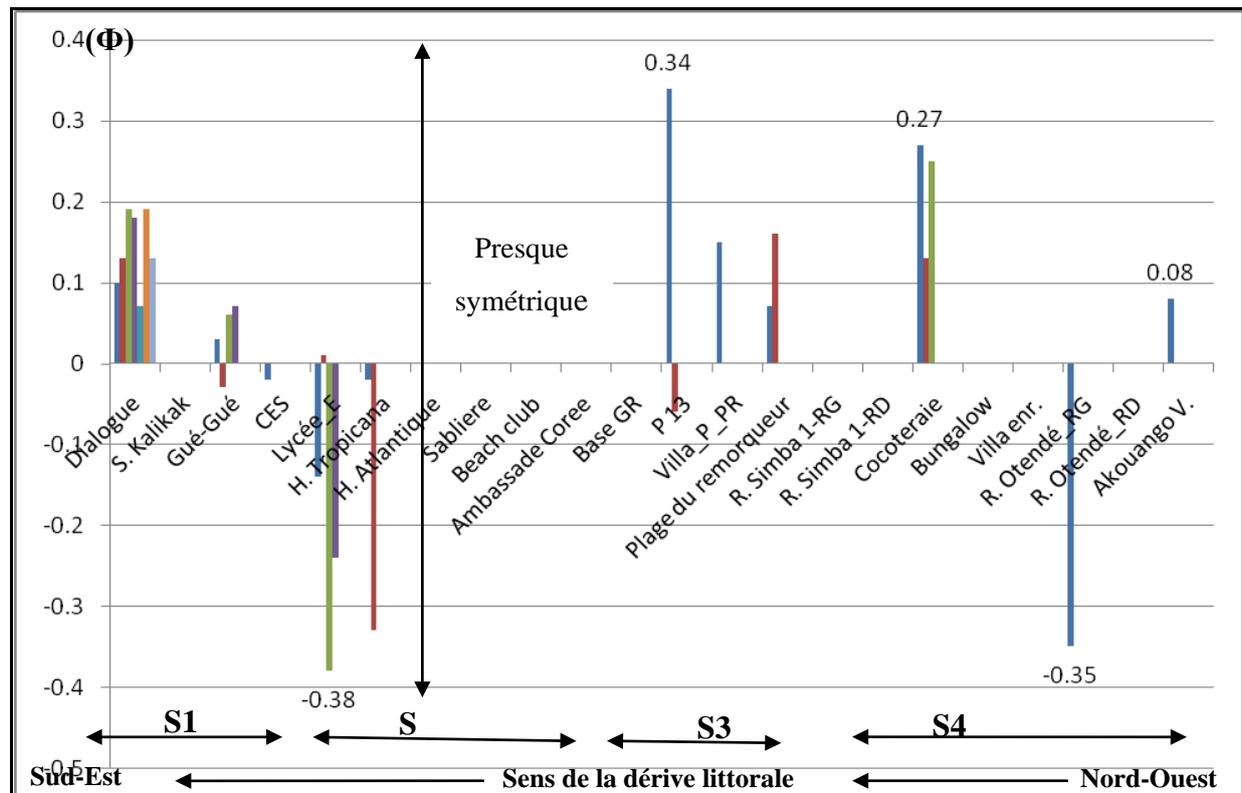
**Le secteur 3** se caractérise par plusieurs niveaux de triage. En effet, il s'agit des sables à la fois bien, assez bien et assez peu triés. Deux associations de niveau de triage sont mises en évidence pour les échantillons des profils P13 et R. Simba 1-RD. Il s'agit de l'association des échantillons allant de bien à assez peu triés. À ces associations de profils, il existe également des profils Villa\_P\_PR et Plage du Remorqueur où un seul niveau de triage (assez bien trié) a été mis en évidence.

**Le secteur 4** est marqué par la présence de sables très bien et assez bien triés. Un seul cas d'association est enregistré dans ce secteur. Il s'agit du profil Cocoteraie, pour lequel les différents échantillons sont tous très bien triés. Les profils R. Otendé\_RG et Akouango V. se distinguent uniquement par des sables très bien triés. Dans ce secteur, le profil Cocoteraie se caractérise par des sédiments aux caractéristiques identiques au fil des années. Cela permet de dire que ce secteur côtier a été, au cours des années, alimenté par la même source justifiant ainsi la régularité de la qualité du triage.

#### **6.1.4.3. Variation de l'indice d'Asymétrie suivant le profil longitudinal**

La Figure 88, ci-après, présente la distribution de l'indice d'asymétrie pour l'ensemble des échantillons unimodaux (2011, 2012 et 2014), suivant le profil longitudinal. L'analyse du modèle de la distribution spatiale de l'indice d'asymétrie se base sur les différents secteurs (1, 2, 3 et 4) mis en évidence au niveau de la zone d'étude. L'indice d'asymétrie est un indicateur qui permet de caractériser les différentes conditions de transport et de sédimentation.

**Figure 88** : Variation de l'indice d'asymétrie des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014.



Source : Mouyalou V. M. T.

**Le secteur 1** se caractérise par l'association d'échantillons, dont l'asymétrie est aussi bien positive que négative. Cependant, en dépit de cette différence, l'ensemble des échantillons de ce secteur est presque symétrique. L'analyse de l'indice d'asymétrie, au niveau du secteur 1, permet de mettre en évidence trois principaux ensembles.

Le premier ensemble est le groupement des échantillons du profil Dialogue qui se caractérise par des indices d'asymétrie positive. Le second ensemble correspond au groupement des profils Gué-Gué et CES marqué par des faibles valeurs d'indices, et l'alternance des indices d'asymétrie aussi bien positifs que négatifs. Le dernier ensemble, qui est constitué par l'association des profils Lycée\_E et H. Tropicana, se distingue majoritairement par des fortes valeurs négatives d'indices d'asymétrie, en dépit de la présence de quelques indices à faibles valeurs (positives et négatives).

**Le secteur 2** est marqué par l'absence totale d'échantillons unimodaux. Par conséquent, aucun indice paramétrique n'a été déterminé pour ce secteur.

**Le secteur 3** se caractérise majoritairement par, d'une part, la présence d'indices d'asymétrie positive et, d'autre part, la présence d'un échantillon à asymétrie négative. Deux cas d'association ont été mis en évidence : d'une part, au niveau du profil P13 où l'on note à la fois un cas d'asymétrie négative et positive et, d'autre part, les profils Villa\_P\_PR et Plage du Remorqueur où chacun a un échantillon qui présente les mêmes caractéristiques d'asymétrie.

**Le secteur 4** se distingue majoritairement par la présence d'échantillons à asymétrie positive, à l'exception de l'échantillon du profil R.Otendé\_RG. Sur la base des valeurs de cet indice, il ressort que chaque profil se distingue des autres aussi bien par rapport aux différents échantillons d'un même profil, mais également pour les différents profils de ce secteur.

Il est tout à fait important d'apporter un éclairage sur les processus responsables de la mise en place du modèle de distribution des indices paramétriques, suivant le profil longitudinal. Selon le principe général, l'indice paramétrique clé, qui permet de mieux caractériser les processus de transport et de sédimentation, est le triage. En effet, ce sont les processus de triage par les courants qui sont à l'origine de la structuration de ces différents secteurs. Il est alors important d'expliquer les mécanismes responsables de cette structuration des différents secteurs.

D'une manière générale, le degré de triage des sédiments sableux en milieu côtier augmente depuis la source des apports, suivant le sens de la dérive littorale. En effet, depuis la source d'apport (embouchure), les sédiments sont au cours de leur transport par les courants marins soumis à un triage progressif. Partant de ce principe, il apparaît clairement que dans notre zone d'étude, les secteurs où le triage est médiocre (échantillons plurimodaux) peuvent être considérés comme ayant connu des apports récents. La présence de petits cours d'eau, dont les apports en sédiments sont peu abondants pour garantir l'alimentation constant de notre système côtier, écarte toute possibilité d'apport de sédiments par les rivières. De ce fait, il devient capital d'apporter un éclairage sur l'interprétation qui peut être faite face à ce résultat.

L'analyse de la variation de l'indice de triage suivant le profil longitudinal permet de mettre en évidence les zones les plus dynamiques. En effet la remobilisation, après érosion des dépôts sableux situés sur la plage et le haut de plage, constitue l'une des sources d'alimentation actuelle de ces plages. Cette remobilisation localement de ces sédiments autochtones est à l'origine du mauvais triage (échantillons plurimodaux) observé au niveau de certains profils. La nature des différents indices permet de caractériser les différentes conditions de transport et de sédimentation, aussi bien au niveau de chaque point de

prélèvement mais, également, à l'échelle de la zone d'étude. Les secteurs les plus dynamiques, notamment les secteurs 2, 3 et 4 peuvent se justifier par leur fort degré d'anthropisation dont la conséquence principale est de perturber les échanges morphosédimentaires. Ainsi, ce principe peut être retenu pour expliquer la faiblesse des échantillons unimodaux (sédiment trié par les courants marins), ou leur absence totale dans certains secteurs. L'analyse de la variation de la médiane suivant le profil longitudinal permet de mettre en relation les conclusions obtenues lors de l'analyse de l'indice du triage et la distribution spatiale des différents types sédimentaires.

Pour l'ensemble des échantillons unimodaux, les profils Dialogue, Gué-Gué, R. Otendé\_RG et Akouango V. se distinguent par des médianes caractéristiques de sables fins. Cela se justifie par leur situation en position aval transit. L'autre fait marquant est la présence, au niveau du secteur 3, de l'association des sables fins, moyens et grossiers. La présence de ces différents types de sables peut être mise en corrélation avec la remobilisation d'anciens sédiments arrachés à la côte par les processus érosifs. Les observations de terrain au niveau du secteur 3 concordent pleinement avec cette conclusion.

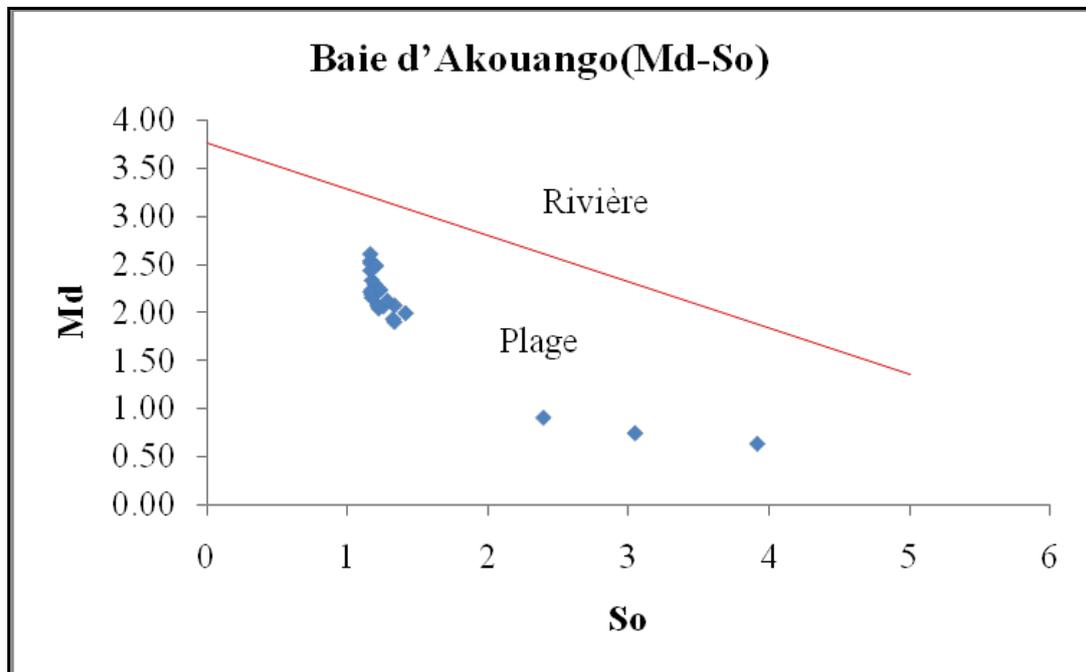
Enfin, tous ces éléments ont un rapport avec la contribution respective de chaque type sédimentaire dans la composition de chaque échantillon. Un indice d'asymétrie négatif témoigne d'une surabondance de grains grossiers, ou une carence de grains fins, comparé à la distribution de Gauss. Ils sont souvent caractéristiques d'une plage de sable terrigène. C'est le cas des profils Lycée\_E, H. Tropicana, et R. Otendé\_RG pour lesquels les indices d'asymétrie témoignent d'une surabondance de grains grossiers au détriment des grains fins. Les autres profils se caractérisent par des échantillons à dominance des grains fins.

#### **6.1.5. Environnement de dépôt des sédiments dans la baie d'Akouango**

Les diagrammes Md-So et Sk-Md (Moiola and Weiser, 1968) sont des outils pour l'analyse des différents sources et environnements de dépôts des sédiments. Par rapport à nos résultats, le diagramme Md-So, de l'évolution des paramètres granulométriques des sédiments superficiels, a permis de déterminer le milieu de dépôts de nos sédiments. Il est important de préciser que ces diagrammes ont été élaborés uniquement avec les indices paramétriques calculés pour les échantillons unimodaux. On observe que la totalité de la dispersion de points se regroupe dans le domaine de la plage au détriment de celui correspondant à la rivière. En effet, le diagramme Md-So (Figure 89, ci-après) révèle que 100 % des sédiments unimodaux

pris en compte dans le cadre de cette analyse sont caractéristiques du domaine de plage, au détriment du domaine de rivière (0 %).

**Figure 89:** Diagramme Md-So des sédiments unimodaux de la baie d'Akouango.

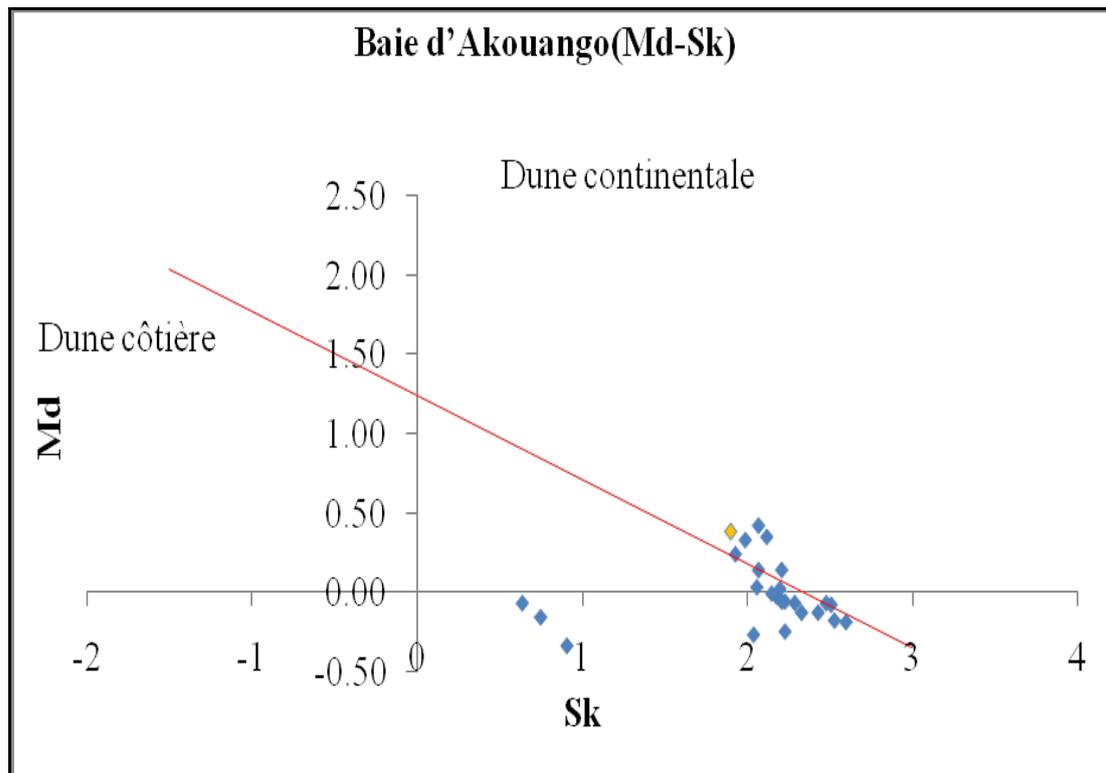


Source : inspiré de Moiola and Weiser (1968).

Toutefois, il est important de faire une nuance sur ces résultats. Ici comme nous l'avons déjà précisé, cette analyse se base uniquement sur les échantillons unimodaux, qui bien heureusement selon ce diagramme classes dans le domaine de Plage. De ce fait, les résultats obtenus ne doivent en aucun cas être extrapolé à l'ensemble des sédiments de la zone d'étude. En effet, la présence de rivière dans la zone d'étude est un argument de leur contribution dans l'alimentation des plages en sédiments. Néanmoins, la pertinence de ce résultat repose sur la dominance des apports des sédiments issus de la plage au détriment des rivières.

La Figure 90, ci-après, présente le diagramme de dispersion Sk-Md de nos sédiments superficiels de la plage intertidale. Ce diagramme permet de différencier les sources des sédiments, aussi bien en ce qui concerne les dunes continentales que celles côtières. Il permet ainsi de caractériser les différents environnements de dépôts.

**Figure 90:** Diagramme Sk-Md des sédiments unimodaux de la Baie d'Akouango.



Source : inspiré de Moiola and Weiser (1968).

La dispersion des points présente une répartition des grains dans les domaines de la dune continentale (68 %) et de la dune côtière (32 %). Ces proportions permettent de caractériser et conforter l'origine de ces sédiments. Toutefois, ce résultat est conforté avec l'idée selon laquelle les sédiments actuels qui alimentent les plages de la baie d'Akouango ont une origine proximale. En effet, il s'agit essentiellement du remaniement. Ce résultat nous renseigne également sur une certaine origine continentale des sédiments que l'on retrouve sur les plages de la baie d'Akouango. En effet, il pourrait s'agir d'anciens sédiments des fleuves littoraux, affluents directs de Komo, et peut être aussi par des organismes puissants tels que l'Ogooué et même le Congo repris par les courants côtiers actifs.

Au delà de ces sédiments marqués d'une empreinte continentale, on note également la présence de ceux issus des anciens paléocordons dont les vestiges sont encore visibles dans la Baie d'Akouango.

En définitive, il convient de souligner que les sédiments des plages intertidales de la Baie d'Akouango sont majoritairement des sables de plage. Les apports par les rivières, bien que présents, sont peu abondants pour alimenter le système côtier. Cela est conforme d'une part à l'absence de cours d'eau d'importance capable d'alimenter notre système côtier en

sédiments détritiques. D'autre part, il s'agit du caractère très ancien de ces sédiments qui sont régulièrement remaniés et alimentent notre système côtier. Ce remaniement concerne aussi bien les sédiments d'avant plage que ceux du haut de plage. Les sédiments présents sur nos plages peuvent être qualifiés de fluviomarins car, en dépit de leur dominance marine et l'absence de cours d'eau d'importance dans la zone d'étude, ils portent également l'empreinte de leur ancienne origine continentale, notamment les apports par les grands fleuves côtiers tels que le Komo, l'Ogooué et le Congo.

*In fine*, l'analyse granulométrique a été utilisée pour étudier la dynamique sédimentaire. Sur les 114 échantillons analysés, 72% des sédiments sont plurimodaux (avec respectivement 51% pour le caractère bimodal et 21 % pour le trimodal) contre 28% unimodaux. Ce résultat a conduit à l'utilisation de plusieurs méthodes d'analyse que sont respectivement l'analyse paramétrique, l'analyse de caractère modal, l'analyse modale et enfin l'analyse des classes granulométriques.

L'analyse paramétrique appliquée aux échantillons unimodaux a permis, d'une part, de mettre en évidence le niveau de la médiocrité des processus de triage par les courants marins. Le mauvais triage peut être interprété comme relevant des apports. Loin d'être des apports par les rivières, il s'agit principalement du remaniement soit depuis l'avant plage ou le haut de plage. Les sédiments les plus grossiers sont localisés dans la zone Nord de la zone d'étude, en conformité à l'idée d'une dérive littorale orientée du nord vers le sud. L'analyse des classes granulométriques, en fonction des points de prélèvements et suivant le profil longitudinal, démontre que les processus de transport et de sédimentation sont complexes dans la zone d'étude.

L'utilisation des diagrammes Md-So et Sk-Md (Moiola and Weiser, 1968) a permis de caractériser les différents sources et environnements de dépôts de nos sédiments. 100 % des sédiments unimodaux pris en compte dans cette analyse sont caractéristiques du domaine de plage au détriment du domaine de rivière (0 %). Toutefois, il est important de nuancer ces résultats. Les résultats obtenus ne doivent en aucun cas être extrapolé à l'ensemble des sédiments de la zone d'étude.

## CHAPITRE 7 : LES CLASSES GRANULOMETRIQUES DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGE INTERTIDALE

L'analyse de la dynamique sédimentaire des plages fait recours à l'utilisation de plusieurs méthodes en sédimentologie. Outre l'analyse paramétrique présentée dans le précédent chapitre, celle des classes granulométriques permet également d'analyser la dynamique sédimentaire. Le Tableau 23, ci-après, illustre un exemple de caractérisation de la distribution des classes granulométriques pour un échantillon dans la zone d'étude.

**Tableau 23:** Exemple de caractérisation des classes granulométriques d'un échantillon du bas de plage de l'hôtel Dialogue pour la série 2014.

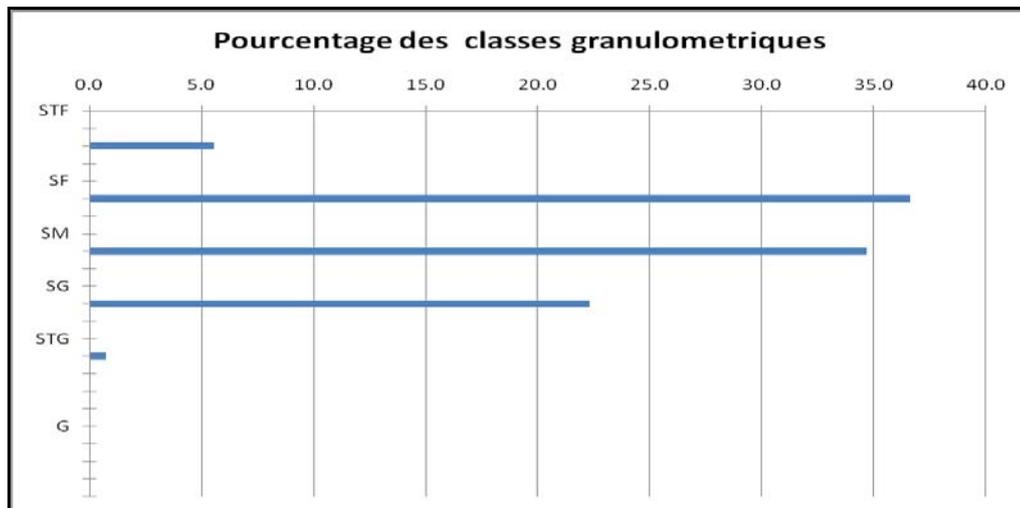
Classes granulométriques	Tamis en (mm)	Poids simples (g) par tamis	Pourcentage massique par classe granulométrique
G (Gravier)	10	0	0 %
	8	0	
	6,3	0	
	5	0	
	4	0	
	3,15	0	
	2,5	0	
STG (Sable Très Grossier)	2	0	0 %
	1,6	0	
	1,25	0	
SG (Sable Grossier)	1	0	0,157384373 %
	0,8	0	
	0,63	0,31	
SM (Sable Moyen)	0,5	0,22	0,964613901 %
	0,4	0,72	
	0,315	0,96	
SF (Sable Fin)	0,25	1,66	56,3029903 %
	0,2	13,19	
	0,16	96,05	
STF (Sable Très Fin)	0,125	62,47	42,57501142 %
	0,1	17,49	
	0,08	3,72	
	0,063	0,18	

Source : Mouyalou V. M. T.

Une classe granulométrique (CG) est la proportion de sédiments exprimée en pourcentage de poids massique dans un échantillon, dont la distribution est comprise entre deux limites dimensionnelles appelées limites de classe (Wentworth, 1922). Dans le cadre de notre étude, le but recherché par l'analyse des classes granulométriques est de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des processus de transport et de sédimentation au niveau de chaque point de prélèvement (HP, MP, BP) le long d'un profil transversal de plage, et suivant le profil longitudinal.

Cette analyse permet pour chaque échantillon d'obtenir un diagramme avec : en abscisse, les différentes classes granulométriques et, en ordonnées, le pourcentage dans la contribution massique de l'échantillon (Figure 91, ci-après).

**Figure 91:** Exemple de distribution des classes granulométriques pour l'échantillon Otende\_RD\_HP de la série 2011.



Source : Mouyalou V. M. T., 2017

Par rapport aux caractéristiques morphosédimentaires de la zone d'étude, il est tout de même important d'apporter quelques précisions sur les notions des classes granulométriques Gravier (G) et Sable Très Grossier (STG). En effet, la zone d'étude se caractérise par des sables allant de fin à grossier (Lafond, 1967 ; Weydert et Weydert, 1982 ; Mouyalou, 2011). À cet effet, ces éléments détritiques grossiers peuvent être assimilés soit à des débris coquilliers, calcaires, latéritiques ou encore à tout autre genre de débris d'origine anthropique issus de la destruction par l'érosion côtière d'anciennes habitations situés sur la côte. L'analyse des classes granulométriques a été faite selon plusieurs approches. Il s'agit principalement de:

- la comparaison par point de prélèvement et par année suivant le profil longitudinal,
- la comparaison par année pour l'ensemble des échantillons et, enfin,
- la comparaison des trois séries de données au niveau des cinq profils de référence.

## **7.1. Classes granulométriques pour les séries 2011 et 2012**

L'analyse des classes granulométriques pour les séries 2011 et 2012 a été effectuée en comparant pour l'ensemble des séries les échantillons du bas, de la moyenne et du haut de plage.

### **7.1.1. Classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage séries 2011 et 2012**

La comparaison des CG des échantillons du bas de plage pour les données 2011 et 2012 permet de mettre en évidence la variabilité des processus de transport et de sédimentation, au niveau de ces points de prélèvement et suivant le profil longitudinal.

Le Tableau 24, ci-après, présente les différentes proportions des classes granulométriques pour l'ensemble des échantillons de bas de plage pour les séries de données 2011 et 2012, suivant le profil longitudinal. Il ressort de ce tableau que la majorité des échantillons est composée par l'association de plusieurs classes granulométrique allant des graviers aux sables très fins.

Pour l'ensemble des séries bas de plage de 2011 et 2012, on obtient les intervalles des classes granulométriques suivants :

- G (%): 0,0 – 23,7
- STG (%): 0,0 – 46,9
- SG (%): 0,2 – 63,2
- SM (%): 0,7 – 50,7
- SF (%): 5,6 – 85,6
- STF (%) : 0,6 – 72,4.

**Tableau 24:** Comparaison des classes granulométriques des échantillons du bas de plage pour les séries 2011 et 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.

PROFILS	ANNEES	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2011	0	0,1	0,3	1,0	68,7	29,9
	2012	0	0,1	0,2	1,4	71,2	27,0
Gué-Gué	2011	0	0,0	0,7	5,2	85,6	8,5
	2012	0	0,0	0,6	11,7	81,0	6,7
Lycée_E	2011	0	0,1	10,9	28,4	57,3	3,4
	2012	0	0,0	3,3	14,6	68,6	13,5
H. Atlantique	2011	0	0,9	63,2	17,4	11,5	6,9
	2012	0	0,9	40,6	21,4	31,7	5,4
P 13	2011	0	0,2	30,5	50,7	16,1	2,6
	2012	0	0,0	6,9	39,0	48,0	6,1
Plage du remorqueur	2011	0	0,6	8,9	38,5	48,2	3,8
	2012	0,1	5,2	45,7	41,4	7,0	0,6
R. Simba 1-RG	2011	2,1	31,4	32,1	21,6	10,8	3,6
	2012	1,9	40,9	48,4	8,6	1,1	0,7
R. Simba 1-RD	2011	0,7	6,6	23,3	16,4	32,7	20,9
	2012	4,7	19,2	16,6	5,0	23,0	33,9
Cocoteraie	2011	7,7	11,2	23,8	9,4	28,4	23,8
	2012	16,1	40,8	28,4	3,8	12,8	4,4
R. Otendé_RG	2011	0,8	5,4	31,9	3,6	17,4	41,6
	2012	23,7	46,9	15,8	0,7	3,0	22,3
R. Otendé_RD	2011	8,4	9,0	7,7	2,0	5,6	72,4
	2012	2,8	10,0	8,1	2,7	30,0	48,1

Source : Mouyalou V. M. T.

### 7.1.1.1. Classes Granulométriques Gravier (CGG) et Sable Très Grossier (CGSTG)

Les classes granulométriques G et STG sont majoritairement présents au niveau de 5 points de prélèvement localisés essentiellement dans la partie Nord de la zone d'étude. Aussi cette zone, la plus dynamique, enregistre-t-elle une importante variation de la ligne de rivage, avec les embouchures des rivières Simba1 et Otendé. Il en est de même de la zone de La Cocoteraie.

Les variations interannuelles des Classes granulométrique Gravier (CG) et Sable Très Grossier sont également mises en évidence. Les cas les plus remarquables de variation interannuelle des CG sont mis en évidence au niveau des profils R. Simba 1-RD, Cocoteraie,

R. Otendé\_RD et R. Otendé\_RG. Le cas le plus remarquable est le profil R. Otendé\_RG, où, entre 2011 et 2012, la proportion de la CGG est passée de 0,8 % à 23,7%, illustrant ainsi une véritable variation interannuelle des conditions de transport et de sédimentation.

Pour la CGSTG, de nombreux cas de mutations interannuelles sont mis en évidence, aussi bien dans le sens de la baisse que de l'augmentation. Deux exemples illustrent bien des cas d'augmentation de la CGSTG au niveau des profils R. Simba 1-RD, Cocoteraie et R. Otendé\_RG, qui sont passés respectivement de 6,6 à 19,2 %, de 5,4 à 46,9% et enfin de 11,2 à 40,8%. À ces cas de variation interannuelle, s'ajoutent des profils tels que Dialogue et H. Atlantique, où l'on observe une régularité interannuelle des CGSTG.

Ces sédiments grossiers sont composés d'éléments détritiques issus de trois origines possibles. Il peut s'agir des éléments siliceux dits lithoclastiques (débris de roches), ou des éléments calcaires ou bioclastiques (principalement des débris coquilliers). À ces deux types s'ajoutent les éléments d'origine anthropique composés le plus souvent des débris latéritiques et de ciment issus de la destruction d'anciennes constructions par l'érosion côtière. En effet, outre la présence des débris coquilliers et calcaires, l'empreinte des activités anthropiques dans la constitution des différentes classes a été mise en évidence par la présence des débris de parpaings et mortiers en ciment issus d'anciennes habitations détruites par l'érosion côtière.

#### **7.1.1.2. Classe Granulométrique Sable Grossier (CGSG)**

L'analyse de la CGSG, selon le profil longitudinal pour les échantillons bas de plage de la série 2011, permet de mettre en évidence deux zones de distribution préférentielle. Il s'agit des segments côtiers entre les profils Lycée\_E et P13, et de R. Simba 1-RG à R. Otendé\_RG. En dehors de ces deux segments côtiers, où la CGSG est dominante, on note également des secteurs de faible présence. Il s'agit du tronçon Dialogue-Gué-Gué, et au niveau des profils Plage du Remorqueur et R. Otendé\_RD. À l'instar des CGG et CGTG, la CGSG est également dominante au niveau des profils les plus dynamiques. Cette dynamique peut être matérialisée par un important recul du trait de côte, ou tout simplement par des plages caractérisées par des profils escarpés ou modérément escarpés. Par rapport à la distribution de la proportion de la CGSG suivant le profil longitudinal, il ne semble pas se dégager une direction préférentielle d'augmentation ou de diminution de la proportion de cette CGSG. La distribution semble obéir à un modèle spécifique aux conditions intrinsèques de transport et de sédimentation propres à chaque profil.

En ce qui concerne la variation interannuelle, les profils P13 et Plage du Remorqueur sont les plus illustratifs, allant aussi bien dans le sens de la baisse que de l'augmentation. En effet le P13, entre 2011 et 2012, a vu la proportion de la CGSG passer de 30,5 à 6,9% contrairement au profil Plage du Remorqueur où l'on enregistre un passage de 8,9 à 45,7%. Pour l'ensemble des profils, cette variabilité interannuelle est également mise en évidence. Ainsi, les différentes variations interannuelles et inter profils, et aussi au niveau de chaque point de prélèvement, peuvent être interprétées comme illustratives de la dynamique sédimentaire.

#### **7.1.1.3. Classe Granulométrique Sable Moyen (CGSM)**

La CGSM est la plus répandue dans cette série de données. En effet, elle se caractérise par des proportions très importantes entre les profils Lycée\_E et Cocoteraie. De ce fait, cette distribution permet de mettre en évidence trois principaux secteurs. Le secteur 1 est caractérisé par les profils Dialogue et Gué-Gué. Le secteur 2 est compris entre les profils Lycée\_E et Cocoteraie. Enfin, le secteur 3 regroupe les profils R. Otendé\_RG et R. Otendé\_RD. On note une augmentation de la CGSM depuis le Nord suivant le sens du transit littoral jusqu'au profil P13, sur environ 6 km. Cette progression est stoppée de façon brusque au niveau de ce profil. De ce fait, le profil H. Atlantique semble constituer une limite par rapport à une tendance généralisée depuis R. Otendé\_RD, suivant le transit littoral. Cela peut être d'autant vérifiable qu'au delà de ce profil, la tendance inverse est observée. La variabilité interannuelle est également mise en évidence. Les variations les plus importantes peuvent osciller du simple au double, allant aussi bien dans le sens de l'augmentation que de la baisse, mais aussi des cas de très faibles variations. À titre d'exemple, les profils Lycée\_E, R. Simba 1-RG et R. Simba 1-RD se caractérisent par une baisse de la CGSM.

#### **7.1.1.4. Classes Granulométriques Sable Fin (CGSF) et Sable Très Fin (CGSTF)**

Par rapport aux autres Classes, les Classes Granulométriques Sable Fin (CGSF) et Sable Très Fin (CGSTF) sont dominantes dans les échantillons de bas de plage pour les séries 2011 et 2012. En effet, les proportions des CGSF varient autour de 1,1 et 85,6 % et de 0,6 à 72,4 % pour la CGSTF. Ces deux ensembles semblent être prépondérants dans le contexte sédimentaire étudié. Les cas de dominance des classes CGSF les plus illustratifs sont mis en évidence au niveau des profils Dialogue, Gué-Gué et Lycée\_E avec respectivement des

proportions interannuelles autour de 60 à 80%, et une variabilité interannuelle, comparativement à d'autres classes dont les proportions sont parfois insignifiantes.

La distribution spatiale des CGSF et CGSTF semble ne pas obéir à un modèle cohérent en lien avec les processus de triage de sédiments, suivant le sens du transit sédimentaire. En effet, l'existence des valeurs de classe élevées au niveau de quelques profils ne permet pas de mettre en évidence des cas d'évolution de la valeur classe, suivant le sens du transit sédimentaire ou inversement. Toutefois, la CGSF se regroupe majoritairement dans le secteur aval transit de la zone d'étude, ce qui semble être conforme à l'idée d'un affinement de la taille des sédiments suivant le sens du transit sédimentaire.

À l'opposée, la CGSTF est dominante à l'extrême Nord de la zone d'étude. Cela pourrait s'expliquer par le caractère d'abri que constitue le Cap Santa Clara, par rapport aux conditions d'agitation est provenance du large. Ainsi, ces conditions ont favorisé la mise en place d'une dérive littorale inverse en direction du Cap Santa Clara. Cet état de chose a également été confirmé par les autres résultats d'analyse présentés dans le présent travail. Ainsi, les particules fines issues des différentes sources d'apport (apports turbides par les processus tidaux notamment le courant librevillois, les vasières de zones de mangrove au niveau d'Otendé), couplées au caractère abrité et l'inversion du sens de la dérive littorale vers le Nord, vont favoriser la mise en place d'une sédimentation fine (CGSTF) dans la zone du profil R. Otendé\_RD.

### **7.1.2. Comparaison des Classes Granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage**

Le Tableau 25, ci-après, présente les différentes proportions des classes granulométriques pour l'ensemble des échantillons de la moyenne plage de la série 2011 et 2012, suivant le profil longitudinal. Il ressort de ce tableau que l'ensemble des échantillons est composée par l'association de plusieurs CG allant des graviers aux sables très fins.

**Tableau 25:** Comparaison des classes granulométriques des échantillons de la moyenne plage pour les séries 2011 et 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.

PROFILS	ANNEES	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2011	0,0	0,0	0,1	0,2	65,8	33,9
	2012	0,0	0,0	0,1	0,5	68,2	31,3
Gué-Gué	2011	0,0	0,1	0,3	0,3	86,1	13,2
	2012	0,0	0,0	0,1	3,8	83,5	12,6
Lycée_E	2011	0,0	0,0	0,6	8,2	88,7	2,5
	2012	0,0	0,0	0,2	5,5	88,3	5,9
H. Atlantique	2011	0,0	0,0	17,5	34,5	46,7	1,4
	2012	0,0	0,2	30,3	23,0	40,3	6,1
P 13	2011	0,0	0,3	36,5	39,0	20,9	3,3
	2012	0,0	0,0	0,4	16,2	75,2	8,2
Plage du Remorqueur	2011	0,0	0,2	9,2	43,3	43,0	4,3
	2012	0,0	4,0	37,9	33,4	21,4	3,2
R. Simba 1-RG	2011	0,0	0,7	4,7	33,9	56,7	4,1
	2012	0,1	10,6	18,9	8,7	51,2	10,6
R. Simba 1-RD	2011	0,0	0,1	0,3	7,9	82,8	9,0
	2012	0,3	11,2	31,8	23,8	26,5	6,6
Cocoteraie	2011	0,0	0,1	1,6	1,8	60,8	35,6
	2012	0,0	0,0	0,2	0,9	93,9	4,9
R. Otendé_RG	2011	0,3	33,0	22,9	5,3	33,6	5,2
	2012	0,0	0,1	0,8	3,6	35,2	60,3
R. Otendé_RD	2011	0,0	0,1	0,5	1,1	23,6	74,8
	2012	0,2	0,3	5,3	13,2	33,1	48,1

Source : Mouyalou V. M. T.

Pour l'ensemble des échantillons de la moyenne plage, on obtient les intervalles des classes granulométriques suivants :

G (%): 0,0 – 0,3

STG (%): 0,0 - 33

SG (%): 0,1 – 37,9

SM (%): 0,2 – 43,3

SF (%): 20,9 – 88,7

STF (%) : 1,4 – 74,8.

### 7.1.2.1. Classes Granulométriques Gravier (CGG) et Sable Très Grossier (CGSTG)

D'une manière générale, la présence des classes grossières est très faible et n'est mise en évidence que dans le secteur Nord de la zone d'étude et, particulièrement, au niveau des embouchures de rivières. Il s'agit des profils R. Simba 1-RD et R. Otendé\_RG, avec des

proportions comprises entre 0,1 et 0,3%. Par rapport à la CGSTG, la logique semble être la même avec des valeurs dans la grande majorité des cas inférieures à 1%, à l'exception du profil R. Otendé\_RG dont la proportion est exceptionnellement très élevée (33%), qui contraste pleinement avec la distribution spatiale de la CGSTG pour cette série.

Il est donc légitime de s'interroger sur la présence de cette valeur exceptionnellement élevée pour la série 2011. De ce fait, ce caractère isolé peut être interprété comme étant une signature anthropique notoire dans la composition des CGSTG pour ces sédiments. Cela se justifie d'autant plus que ce caractère n'est pas confirmé par la variabilité interannuelle pour la série 2012.

Il est tout aussi important de souligner que les plus importantes CGSTG s'observent au niveau des rivières, qui sont les zones les plus dynamiques en termes de recul du trait de côte. Ainsi, les 33% de la CGSTG pour la série 2011 peuvent être rattachés à ce processus.

D'autres profils se caractérisent aussi par une variabilité interannuelle. Il s'agit de R. Simba 1-RG et R. Simba 1-RD. Entre 2011 et 2012, on note une grande différence pour la CGSTG au niveau du profil R. Simba 1-RG, où la proportion varie de 0,7 % à 10,6 % entre 2011 et 2012. C'est aussi le cas pour R. Simba 1-RD, où la variabilité interannuelle entre 2011 et 2012 est de 0,1 à 11,2%.

#### **7.1.2.2. Classe granulométrique Sable Grossier (CGSG)**

La CGSG est assez présente dans la zone d'étude. Les proportions les plus importantes, comprises entre 0,1 et 37,9%, sont mises en évidence entre l'hôtel Atlantique et la rivière Otendé. La distribution des différentes classes granulométriques permet de mettre en évidence deux zones distinctes au sein desquelles la distribution spatiale de la CGSG présente une évolution cohérente, dans le sens de l'augmentation ou de la diminution. La première unité s'étend du Dialogue à P13. Elle se caractérise par une baisse de la proportion de la CGSG suivant le sens de la dérive littorale, de P13 à Dialogue. Ici, les processus de transport et de sédimentation, à l'origine du triage du sédiment, semblent se dérouler de façon cohérente le long de ce secteur côtier. En effet, la baisse progressive de la CGSG suivant le sens de la dérive littorale en est une parfaite illustration.

La seconde unité, allant de la Plage du Remorqueur à la rive droite de la rivière Otendé, se caractérise par une distribution spatiale de la CGSG perturbée par l'apparition au niveau de quelques profils des valeurs assez faibles des classes granulométriques, qui

contrastent pleinement avec les valeurs des autres profils. Pour les deux séries, il s'agit principalement des profils R. Simba 1-RD, Cocoteraie et R. Otendé\_RG. Il devient alors capital de chercher une explication logique à ce phénomène. Le point commun entre ces trois profils est l'importante dynamique du trait de côte. On peut alors penser que ce contexte dynamique est à l'origine de la modification des conditions de transport et de sédimentation, contrastant de fait avec l'ensemble du profil longitudinal dans la Baie d'Akouango. Cela peut aussi se justifier par la présence très élevée de la CGSG, au niveau du point de prélèvement R. Otendé\_RG. Ce résultat peut être utilisé comme indicateur des conditions dynamiques du milieu, particulièrement au niveau de cette embouchure, en créant un phénomène très localisé. Cette interprétation peut aussi être appliquée au point de prélèvement R. Simba 1-RD caractérisé par une faible proportion de la CGSG (0,3%). Comparativement aux données des profils environnants, on peut penser que l'effet de chasse provoqué par ce cours d'eau crée directement au niveau de la rive droite un effet d'abri, favorisant ainsi la faible sédimentation de la CGSG.

### **7.1.2.3. Classe Granulométrique Sable Moyen (CGSM)**

L'analyse de la distribution de la CGSM permet de mettre en évidence deux unités distinctes limitées par le profil R. Simba 1-RG. Le secteur 1 se situe entre les profils Plage du Remorqueur et Dialogue. La particularité de ce secteur est la baisse de la proportion de la classe granulométrique suivant le sens de la dérive littorale, c'est-à-dire depuis le profil Plage du Remorqueur en direction de l'hôtel Dialogue.

Le secteur 2 se situe entre les profils R. Otendé\_RG et R. Simba 1-RG. La particularité de cette unité est l'augmentation de la proportion de la CGSM suivant le sens de la dérive littorale, à l'exception du profil R. Otendé\_RG dont la proportion anormalement élevée contraste pleinement avec la tendance au niveau de cet ensemble.

En analysant les valeurs de la CGSM, sont identifiés trois principaux secteurs. Le secteur 1 correspond au segment côtier entre l'hôtel Dialogue et le Lycée d'Etat de l'Estuaire. Le secteur 2 se situe entre l'hôtel Atlantique et la rive gauche de la rivière Simba 1. Enfin, le secteur 3 est compris entre la rive droite de la rivière Simba 1 et la rive droite de la rivière Otendé. En comparant les trois secteurs, le secteur 2 se caractérise par des valeurs des CGSM très élevées. Il y a donc lieu de s'interroger sur cette distribution particulière de la CGSM, entre l'hôtel Atlantique et la rive gauche de la rivière Simba 1.

Les proportions très élevées de la CGSM au niveau du secteur 2 peut s'expliquer par son caractère très anthropisé, la conséquence étant la modification des conditions hydrodynamiques matérialisée par la présence de plages très abruptes. En effet, ce secteur correspond à la zone résidentielle de La Sablière, au niveau de laquelle il est fréquent de voir sur le haut de plage des aménagements (cordons en enrochement de blocs latéritiques, clôtures des habitations, etc.), qui influencent directement les processus de transport et de sédimentation. L'ensemble de ces éléments justifie la prédominance de la CGSM dans ce secteur. Notre hypothèse se confirme davantage avec la présence des faibles proportions de la CGSM au niveau des secteurs 1 et 3, où l'effet anthropique sur les processus de transport et de sédimentation est assez négligeable comparativement au secteur 2.

L'analyse de la variabilité interannuelle de la CGSM permet de mettre en évidence le caractère très dynamique des processus de transport et de sédimentation. En effet, aucun point de prélèvement ne se caractérise par une homogénéité interannuelle de la valeur des classes granulométriques.

#### **7.1.2.4. Classe Granulométrique Sable Fin (CGSF)**

La CGSF est représentée de façon prédominante sur l'ensemble de la zone d'étude avec des valeurs comprises entre 21 et 86%. De ce point de vue, elle correspond à la composante majeure des sédiments sur l'ensemble de la zone d'étude. Il est difficile de mettre en évidence un modèle de l'évolution de la proportion de la classe granulométrique suivant le profil longitudinal. En effet, il est commun d'admettre que selon le sens de la dérive littorale, les processus de triage lors des phases de transport et de sédimentation sont souvent responsables soit d'un affinement de la taille des grains, ou soit d'une diminution de la proportion de la classe granulométrique. Cependant rien n'apparaît pour cette série de données.

La répartition de l'ensemble des valeurs semble plutôt obéir à une loi de distribution "chaotique", sans indiquer un sens précis. Toutefois, il est tout de même important d'indiquer que les valeurs les plus élevées se localisent dans la zone aval transit de la dérive littorale. Les valeurs les plus élevées sont mises en évidence au niveau des profils R. Simba 1-RD et Gué-Gué. L'explication la plus plausible pour le cas de R. Simba 1-RD, comme déjà mentionné pour le cas de la CGSM, est l'effet d'abri que constitue ce cours d'eau favorisant

ainsi une sédimentation fine. Par contre pour le profil Gué-Gué, l'explication la plus rationnelle est la combinaison de deux facteurs. Il s'agit tout d'abord de sa localisation en aval transit de la Baie d'Akouango. En effet, le caractère unimodal des sables dans ce secteur témoigne de la cohérence des processus de triage lors de la phase de transport et de sédimentation avec, pour la plus part des cas, des échantillons unimodaux et un affinement des particules suivant le sens de la dérive littorale.

Dans une certaine mesure, cet affinement peut justifier la dominance de cette CGSF au niveau de ce profil. Cette sédimentation n'est pas à rattacher aux apports de la rivière Gué-Gué, mais plutôt à l'effet d'abri à marée basse provoqué par les eaux de Gué-Gué engendrant ainsi juste en aval de l'embouchure, une zone très calme propice à ce type de sédimentation.

D'une année à l'autre, les proportions de classes granulométriques semblent se maintenir dans le même ordre de grandeur, à l'exception de quelques profils comme c'est le cas pour P13, Plage du Remorqueur et R. Simba 1-RD. Cette importance de la variabilité interannuelle peut se justifier par l'effet de caractéristiques environnementales propres à chaque profil et, aussi, aux conditions hydrodynamiques au moment du prélèvement.

#### **7.1.2.5. Classe Granulométrique Sable Très Fin (CGSTF)**

La CGSTF est présente au niveau de l'ensemble des échantillons de la moyenne plage, avec des proportions qui varient entre 1,4 et 75%. Pour l'ensemble des profils, les valeurs semblent présenter une distribution qui ne permet pas de mettre en évidence un modèle d'évolution suivant le profil longitudinal. En effet, ici, le modèle de distribution de la CGSTF semble plutôt obéir à l'effet de facteurs environnements autour des profils. Trois principaux profils se démarquent avec des valeurs supérieures à 30%. Les profils aux CGSTF les plus importantes sont R. Otendé\_RD (74,8%), Cocoteraie (35,6%) et, enfin, Dialogue (33,9%). Le profil R. Otendé\_RD est situé à l'extrême Nord de la zone d'étude et entre deux limites naturelles que sont, d'une part, le Cap Santa Clara et, d'autre part, la rivière Otendé.

La zone de la Cocoteraie se distingue également par la dominance de la CGSTF. Cet état de chose pourrait laisser supposer l'existence d'un cours d'eau associé aux apports de particules fines. Cependant, tel n'est pas le cas. Il s'agit bien d'un environnement sans embouchures. De plus, le secteur de la Cocoteraie est l'un des plus dynamiques, où l'on enregistre des reculs du trait de côte assez importants ; en témoigne la permanence d'un talus d'érosion, dont la hauteur varie autour de 1,5 m. Comment peut-on alors justifier l'exigence

de cette CGSTF ? Les prélèvements ont été faits à marée basse, au niveau du profil de la Cocoteraie. Celui-ci serait un secteur de décantation par les processus tidaux des apports turbides du courant librevillois ? La réponse à cette question se trouve dans l'analyse des processus de sédimentation fine décrits par Weydert et Weydert (1982), dans le cadre du schéma conceptuel des courants de marée dans l'estuaire du Komo. Pour ces auteurs, les processus tidaux au début du flot sont à l'origine de la présence des eaux turbides dans la Baie d'Akouango. Au moment de la reverse, les courants devenant faibles ou nuls, la conséquence est donc de favoriser une sédimentation fine et très fine dans la baie de la Sablière où se situe la Cocoteraie. Cette explication logique peut alors justifier la présence de la CGSTF au niveau du profil Cocoteraie.

Le profil de l'hôtel Dialogue se distingue également par une valeur élevée de la CGSTF. Ici les raisons de cette situation sont en lien avec les processus de triage du sédiment par les courants marins, lors des processus de transport et de sédimentation. En effet, tout au long du transport depuis l'amont en direction de l'aval transit, les classes granulométriques, qui correspondent aux sédiments plus grossiers, subissent un amenuisement au détriment d'une sédimentation de plus en plus fine.

### **7.1.3. Comparaison des classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage**

Le Tableau 26, ci-après, présente les différentes proportions des classes granulométriques pour l'ensemble des échantillons du haut de plage pour les séries 2011 et 2012, suivant le profil longitudinal. Il ressort de ce tableau que l'ensemble des échantillons est composé par l'association de plusieurs classes granulométriques, allant des graviers aux sables très fins à des proportions diverses.

**Tableau 26:** Comparaison des classes granulométriques des échantillons du haut de plage pour les séries 2011 et 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.

PROFILS	ANNEES	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2011	0,0	0,0	0,1	0,3	89,6	10,0
	2012	0,0	0,0	0,0	0,5	75,6	23,9
Gué-Gué	2011	0,0	0,0	0,5	2,2	86,7	10,6
	2012	0,0	0,0	0,1	0,6	87,4	12,0
Lycée_E	2011	0,0	0,0	2,6	25,2	71,3	0,9
	2012	0,0	0,0	1,7	24,8	70,0	3,5
H, Atlantique	2011	0,0	0,2	45,9	29,2	23,6	1,1
	2012	0,0	0,2	30,0	40,9	27,9	0,9
P 13	2011	0,0	0,1	21,5	52,0	24,7	1,7
	2012	0,0	0,2	25,1	51,3	22,5	0,9
Plage du Remorqueur	2011	0,0	0,1	7,7	52,4	35,3	4,5
	2012	0,1	1,8	42,4	44,8	10,6	0,4
R. Simba 1-RG	2011	0,0	1,0	16,8	46,1	34,6	1,4
	2012	0,1	6,0	26,2	36,3	29,5	1,9
R. Simba 1-RD	2011	0,1	2,2	31,8	33,7	30,1	2,2
	2012	0,0	2,5	25,6	52,0	18,9	1,0
Cocoteraie	2011	0,0	0,1	0,5	1,6	87,4	10,5
	2012	0,0	0,2	4,5	9,7	79,8	5,8
R. Otendé_RG	2011	0,3	33,0	22,9	5,3	33,6	5,2
	2012	0,0	0,1	3,6	16,3	72,3	7,7
R. Otendé_RD	2011	0,0	0,7	22,4	34,7	36,6	5,5
	2012	0,0	0,1	6,6	50,4	38,7	4,3

Source : Mouyalou V. M. T.

Pour l'ensemble des classes granulométriques des sédiments du haut de plage pour les séries 2011 et 2012, on obtient les intervalles des classes granulométriques suivants :

- G (%): 0.0 – 0.3
- STG (%): 0,0 - 33
- SG (%): 0,1 – 45,9
- SM (%): 0,3 – 52,4
- SF (%): 23,6 – 88,6
- STF (%): 1,1 – 10,5

### **7.1.3.1. Classes granulométriques Gravier et Sable Très Grossier (CGG et CGSTG)**

Les CGG et CGSTG sont présents dans les échantillons du haut de plage pour les séries 2011 et 2012. Toutefois, elles sont en proportions très faibles comprises entre 0,1 et 0,3 %, avec une localisation entre les profils Plage du Remorqueur et la rive gauche de la rivière Otendé.

La distribution spatiale de la CGG permet de mettre en évidence deux secteurs bien distincts : d'une part, de l'hôtel Dialogue au Lycée d'Etat, et d'autre part de l'hôtel Atlantique à la rivière Otendé. Le secteur allant de l'hôtel Dialogue au Lycée d'Etat se caractérise par l'absence totale de la CGG. Le secteur de l'hôtel Atlantique à la rivière Otendé, quant à lui, se caractérise par des valeurs très variables, qui ne permettent pas de mettre en évidence un modèle cohérent de la distribution spatiale suivant le sens de la dérive littorale ou inversement.

Toutefois, quelques profils se distinguent par des valeurs, qui contrastent pleinement avec les ordres de grandeurs des classes granulométriques les plus répandues dans la zone d'étude. Il s'agit des profils Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RG et R. Otendé\_RG, avec respectivement 1,8, 6 et 33%. Le plus remarquable dans cette distribution est l'énorme variabilité interannuelle de ces classes granulométriques. En effet, la Plage du Remorqueur en 2011 se distingue par une valeur de 0,1 contre 1,8% en 2012. Au niveau du profil R. Simba 1-RG, en 2011 la valeur est de 1% contre 6% en 2012. Enfin, au niveau R. Otendé\_RG, la variation est de 33% en 2011 contre 0,1% en 2012. Cette variabilité illustre le caractère évolutif des processus de transport et de sédimentation sur le haut de plage. Néanmoins, au niveau de plusieurs profils, cette variabilité interannuelle n'est pas mise en évidence. Tel est le cas du profil H. Atlantique, où la CGSTG a gardé rigoureusement les mêmes proportions.

### **7.1.3.2. Classe Granulométrique Sable Grossier (CGSG)**

La Classe Granulométrique Sable Grossier est assez répandue dans la zone d'étude pour les deux séries de données, avec des valeurs comprises entre 0 et 46%. L'analyse de la distribution spatiale de la CGSG permet de mettre en évidence plusieurs zones matérialisées par les valeurs des classes granulométriques. La CGSG est dominante entre l'hôtel Atlantique et la rive droite de la rivière Otendé, à l'exception du profil Cocoteraie. Les profils H. Atlantique, Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RD et R. Otendé\_RG sont ceux qui se caractérisent par les valeurs les plus élevées de la CGSG.

La distribution spatiale de la CGSG semble être cohérente avec l'idée de l'influence des facteurs anthropiques dans la répartition spatiale de cette classe granulométrique. En effet, dans leur majorité, les proportions les plus élevées se rapportent aux secteurs où les structures anthropiques, sur la plage et le haut de plage, ont une incidence sur les processus de transport et de sédimentation et, par voie de conséquence, conditionnent la distribution de la CGSG suivant le profil longitudinal. Ainsi, ces processus permettent de mettre en évidence une distribution de la CGSG, en fonction de leur fréquence d'apparition. En effet, dans un sens général, les proportions de la CGSG ont tendance à croître dans le sens inverse de la dérive littorale. En effet, les profils les plus en aval transit se distinguent par les apparitions les plus faibles de la CGSG. Cela est conforme à l'idée selon laquelle il s'opère un affinement de la taille des sédiments suivant le sens du transit littoral. Inversement, le secteur amont transit se caractérise par des fortes proportions de la CGSG.

Plusieurs cas de variabilité interannuelle ont également été mis en évidence. Ces variations concernent aussi bien les profils où les proportions sont les plus importantes, que ceux où celles-ci sont marginales. Plusieurs profils présentent une faible variabilité interannuelle. Il s'agit de ceux situés en aval transit de la zone d'étude, principalement Dialogue, Gué-Gué et Lycée\_E, avec des variations inférieures à l'unité. À ces profils du secteur aval transit, s'ajoutent ceux à forte variabilité interannuelle localisés dans le secteur amont transit.

### **7.1.3.3. Classe Granulométrique Sable Moyen (CGSM)**

La CGSM est assez représentée dans la composition des sédiments du haut de plage, pour les séries 2011 et 2012. Sa proportion varie entre 0,3 et 52,4 %. La distribution spatiale de cette classe granulométrique permet de mettre en évidence quatre secteurs bien distincts. Le secteur 1 regroupe les profils Dialogue et Gué-Gué. Le secteur 2 s'étend du profil Lycée\_E à R. Simba 1-RD. Le secteur 3 va du profil Cocoteraie à R. Otendé\_RG. Enfin, le secteur 4 est caractérisé par le profil R. Otendé\_RD.

Le secteur 1 se caractérise par des faibles proportions de la CGSM avec des proportions comprises entre 0,3 et 2,2%.

Le secteur 2 est le plus important, aussi bien en longueur que par rapport aux proportions dominantes de la CGSM, avec des valeurs comprises entre 25 et 52,4%. Le secteur 4 est une continuité du secteur 2, avec des valeurs également élevées (34 et 50%). Enfin, le secteur 3, quant à lui, se distingue par des valeurs plus faibles (1,6 à 16,3%), mais tout de même plus importantes que celles du secteur 1. Il y a donc lieu de s'interroger sur cette distribution

spatiale de la CGSM, suivant le profil longitudinal. Une fois de plus, l'analyse de ces données permet de mettre en corrélation les secteurs les plus dynamiques du fait des actions anthropiques et la distribution spatiale de certaines classes granulométriques. Cela explique la prédominance à plus de 50% de cette classe granulométrique au niveau des profils P 13, Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RD et R. Otendé\_RD. Cette explication est en accord avec la mise en corrélation des classes grossières avec les effets des actions anthropiques dans la zone d'étude. La variabilité interannuelle semble également obéir à ce modèle de distribution basé sur la délimitation des secteurs. Ainsi, d'une manière générale, on peut dire qu'une faible variabilité interannuelle a été mise en évidence, laissant ainsi croire à une quasi "régularité" des processus de transport et de sédimentation pour la CGSM, au niveau du haut de plage.

Toutefois, la faible présence de cette classe granulométrique au niveau du profil de la Cocoteraie peut se justifier par le jeu des processus tidaux à travers l'étalement du panache turbide du courant librevillois. Ces processus sont responsables d'une sédimentation fine au détriment du moyen et du grossier dans ce secteur, comme cela a été déjà fait mention pour expliquer les fortes proportions de sédimentation fine dans cette partie de la Baie d'Akouango.

#### **7.1.3.4. Classe Granulométrique Sable Fin (CGSF)**

La CGSF est la plus représentée dans la composition des sédiments superficiels de la plage intertidale, dans notre zone d'étude. Pour les échantillons du haut de plage pour les séries 2011 et 2012, sa proportion varie de 10,6 à 89,6% et est présente de façon dominante sur l'ensemble du profil longitudinal. La distribution spatiale des valeurs de cette classe permet de distinguer quatre principaux secteurs. Le secteur 1 prend en compte les profils Dialogue, Gué-Gué et Lycée\_E et se caractérise par les pourcentages de CGSF les plus élevés (70 et 89,6%). Le secteur 2 regroupe les profils H. Atlantique, P 13, Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RG et R. Simba 1-RD. Au niveau de cette unité, les proportions de la CGSF varient entre 18,9 et 35,3%. Le secteur 3 est constitué du profil Cocoteraie, avec des valeurs de classe comprises entre 79,8 et 87,4%. Enfin, le secteur 4, délimité par les profils R. Otendé\_RG et R. Otendé\_RD, est marqué par des valeurs comprises entre 33,6 et 72,3%. Il est tout de même important de signaler qu'au niveau du secteur 4, la majorité des valeurs est comprise entre 33 et 39%. Ce secteur 4 présente une exceptionnelle valeur de 72,3% pouvant correspondre soit au prolongement du secteur 3, à travers une extension de la zone d'action du courant turbide librevillois, ou soit tout simplement à un phénomène localisé lié à la dynamique sédimentaire.

Ce modèle de la distribution des CGSF pour les séries 2011 et 2012 trouve son explication à plusieurs niveaux. Tout d'abord pour le secteur 1, la forte présence de la CGSF pourrait se justifier par l'effet du transit sédimentaire à l'origine de l'affinement des particules suivant le sens du transit sédimentaire. Ensuite, la baisse de la CGSF au niveau du secteur 2 s'explique par le caractère dynamique de ce secteur, suite à son intense anthropisation. Ainsi, ce caractère dynamique est à l'origine, comme nous l'avons déjà mentionné, de la prédominance d'une sédimentation moyenne à grossière dans ce secteur au détriment des particules fines. Par rapport au secteur 3, l'explication la plus rationnelle est l'effet du courant librevillois à l'origine d'une sédimentation fine dans la partie nord de la baie de la Sablière. Les proportions enregistrées au niveau du secteur 4 peuvent s'expliquer par de la dérive inverse vers le Nord.

La variabilité interannuelle a également été mise en évidence pour les échantillons du haut de plage. Le cas le plus éloquent est celui du profil R. Otendé\_RG, où la CGSF est passé de 33,6 à 72,3 % entre 2011 et 2012. À cet exemple, s'ajoute le profil Plage du Remorqueur où la CGSF est passée de 35,3 à 10,6% entre 2011 et 2012. À ces cas extrêmes de variabilité interannuelle, on note également bien d'autres de nature modeste dont les proportions interannuelles sont quasiment dans les mêmes ordres de grandeur.

#### **7.1.3.5. Classe Granulométrique Sable Très Fin (CGSTF)**

La CGSTF est également présente dans les sédiments superficiels du haut de plage, avec des proportions comprises entre 0,9 et 23,9%. La distribution spatiale des proportions de cette classe permet de mettre en évidence quatre principaux secteurs. Le secteur 1 englobe les profils Dialogue et Gué-Gué. Le secteur 2 correspond au segment côtier allant du Lycée\_E à R. Simba 1-RD. Le secteur 3 concerne uniquement le profil de la Cocoteraie et, enfin, le secteur 4, les profils R. Otendé\_RG et R. Otendé\_RD.

Les proportions les plus importantes sont localisées au niveau respectivement des secteurs 1 et 3. Deux raisons essentielles déjà évoquées pour les autres classes granulométriques se retrouvent au cœur de notre interprétation. Il s'agit tout d'abord du transit littoral à l'origine de l'affinement et de la concentration des particules fines en aval transit. Ensuite, il y a les processus tidaux responsables d'une sédimentation fine dans le secteur de la Cocoteraie. Dans le même sens, le faible pourcentage de la CGSTF au niveau du secteur 2 peut également se justifier par le caractère dynamique à l'origine des actions anthropiques. Enfin, la distribution au niveau du secteur 4 est à mettre en corrélation avec l'effet conjugué de la rivière Otendé et de la cellule hydrosédimentaire, dont le transit se fait depuis la rivière

Otendé en direction du Cap Santa Clara. Par rapport à la variabilité interannuelle, celle-ci semble également observable. Une fois de plus, les cas les plus illustratifs sont mis en évidence au niveau des secteurs où la CGSTF est dominante. À titre d'exemple, la CGSTF au niveau du profil Dialogue a connu une variation interannuelle qui est passée de 10 à 23,9% entre 2011 et 2012. Cette variabilité est également observable au niveau des secteurs où la CGSTF n'est pas dominante.

## 7.2. Classes Granulométriques pour la série 2014

L'analyse des classes granulométriques pour la série 2014 a été effectuée en comparant pour cette série les échantillons du bas, de la moyenne et du haut de plage.

### 7.2.1. Classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage série 2014

L'analyse des classes granulométriques, pour les prélèvements du bas de plage de la série 2014, permet de mettre en évidence la variabilité spatiale des processus de transport et de sédimentation suivant le profil longitudinal (Tableau 27, ci-après). Il est important de préciser que les prélèvements réalisés en 2014 obéissent à un pas de temps régulier de 1km et ce sur l'ensemble des 15 km qui constitue la zone d'étude.

**Tableau 27:** Classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage de la série 2014.

PROFILS	Année	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2014	0,0	0,0	0,2	1,0	56,3	42,6
S. Kalikak		0,0	0,1	22,0	20,9	44,0	13,0
CES		0,0	0,0	1,7	11,7	75,8	10,8
H. Tropicana		0,0	0,2	29,7	22,6	42,7	4,8
H. Atlantique		0,0	0,2	31,2	26,6	38,4	3,6
Sablière		0,0	0,4	22,1	27,5	45,8	4,2
Beach club		0,0	15,1	49,6	15,2	13,8	6,3
Ambassade Corée		0,2	4,1	38,6	20,4	26,6	10,2
Base GR		0,0	0,2	37,4	44,2	15,3	2,9
Villa_P_PR		0,0	1,6	53,0	23,3	18,8	3,2
Plage du Remorqueur		0,1	1,2	10,2	19,6	58,2	10,8
R. Simba 1-RD		0,0	17,8	30,9	12,2	31,5	7,5
Cocoteraie		0,0	0,1	7,4	16,7	60,9	15,0
Bungalow		0,0	0,4	12,1	9,0	45,2	33,3
Villa enr.		0,0	0,5	8,0	6,9	33,9	50,7
Akouango V.		2,0	4,7	18,3	6,8	19,3	50,1

Source : Mouyalou V. M. T.

Le Tableau 27, ci-avant, présente les différentes proportions des classes granulométriques pour l'ensemble des échantillons de bas de plage, pour la série 2014. Il en ressort que la majorité des échantillons est composée par l'association de plusieurs classes granulométriques, allant des graviers aux sables très fins.

Pour l'ensemble de cette série, on obtient les intervalles suivants des classes granulométriques :

- G (%): 0,0 – 2
- STG (%): 0,0 – 17,8
- SG (%): 0,2 - 53
- SM (%): 1 – 44,2
- SF (%): 13,8- 75,8
- STF (%) : 2,9– 50,7.

#### **7.2.1.1. Classe Granulométrique Gravier (CGG)**

Cette classe est très faiblement représentée dans cette série de données. Sa présence est mise en évidence essentiellement au niveau de deux profils : A la Plage du Remorqueur avec 0,1% et à Akouango Village (2%). Le caractère isolé de l'apparition de cette classe granulométrique et sa faible proportion laissent croire qu'il s'agit de l'empreinte de nombreux débris anthropiques et coquilliers mis en évidence lors de nos prélèvements.

#### **7.2.1.2. Classes Granulométriques Sable Très Grossier (STG) et Sable Grossier SG**

La CGSTG se caractérise par des proportions qui varient entre 0 et 17,8 %. Les proportions les plus importantes se localisent au niveau des profils R. Simba 1-RD et Beach Club. Le facteur commun entre ces deux secteurs est le caractère dynamique de la plage lié à son anthropisation. En effet, le profil Beach Club se situe dans la zone résidentielle de La Sablière, où de nombreux habitants érigent leurs barrières directement sur le haut de plage. Il en résulte des plages très dynamiques du fait de la perturbation de la dynamique morphosédimentaire, favorisant ainsi une sédimentation grossière. Par rapport au profil R. Simba 1-RD, la présence de la CGSTG peut se justifier par la présence de l'embouchure de la rivière Simba1, conséquence des activités anthropiques.

La CGSG, quant à elle, est très répandue. À l'instar de la CGSTG, sa distribution spatiale tient également compte des arguments avancés pour justifier la distribution de cette sédimentation grossière. En effet, la répartition spatiale suivant le profil longitudinal laisse entrevoir un modèle de distribution basé sur l'empreinte anthropique souvent à l'origine du

caractère dynamique des plages. Les cas les plus illustratifs sont les profils Villa\_P\_PR, Beach Club, Ambassade Corée, Base GR et H. Atlantique, pour ne citer que ceux-là.

Pour l'ensemble de ces profils, les classes granulométriques grossières peuvent avoir deux origines, tel a été le cas pour l'analyse des séries de 2011 et 2012. D'une part, Il peut s'agir des éléments siliceux lithoclastiques (débris de roches) ou des éléments calcaires, bioclastiques (principalement des débris coquilliers). À ces deux types s'ajoutent les éléments d'origine anthropique composés le plus souvent des débris latéritiques, et notamment de parpaings et mortiers en ciments issus de la destruction d'anciennes constructions par l'érosion côtière. L'analyse de la distribution de ces classes granulométriques ne permet pas de mettre en évidence un affinement des particules suivant le sens de la dérive littorale, ou inversement. Là aussi, ce sont plutôt les facteurs spécifiques à l'environnement autour de chaque profil qui vont être déterminant pour la répartition suivant le profil longitudinal des classes granulométriques grossières. Néanmoins, situé en aval transit de la dérive littorale, le profil Dialogue se caractérise par des très faibles proportions de classes granulométriques "grossières" ; cela conformément à un affinement progressif des sédiments grossiers vers les fins, depuis l'amont vers l'aval du transit sédimentaire.

#### **7.2.1.3. Classe granulométrique Sable moyen (CGSM)**

La Classe Granulométrique Sable Moyen est présente dans les échantillons du bas de plage de 2014, à des proportions variant de 1 à 44,2%. Les profils, où cette classe granulométrique est dominante, sont Base GR, Sablière, H. Atlantique, Villa\_P\_PR et H. Tropicana. Afin de rechercher les causes originelles de cette distribution, il est nécessaire de faire l'analyse des conditions environnementales autour des profils concernés. Dans l'ensemble, une analogie peut être faite avec les cas des classes granulométriques grossières (CGSTG et CGSG). En effet, la distribution de la CGSM peut aisément se calquer sur celles des classes grossières (CGSTG et CGSG). De ce fait, on peut alors dire que cette distribution est régie par les conditions propres à chaque profil. Cela se justifie d'autant plus que la majorité de ces profils est localisée dans un environnement très anthropisé. Un autre fait, qui vient soutenir cette hypothèse, est l'absence d'un modèle de distribution des classes granulométriques conformément à l'orientation de la dérive littorale.

#### **7.2.1.4. Classe Granulométrique Sable Fin (CGSF)**

La Classe Granulométrique Sable Fin (CGSF) est celle qui, de loin, caractérise le mieux notre série. En effet, sa proportion varie entre 13,8 et 75,8%. Les profils, où cette classe est la plus abondante, sont CES, Cocoteraie, Plage du Remorqueur, Dialogue, Bungalow et S. Kalikak, pour ne citer que ceux-là. Il est important de préciser que cette distribution n'obéit à aucune organisation suivant le sens de la dérive littorale. En effet, les proportions les plus importantes sont réparties de façon quelconque. De ce fait, deux explications peuvent être retenues à cet effet.

Tout d'abord, il y a une concentration issue des processus de dérive littorale. Cela concerne les profils Dialogue, S. Kalikak et CES. En effet, ces profils étant situés en aval transit de la dérive littorale, il est justifié que ceux-ci se caractérisent par des proportions élevées de la CGSF. Toutefois, des interrogations peuvent subsister par rapport au manque de linéarité des proportions suivant le sens de la dérive littorale.

La deuxième explication logique est, comme nous l'avons déjà mentionné, l'effet des apports turbides du courant librevillois par les processus tidaux, dont la conséquence est une sédimentation fine dans la baie de la Sablière. Ce processus est renforcé par le caractère abrité que constituent le Cap Santa Clara et la dérive littorale inverse orientée vers le Nord, qui vont favoriser une sédimentation fine. La série 2014, de par l'abondance des profils, permet de mieux cerner ce secteur de sédimentation fine. À priori, ce secteur de sédimentation fine pourrait s'étendre du profil Plage du Remorqueur au profil Villa enr. En effet, c'est la seule explication logique pour justifier ces importantes proportions de la CGSF.

#### **7.2.1.5. Classe Granulométrique Sable Très fin (CGSTF)**

La CGSTF est présente dans notre série avec une proportion comprise entre 2,9 et 50,7%. Sa distribution spatiale permet de mettre en évidence deux principaux secteurs d'abondance, situés respectivement aux deux extrémités de la zone d'étude. En effet, le premier secteur d'abondance regroupe les profils S. Kalikak et Dialogue. Le deuxième s'étend du profil Cocoteraie à Akouango Village. Cette distribution spatiale est également à mettre à l'actif de plusieurs processus. D'une part, il y a le transit littoral, qui entraîne un affinement des particules depuis l'amont vers l'aval transit. Les proportions de la CGSTF obtenues au niveau de ces deux profils peuvent être resituées dans ce contexte. D'autre part, pour le

second secteur, trois processus clés peuvent également être retenus. D’abord, il y a les effets des apports turbides du courants librevillois par les processus tidaux, dont la conséquence est une sédimentation fine dans la baie de la Sablière. Par exemple, c’est ce processus qui explique de manière concrète une importante présence de particules fines dans le secteur de la Cocoteraie. Ensuite, il y a le fait que l’extrémité Nord de la zone d’étude soit abritée des houles énergiques du large par le Cap Santa Clara. Cette zone d’abri est, par voie de conséquence, propice à une sédimentation fine. Enfin, il y a la dérive littorale inverse orientée vers le Nord, qui est responsable d’un affinement des particules issu du courant librevillois et des apports des vasières de la rivière Otendé.

### 7.2.2. Classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage série 2014

L’analyse des classes granulométriques des sédiments de la moyenne plage (série 2014) permet de mettre en évidence la variabilité spatiale des processus de transport et de sédimentation, suivant le profil longitudinal (Tableau 28, ci-après).

**Tableau 28:** Classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage série 2014 de l’hôtel Dialogue à Akouango Village.

PROFILS	ANNEE	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2014	0,0	0,0	0,0	0,4	54,9	44,7
S. Kalikak		0,0	0,0	0,5	2,5	78,9	18,1
CES		0,0	0,0	1,0	11,6	80,8	6,6
H. Tropicana		0,0	0,0	0,2	5,9	87,5	6,5
H. Atlantique		0,0	0,0	1,4	9,2	85,3	4,1
Sablière		0,0	0,2	7,5	17,5	68,8	6,1
Ambassade Corée		0,0	1,8	16,8	19,2	55,6	6,6
Beach club		0,0	0,3	16,1	25,5	53,5	4,6
Base GR		0,0	0,0	6,1	43,4	47,4	3,1
Villa_P_PR		0,0	0,4	33,7	38,9	25,5	1,5
Plage du remorqueur		0,0	0,1	3,0	22,4	70,0	4,5
R. Simba 1-RD		0,0	0,4	3,6	13,3	74,8	7,9
Cocoteraie		0,0	0,0	0,0	0,3	81,1	18,6
Bungalow		0,0	0,0	0,1	0,3	53,0	46,6
Villa enr.		0,0	0,0	1,9	6,2	68,3	23,6
Akouango V.		0,0	0,0	0,1	0,3	25,2	74,4

Source : Mouyalou V. M. T., 2017.

Le Tableau 28, ci-avant, présente les différentes proportions des classes granulométriques de l'ensemble des échantillons de la moyenne plage, pour la série 2014. Il ressort que la majorité des échantillons est composée par l'association de plusieurs classes granulométriques allant des graviers aux sables très fins.

Pour l'ensemble de cette série, on obtient les intervalles des classes granulométriques suivants :

- G (%): 0 %
- STG (%): 0,0 – 1,8
- SG (%): 0,0 – 33,7
- SM (%): 0,3 – 43,4
- SF (%): 25,2 – 87,5
- STF (%) : 1,5 – 74,4.

#### **7.2.2.1. Classes Granulométriques Gravier (CGG) et Sable Très grossier (CGSTG)**

La Classe Granulométrique des Graviers est inexistante dans nos données de la plage moyenne. Par contre, celle de la CGSTG est très faiblement représentée avec des proportions variant entre 0 et 1,8%, soit une moyenne de 0,21% sur l'ensemble du profil longitudinal. Cette classe granulométrique est mise en évidence au niveau de cinq profils. La majorité de ces profils est localisée dans un secteur très anthropisé. Ainsi, la présence de cette classe granulométrique peut être interprétée comme résultant de la perturbation anthropique de la dynamique morphosédimentaire.

#### **7.2.2.2. Classes Granulométriques Sable grossier (CGSG) et Sable Moyen (CGSM)**

La Classe Granulométrique Sable Grossier est également faiblement présente dans notre série de données, avec des proportions variant de 0 à 33,7%, soit une moyenne sur l'ensemble du profil longitudinal de 5,75%. Pour les Sables Moyens, la proportion varie entre 0,3 et 43,4%, soit une moyenne de 13,56% sur l'ensemble du profil longitudinal. Les proportions les plus importantes pour les deux classes granulométriques se localisent entre les profils Sablière et R. Simba 1-RD, comme cela a déjà été démontré. Cette distribution spatiale des classes grossière à moyenne est la conséquence des activités anthropiques sur la dynamique morphosédimentaire. Il s'agit notamment de la zone résidentielle dite de La Sablière avec de nombreuses infrastructures sur le haut de plage, qui ont des effets directs sur les processus de sédimentation. La conséquence est une perturbation des conditions

hydrodynamiques, favorisant ainsi une sédimentation grossière à moyenne au détriment de la fine.

### **7.2.2.3. Classe Granulométrique Sable fin (CGSF)**

La Classe Granulométrique Sable Fin est la plus représentée avec des proportions variant entre 25,2 et 87,5%, soit une moyenne de 63,15% suivant le profil longitudinal. L'analyse des proportions les plus importantes de cette classe granulométrique permet de mettre en évidence deux principaux secteurs d'abondance. Le premier secteur correspond au segment côtier allant de Dialogue à l'hôtel Atlantique. Le deuxième secteur est centré autour du profil Cocoteraie. Une fois de plus, les causes originelles de cette distribution sont multiples. Pour le secteur sud, cette concentration peut être corrélée aux effets de la dérive littorale, qui provoque un affinement des particules en aval transit. Cette hypothèse peut être retenue, en dépit du fait que les proportions des classes granulométriques ne permettent pas de mettre en évidence un modèle de croissance ou de décroissance suivant le sens la dérive littorale.

Pour le deuxième secteur, il s'agit des effets combinés des apports du courant turbide librevillois, d'abri que constitue le Cap Santa Clara et, enfin, de la dérive inverse orientée vers le Nord dans le secteur de la rivière Otendé. Tous ces éléments contribuent à ces fortes proportions de sédiments fins au Nord de la Baie d'Akouango.

### **7.2.2.4. Classe Granulométrique Sable très fin (STF)**

La classe granulométrique sable Très Fin est présente dans la zone d'étude, avec des proportions qui varient entre 1,5 et 74,4%, soit une moyenne de 17,32% sur l'ensemble du profil longitudinal. À l'instar du sable fin, la distribution spatiale de la classe granulométrique sable très fin obéit également à cette logique. En effet, les fortes proportions enregistrées au niveau des profils Dialogue et S. Kalikak sont à mettre à l'actif de la dérive littorale, qui entraîne un affinement des particules depuis l'amont vers l'aval transit. Les fortes proportions, entre la Cocoteraie et le profil Akouango Village, sont à mettre à l'actif du courant turbide librevillois, de l'effet d'abri que constitue le Cap Santa Clara et, enfin de la dérive inverse orientée vers le Nord dans le secteur de la rivière Otendé.

### 7.2.3. Classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage série 2014

L'analyse des classes granulométriques des prélèvements du haut de plage (série 2014) permet de mettre en évidence la variabilité spatiale des processus de transport et de sédimentation, suivant le profil longitudinal (Tableau 29, ci-après).

**Tableau 29:** Classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage série 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village.

PROFILS	ANNEE	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2014	0,0	0,0	0,0	0,3	69,9	29,8
S. Kalikak		0,0	0,0	10,8	48,8	33,2	7,2
CES		0,0	0,0	3,2	21,2	73,7	1,8
H. Tropicana		0,0	0,0	1,6	26,8	69,9	1,7
H. Atlantique		0,0	0,1	34,4	38,3	26,4	0,8
Sablière		0,0	6,7	55,5	13,7	22,4	1,8
Ambassade Corée		0,0	0,9	26,9	23,4	44,5	4,3
Beach club		0,0	0,6	18,7	33,3	45,4	1,9
Base GR		0,0	0,1	15,6	51,7	31,3	1,4
Villa_P_PR		0,0	0,2	20,5	56,1	22,6	0,6
Plage du Remorqueur		0,0	4,8	37,1	42,0	15,7	0,3
R. Simba 1-RD		0,0	0,5	13,7	48,4	36,5	0,9
Cocoteraie		0,0	0,0	0,5	7,9	85,6	6,0
Bungalow		0,0	0,0	1,4	7,8	82,5	8,3
Villa enr.		0,0	0,2	30,1	50,3	17,8	1,5
Akouango V.		0,0	0,0	0,2	3,0	65,9	30,9

Source : Mouyalou V. M. T.

Le Tableau 29, ci-avant, présente les différentes proportions des classes granulométriques de l'ensemble des échantillons du haut de plage, pour la série 2014. Il ressort de ce tableau que la majorité des échantillons est composée par l'association de plusieurs classes granulométrique, allant des graviers aux sables très fins.

Pour l'ensemble de cette série, on obtient les intervalles suivants des classes granulométriques :

- G (%): 0 %
- STG (%): 0,0 – 6,7
- SG (%): 0,0 – 55,5
- SM (%): 0,3 – 56,1
- SF (%): 15,7– 85,6
- STF (%): 0,3 – 30,9.

### **7.2.3.1. Classes Granulométriques Gravier (CGG) et Sable Très grossier (CGSTG)**

La Classe Granulométrique Gravier n'existe pas dans l'ensemble des données 2014 de la série haut de plage. Par contre, la classe granulométrique des Sables Très Grossiers est faiblement représentée avec une proportion qui varie entre 0 et 6,7%, soit une moyenne de 0,89% sur l'ensemble du profil longitudinal. L'analyse de la distribution spatiale des classes granulométriques ne permet pas de mettre en évidence un sens d'affinement des sédiments suivant la dérive littorale. Quelques proportions les plus importantes ont été mises en évidence entre les profils H. Atlantique et R. Simba 1-RD. Comparativement aux autres profils, où cette classe granulométrique est inexistante, sa présence au niveau du secteur résidentiel de La Sablière peut être corrélée à l'effet des activités anthropiques dans la modification des processus morphodynamiques et, par voie de conséquence, avoir favorisé une sédimentation grossière au niveau de ce secteur anthropisé.

### **7.2.3.2. Classe granulométrique Sable Grossier (CGSG)**

La proportion de la classe granulométrique Sable Grossier varie selon les profils de 0 à 55,5%, avec une moyenne de 16,8 % suivant le profil longitudinal. Les profils, au niveau desquels cette classe est la plus représentée, se situent essentiellement dans des secteurs anthropisés du fait de la modification des conditions hydrodynamiques. En effet, la proportion particulièrement élevée enregistrée au niveau du profil S. Kalikak se justifie par la présence des vestiges d'un ancien brise-lame composé d'enrochement de blocs calcaires sur la plage. Cette structure a eu pour conséquence de créer un environnement dynamique et favoriser ainsi une sédimentation grossière. Pour le secteur allant des profils H. Atlantique et R. Simba 1-RD, la présence élevée de la CGSG se justifie également par l'effet des ouvrages anthropiques, notamment les constructions sur la plage et le haut de plage, qui modifient les conditions hydrodynamiques et, par conséquent, les processus de transport et de sédimentation.

### **7.2.3.3. Classe Granulométrique Sable moyen (CGSM)**

Dans la série 2014 pour les échantillons du haut de plage, la classe granulométrique Sable Moyen est présente avec des proportions comprise entre 0,3 et 56,1%, soit une moyenne égale à 29,57% suivant le profil longitudinal. La distribution spatiale de la CGSM à l'instar des classes granulométriques grossières, et également régi par l'effet des activités anthropiques sur la dynamique morphosédimentaire. En effet, la quasi-totalité des profils, qui

se caractérisent par une présence élevée de la classe SM, est située comme pour les autres classes grossières dans des secteurs côtiers où l’empreinte anthropiques est très prononcée. Toutefois, pour cette série, il est important d’apporter un éclairage sur l’apparition de cette classe au niveau du profil Villa enr. Cette situation se justifie par la présence d’un cordon d’enrochements en blocs latéritiques, qui fait office de protection d’une habitation. Cet ouvrage fonctionne comme un épi, avec la création d’une encoche d’érosion juste en aval transit de l’ouvrage. De ce fait l’effet des vagues, sur ces structures rigides de protection, crée des conditions d’agitation particulièrement élevées qui justifient cette sédimentation de sable moyen.

#### **7.2.3.4. Classes granulométriques Sable Fin (CGSF) et Sable Très Fin (CGSTF)**

La classe granulométrique Sable Fin est très présente dans notre série de données. Sa proportion varie pour l’ensemble des profils de 15,7 à 85,6%, avec une moyenne de 46,45 % suivant le profil longitudinal. La classe granulométrique Sable Très Fin est également présente dans la zone d’étude avec des proportions qui varient entre 0,3 et 30,9%, soit une moyenne de 6,2% sur l’ensemble du profil longitudinal. Pour les deux classes granulométriques, il est cependant difficile d’établir une progression linéaire des proportions suivant le profil longitudinal. En effet, les proportions les plus élevées sont enregistrées aussi bien au niveau des profils situés au Nord de la Baie d’Akouango, que ceux situés dans la zone Sud de la zone d’étude Deux processus peuvent être mis en avant pour expliquer cette distribution de la classe granulométrique des sables fins et très fin. Pour les proportions de la zone Nord, il s’agit une fois de plus de l’effet du courant turbide du plateau librevillois. Par contre, les proportions élevées mises en évidence au niveau de la zone Sud sont la conséquence de l’effet de triage et d’affinement des sédiments sous dérive littorale. Toutefois l’effet des conditions environnementales locales au niveau de chaque profil peut être à l’origine des changements observés dans les proportions. A titre d’exemple, la faible proportion d’une sédimentation fine enregistrée au niveau du profil S. Kalikak s’explique par l’affleurement du platier rocheux qui produit une agitation plus importante par les vagues, non favorable à une sédimentation fine.

### **7.3. Variabilité interannuelle pour les profils de références**

Afin de mieux apprécier la variabilité interannuelle des classes granulométriques, une analyse a été faite au niveau des cinq profils pour lesquels les prélèvements ont été faits aux mêmes endroits pour les trois séries (2011, 2012 et 2014). Il s’agit des profils Dialogue, H.

Atlantique, Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RD et Cocoteraie. La comparaison de ces différentes séries de données permet de mettre en évidence la variabilité interannuelle des processus de transport et de sédimentation, au niveau de chaque point de prélèvement. Dans un premier temps, il sera question d'analyser la variabilité interannuelle pour les échantillons du bas de plage, suivi de ceux de la moyenne plage et, enfin, ceux du haut de plage.

### 7.3.1. Variabilité interannuelle des classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage

Les classes granulométriques des échantillons du bas de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014 sont représentées par le Tableau 30, ci-après.

**Tableau 30:** Classes granulométriques des sables du bas de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie.

PROFILS	ANNEES	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2011	0,0	0,1	0,3	1,0	68,7	29,9
	2012	0,0	0,1	0,2	1,4	71,2	27,0
	2014	0,0	0,0	0,2	1,0	56,3	42,6
H. Atlantique	2011	0,0	0,9	63,2	17,4	11,5	6,9
	2012	0,0	0,9	40,6	21,4	31,7	5,4
	2014	0,0	0,2	31,2	26,6	38,4	3,6
Plage du Remorqueur	2011	0,0	0,6	8,9	38,5	48,2	3,8
	2012	0,1	5,2	45,7	41,4	7,0	0,6
	2014	0,1	1,2	10,2	19,6	58,2	10,8
R. Simba 1-RD	2011	0,7	6,6	23,3	16,4	32,7	20,9
	2012	4,7	19,2	16,6	5,0	23,0	33,9
	2014	0,0	17,8	30,9	12,2	31,5	7,5
Cocoteraie	2011	7,7	11,2	23,8	9,4	28,4	23,8
	2012	16,1	40,8	28,4	3,8	12,8	4,4
	2014	0,0	0,1	7,4	16,7	60,9	15,0

Source : Mouyalou V. M. T.

D'une manière générale, la variabilité interannuelle des différentes classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage est mise en évidence sur l'ensemble des profils de référence. Cependant, cette variabilité ne s'exprime pas de façon uniforme. En effet, deux profils se caractérisent par une variabilité plus importante. Il s'agit des profils Plage du Remorqueur et Cocoteraie. Au sein de ces profils, il y a également une distinction qui se fait au niveau des classes granulométriques. Pour le profil Plage du Remorqueur, les classes granulométriques concernées par cette variabilité sont respectivement STG, SG, SM,

SF et STF. En prenant en compte les différentes valeurs des classes granulométriques, un ratio par rapport à la baisse ou à l'augmentation de la classe a été établi. Il ressort de cette analyse que les variabilités interannuelles les plus importantes sont enregistrées au niveau des classes granulométriques STG et STF. En effet, entre 2011 et 2012, la proportion de la classe granulométrique STG est passée de 0,6 à 5,2%, correspondant à un facteur de multiplication d'environ neuf fois plus. Pour la classe STF, le facteur de multiplication entre 2012 et 2014 est d'environ dix-huit fois plus. Ceci peut être traduit comme étant une manifestation de la variabilité saisonnière et interannuelle des conditions de transport et de sédimentation au niveau du bas de plage.

### 7.3.2. Variabilité interannuelle des classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage

Le Tableau 31, ci-après, présente les classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage pour les séries 2011, 2012 et 2014. La variabilité interannuelle des différentes classes granulométriques, des échantillons de la moyenne plage pour les séries 2011, 2012 et 2014, a été mise en évidence sur l'ensemble des profils de référence. Trois profils se distinguent particulièrement par cette variabilité interannuelle : la Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RD et La Cocoteraie.

**Tableau 31:** Classes granulométriques des sables de la plage moyenne pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie.

PROFILS	ANNEES	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2011	0,0	0,0	0,1	0,2	65,8	33,9
	2012	0,0	0,0	0,1	0,5	68,2	31,3
	2014	0,0	0,0	0,0	0,4	54,9	44,7
H. Atlantique	2011	0,0	0,0	17,5	34,5	46,7	1,4
	2012	0,0	0,2	30,3	23,0	40,3	6,1
	2014	0,0	0,0	1,4	9,2	85,3	4,1
Plage du Remorqueur	2011	0,0	0,2	9,2	43,3	43,0	4,3
	2012	0,0	4,0	37,9	33,4	21,4	3,2
	2014	0,0	0,1	3,0	22,4	70,0	4,5
R. Simba 1-RD	2011	0,0	0,1	0,3	7,9	82,8	9,0
	2012	0,3	11,2	31,8	23,8	26,5	6,6
	2014	0,0	0,4	3,6	13,3	74,8	7,9
Cocoteraie	2011	0,0	0,1	1,6	1,8	60,8	35,6
	2012	0,0	0,0	0,2	0,9	93,9	4,9
	2014	0,0	0,0	0,0	0,3	81,1	18,6

Source : Mouyalou V. M. T.

Au niveau du profil Plage du Remorqueur, les classes granulométriques suivantes sont concernées par cette importante variabilité interannuelle. Pour la CGSTG, les proportions sont 0,2, 4 et 0,1 respectivement pour les années 2011, 2012 et 2014. Ainsi, entre 2011 et 2012, la CGSTG a vu sa proportion augmenter de plus de 20 fois, par rapport à sa proportion de 2011. Ensuite, en 2014, la CGSTG a baissé de quarante fois, par rapport à sa proportion de 2012.

Toujours au niveau de ce profil un autre cas de variabilité interannuelle a été mis en évidence. Il s'agit de la CGSG dont les proportions sont de 9,2, 37,9 et 3%, respectivement pour les années 2011, 2012 et 2014. En 2014, la proportion de cette classe a baissé de plus de douze fois par rapport à la valeur de cette classe en 2012.

Par rapport au profil R. Simba 1-RD, la classe granulométrique marquée par cette variabilité interannuelle est le STG. En effet, entre 2011 et 2012, sa proportion est passée de 0,1 à 11,2 %, soit une augmentation de plus de cent douze fois par rapport à 2011. Le dernier profil marqué par cette variabilité est celui de la Cocoteraie. Les classes granulométriques impliquées dans cette variabilité sont la CGSG et la CGSTF. Pour la CGSG, entre 2011 et 2012, sa proportion est passée de 1,6 à 0,2%, correspondant à une baisse de plus de huit fois par rapport à la proportion de 2011.

En ce qui concerne la CGSTF, plusieurs cas de variabilité ont été mis en évidence. Le cas le plus éloquent concerne les années 2011 et 2012. En effet entre 2011 et 2012, la proportion de cette classe granulométrique est passée de 35,6 à 4,9%. Cette variation correspond à une baisse de plus de sept fois. Par la suite entre 2012 et 2014, la valeur de cette classe granulométrique a varié de 4,9 à 18,6%, soit une augmentation de près de quatre fois.

### **7.3.3. Variabilité interannuelle des classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage**

Le Tableau 32, ci-après, présente les classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014.

**Tableau 32:** Classes granulométriques des sables du haut de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie.

PROFILS	ANNEES	CLASSES GRANULOMETRIQUES EN POURCENTAGE (%)					
		G	STG	SG	SM	SF	STF
Dialogue	2011	0,0	0,0	0,1	0,3	89,6	10,0
	2012	0,0	0,0	0,0	0,5	75,6	23,9
	2014	0,0	0,0	0,0	0,3	69,9	29,8
H. Atlantique	2011	0,0	0,2	45,9	29,2	23,6	1,1
	2012	0,0	0,2	30,0	40,9	27,9	0,9
	2014	0,0	0,1	34,4	38,3	26,4	0,8
Plage du Remorqueur	2011	0,0	0,1	7,7	52,4	35,3	4,5
	2012	0,1	1,8	42,4	44,8	10,6	0,4
	2014	0,0	4,8	37,1	42,0	15,7	0,3
R, Simba 1-RD	2011	0,1	2,2	31,8	33,7	30,1	2,2
	2012	0,0	2,5	25,6	52,0	18,9	1,0
	2014	0,0	0,5	13,7	48,4	36,5	0,9
Cocoteraie	2011	0,0	0,1	0,5	1,6	87,4	10,5
	2012	0,0	0,2	4,5	9,7	79,8	5,8
	2014	0,0	0,0	0,5	7,9	85,6	6,0

Source : Mouyalou V. M. T.

La variabilité interannuelle des différentes classes granulométriques, pour les échantillons de la moyenne plage des séries 2011, 2012 et 2014, a été mise en évidence sur l'ensemble des cinq profils de référence. Deux profils se distinguent particulièrement par cette variabilité interannuelle : la Plage du Remorqueur et La Cocoteraie.

Par rapport au profil Plage du Remorqueur, deux classes granulométriques sont concernées par une importante variabilité interannuelle, en 2011 et 2012, la proportion de cette classe granulométrique. Il s'agit des classes STG et STF. Pour la classe STG, les proportions sont de 0,1, 1,8 et 4,8%, respectivement pour les années 2011, 2012 et 2014. À cet effet, entre 2011 et 2012, la proportion de la classe STG est passée de 0,1 à 1,8, soit une augmentation de dix huit fois plus. Ensuite en 2014, cette proportion a atteint 4,8%, soit une augmentation exceptionnelle d'environ quarante-huit fois par rapport à celle de 2011. En ce qui concerne la classe granulométrique STF, une variabilité interannuelle est également mise en évidence en ce qui concerne les années 2011, 2012 et 2014. En effet, entre 2011 et 2012, elle est passée de 4,5 à 0,4%, soit une baisse d'environ onze fois. Par la suite, en comparant

les proportions de 2011 et 2014, on obtient des proportions qui passent de 4,5 à 0,3%, soit une baisse de quinze fois par rapport à la proportion de 2011.

Le deuxième secteur au niveau duquel a été mise en évidence une variabilité interannuelle est le profil Cocoteraie. La classe granulométrique mise en cause ici est le SG. En effet, cette classe se caractérise par les proportions suivantes 0,5, 4,5 et 0,5% respectivement pour les années 2011, 2012 et 2014. Entre 2011 et 2012, la proportion de la CGSG a connu une augmentation d'environ neuf fois par rapport à la valeur de 2011. De plus, entre 2012 et 2014, cette classe est passée de 4,5 à 0,5 %, soit une baisse de neuf fois par rapport à la proportion de 2012.

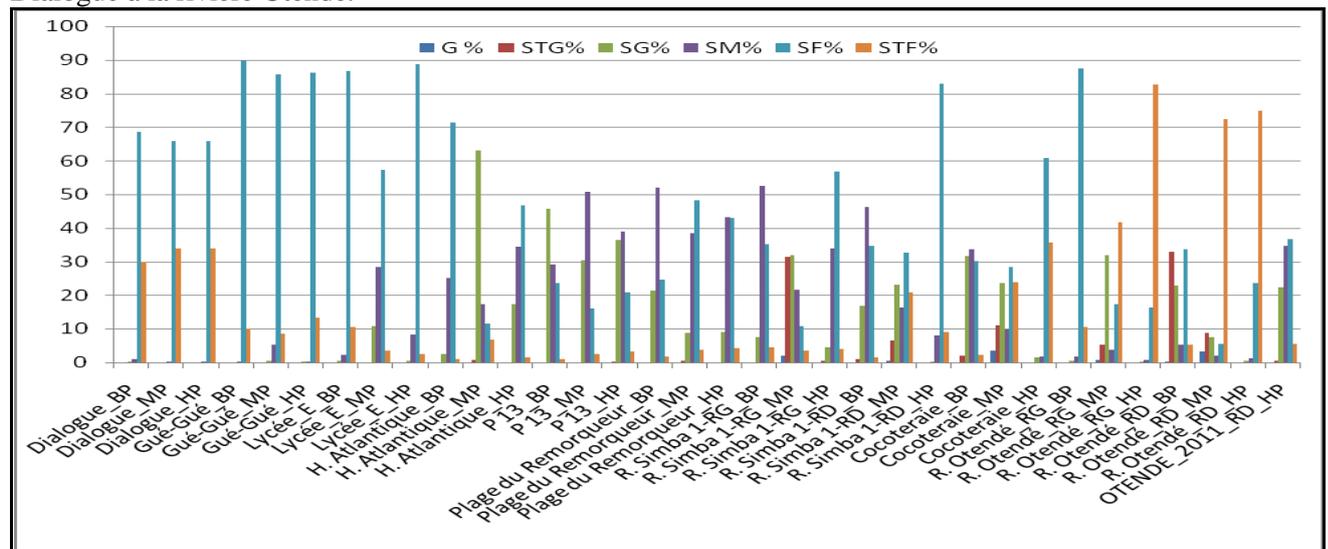
#### **7.3.4. Distribution des classes granulométriques suivant le profil longitudinal**

Afin d'analyser la distribution spatio-temporelle des différentes classes granulométriques, l'ensemble des classes obtenues au niveau de tous les points de prélèvement pour chaque série a été reportée sur un même graphique. L'objectif visé par cette démarche méthodique est la caractérisation des différentes plages sableuses, dans notre zone d'étude, à travers la prédominance ou la faiblesse de certaines classes granulométriques par rapport à d'autres. Pour cette analyse, la démarche suivante a été retenue. Ainsi, il a été question à travers la comparaison des séries de 2011 et 2012, de discriminer les différents compartiments qui se caractérisent par un assemblage bien défini de classes granulométriques. Ensuite, il a été question de confronter ce découpage à la série de 2014 afin, d'une part, de vérifier la pertinence de ce découpage et, d'autre part, d'évaluer l'étendue spatiale de chaque compartiment identifié.

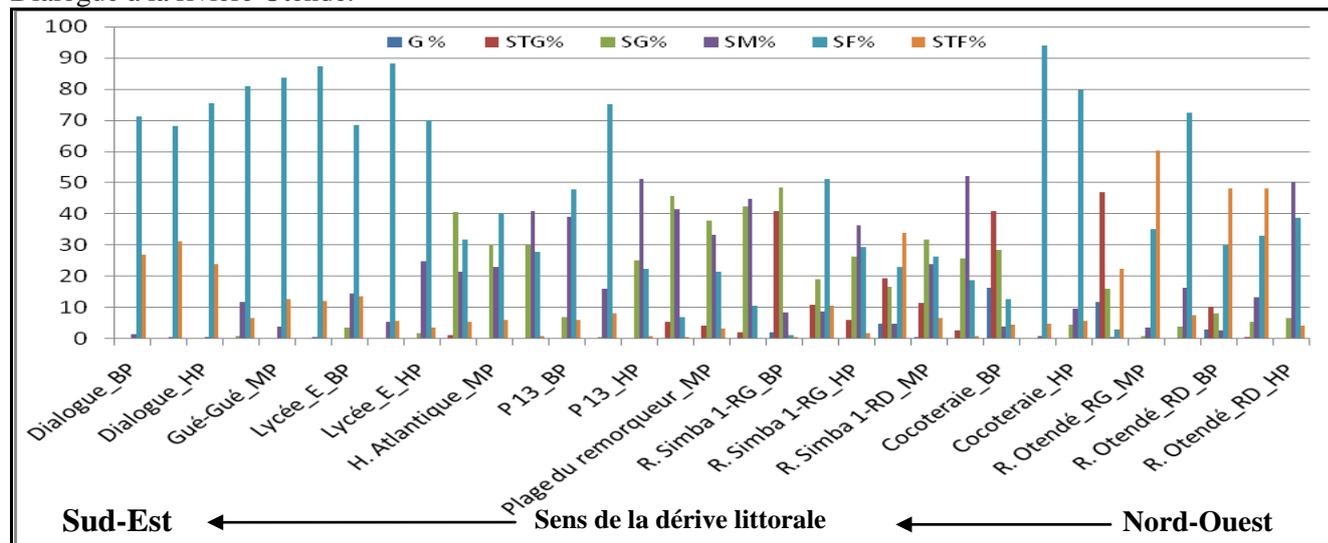
##### **7.3.4.1. Les différents compartiments des classes granulométriques**

Les Figures 92 et 93, ci-après, permettent de mieux comparer la distribution suivant le profil longitudinal des différentes classes granulométriques pour les séries 2011 et 2012. Il ressort de la comparaison de ces deux figures une certaine variabilité interannuelle des différentes classes granulométriques.

**Figure 92:** Variation des différentes classes granulométriques des sables intertidaux pour la série 2011 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.



**Figure 93:** Variation des différentes classes granulométriques des sables intertidaux pour la série 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.

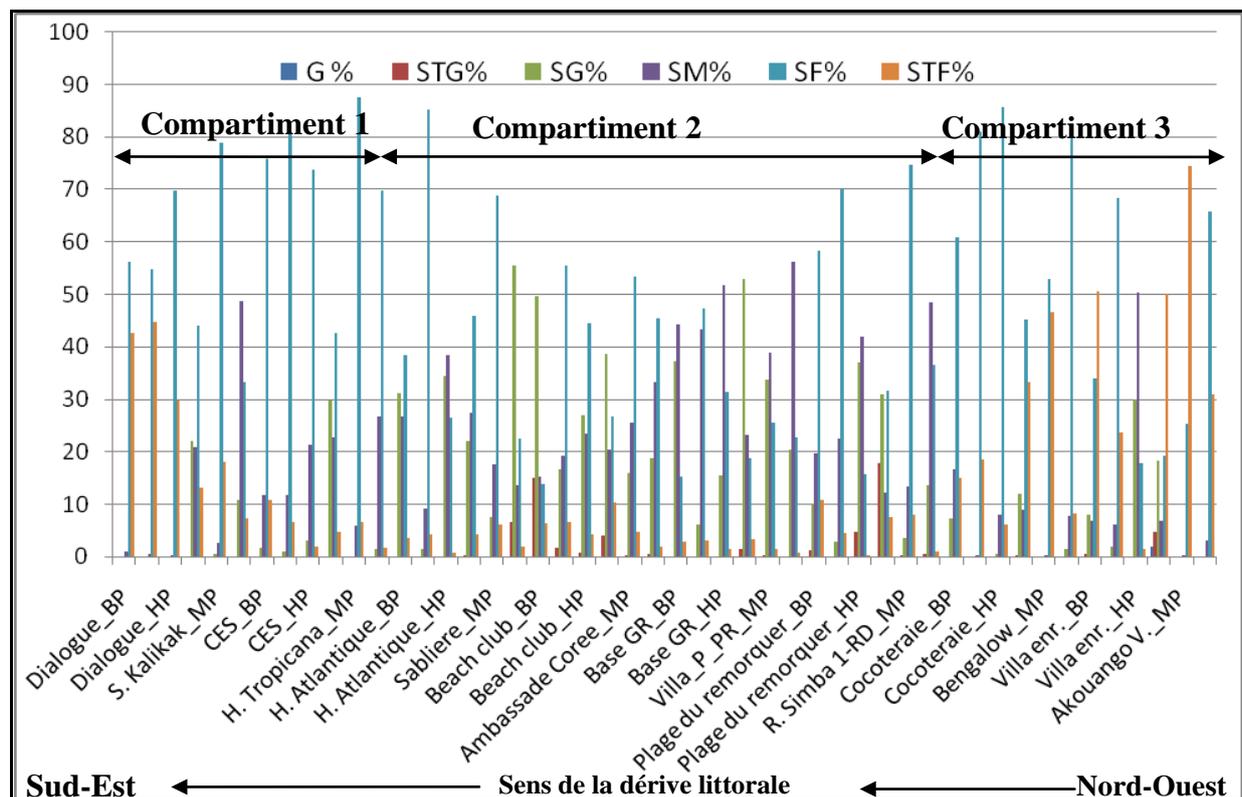


Source : Mouyalou V. M. T.

À titre d'exemple, on observe une diminution de la proportion de la classe granulométrique STF au niveau des profils situés de part et d'autre de la rivière Otendé. En effet, en 2011, on enregistre des fortes proportions comprises entre 70 et 90 %. À l'inverse, en 2012, au détriment des profils, les proportions les plus importantes varient entre 40 et 60 %. Dans le même sens, cette variabilité est également remarquable pour la classe granulométrique des SG, qui connaît une baisse entre 2011 et 2012 au niveau des profils H. Atlantique et P13.

En établissant des corrélations spatiales avec la série 2014, l'analyse de la distribution et l'association des différentes classes granulométriques ont permis de mettre en évidence trois grands compartiments bien distincts (Figure 94, ci-après).

**Figure 94:** Variation des différentes classes granulométriques des sables intertidaux de la série 2014 de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.



Source : Mouyalou V. M. T.

Il faut préciser que cette classification est essentiellement basée sur la prise en compte des classes granulométriques dominantes supérieures ou égales à 30 %, soit trois segments côtiers.

**Le compartiment 1** correspond au secteur allant de l'hôtel Dialogue au Conseil Economique et Social (CES), soit un linéaire côtier de 2 km. En ne prenant en compte que les classes granulométriques dominantes, il se caractérise par l'association des SF et STF.

**Le compartiment 2** correspond au segment côtier allant du Lycée d'Etat de l'Estuaire à la rive droite de la rivière Simba1, soit un linéaire côtier d'environ 8,5 km. Ce compartiment se caractérise par la dominance des classes SG, SM et SF.

**Le compartiment 3** correspond au segment côtier allant de la Cocoteraie au complexe touristique Akouango Village, soit un linéaire côtier d'environ 3 km. Il se caractérise par la dominance des classes SF et STF.

En conclusion, l'étude de la dynamique sédimentaire de la plage intertidale a également été analysée en faisant recours à l'utilisation de la méthode des classes granulométriques. La granulométrie a permis de mettre en évidence la variabilité des processus de transport et de sédimentation. Les sédiments sont composés par l'association de plusieurs classes granulométriques, allant des graviers aux sables très fins. Les classes granulométriques grossières sont composées d'éléments détritiques issus de trois origines possibles. Il peut s'agir des éléments siliceux dits lithoclastiques (débris de roches) ou des éléments calcaires, ou bioclastiques (principalement des débris coquilliers).

À ces deux types s'ajoutent les éléments d'origine anthropique composés le plus souvent des débris latéritiques et de ciment issus de la destruction d'anciennes constructions par l'érosion côtière. D'une façon générale, la sédimentation fine est mise en évidence dans la baie de La Sablière, au Nord de la baie d'Akouango, et au Sud entre la rivière Gué-Gué et l'hôtel Dialogue. La sédimentation fine dans la zone Sud s'explique par l'affinement des sédiments issus des processus de la dérive littorale depuis le NO vers le SE, conformément à l'orientation de la côte. En ce qui concerne la sédimentation fine dans la zone Nord, il s'agit de l'effet des apports turbides du courant librevillois par les processus tidaux, dont la conséquence est une sédimentation fine dans la baie de la Sablière. Ce processus est renforcé par le caractère abrité que constitue le Cap Santa Clara et la dérive littorale inverse orientée vers le Nord depuis les environs de la Cocoteraie jusqu'au Cap Santa Clara.

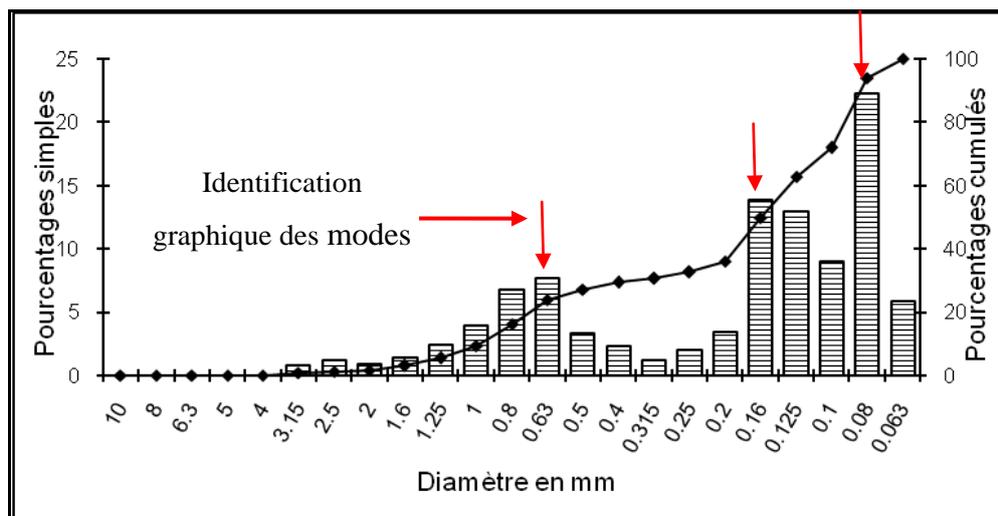
L'analyse de la variation des classes granulométriques, suivant le profil longitudinal, démontre qu'il est difficile d'établir une filiation entre les différents sédiments depuis l'amont vers l'aval transit. Ce résultat conduit à penser à l'existence de plusieurs cellules hydrosédimentaires, au niveau desquelles se dégage une cohérence dans l'association des classes granulométriques. Les causes originelles de la distribution des classes granulométriques sont d'origine anthropique. En effet, les zones où les classes granulométriques grossières sont les plus dominantes correspondent majoritairement aux zones les plus anthropisées.

## CHAPITRE 8 : APPROCHE MODALE DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGE INTERTIDALE

L'analyse des modes est une méthode qui permet également de caractériser les sédiments. Cette méthode permet de prendre en compte aussi bien les échantillons unimodaux que plurimodaux. Le mode est tiré de l'histogramme de fréquences cumulées et correspond à la classe granulométrique la plus représentée dans un sédiment. Dans la nature, les sédiments peuvent être constitués d'un seul mode ; cet échantillon est dit unimodal. À l'inverse, plusieurs classes modales plus ou moins bien marquées peuvent caractériser un sédiment ; il s'agit de distribution plurimodale (PM).

La Figure 95, ci-après, illustre un exemple d'identification graphique du mode sur une courbe granulométrique pour un échantillon du bas de plage du profil Akouango Village.

**Figure 95:** Identification graphique des modes sur une courbe granulométrique.



Source : Mouyalou V. M. T.

Pour cette analyse, il est tout indiqué d'apporter des précisions sur les termes utilisés. Il s'agit principalement du caractère modal et de l'analyse modale. Le caractère modal se base sur le nombre de modes présents dans un sédiment. Il peut être unimodal (UM), bimodal (BM) ou trimodal (TM). L'analyse modale, quant à elle, prend en compte la valeur numérique de chaque mode. Fort de ces précisions, l'analyse de la dynamique sédimentaire par la méthode des modes sera focalisée sur le caractère modal et l'analyse modale.

## 8.1. Le caractère modal

La variabilité du caractère modal est utilisée pour différencier les différents sédiments et, par voie de conséquence, la dynamique sédimentaire. Ainsi, l'analyse de la dynamique sédimentaire par le caractère modal se fera selon plusieurs approches que sont respectivement : *Primo*, l'analyse de la répartition du caractère modal par année, *Secundo*, la répartition du caractère modal par point de prélèvement et par année ; *tertio*, la répartition du caractère modal suivant le profil longitudinal et par année et, enfin, *quarto*, l'évolution du caractère modal au niveau des profils de référence pour les années 2011, 2012 et 2014.

### 8.1.1. Répartition du caractère modal par année

Pour l'ensemble des échantillons, il nous a paru capital d'analyser la variation du caractère modal en établissant une comparaison interannuelle (Tableau 33, ci-après). La comparaison la plus fiable est pour les années 2011 et 2012, où les profils et les points de prélèvement ont été rigoureusement respectés. Toutefois, dans les sections suivantes de ce travail, une comparaison a été faite au niveau des cinq profils (profils de référence), qui se superposent pour les trois séries de données (2011, 2012 et 2014).

**Tableau 33:** Répartition des différents caractères modaux des sables intertidaux pour les séries 2011, 2012 et 2014.

Année	Nbre d'échantillon et pourcentage	Caractère modal			
		unimodal	bimodal	trimodal	Total
2011	Nbre d'échantillon	10	16	7	33
	Pourcentage	30,30%	54,55%	15,15%	100,00%
2012	Nbre d'échantillon	11	20	2	33
	Pourcentage	33,33%	60,61%	6,06%	100,00%
2014	Nbre d'échantillon	12	20	16	48
	Pourcentage	25,00%	41,67%	33,33%	100%

Source : Mouyalou V. M. T.

Pour les données de 2011, le caractère bimodal est dominant (54,55%), suivi du unimodal (30,30%) et enfin du trimodal (15,15%).

En 2012, cette tendance se confirme, avec cependant pour 2012 une augmentation du pourcentage des caractères bimodal et unimodal, qui sont respectivement de 60,61% et 33,33 %, au détriment d'une baisse du pourcentage du caractère trimodal qui va de 15,15 % à 6,06 % par rapport à 2011.

À l'inverse pour 2014, ce sont les caractères bimodaux et trimodaux qui sont dominants, avec respectivement 41,67% et 33,33 %, contre 25% pour le caractère unimodal. Pour ces données, toute proportion gardée, la prépondérance du caractère trimodal par rapport à l'unimodal nécessite une attention toute particulière. Cependant, il est prudent de ne pas s'avancer dans des conclusions trop hâtives en faisant une comparaison entre les différentes séries de données. En effet, cela ne témoigne pas nécessairement d'une diminution d'ou une augmentation de la fréquence d'un mode au détriment des autres, mais peut-être tout simplement un effet de la densité des points de prélèvements plus importants pour la série 2014 par rapport aux autres années.

Le caractère plurimodal des sédiments superficiels de la plage intertidale a motivé l'analyse de la variabilité spatio-temporelle du caractère modal. Le but visé ici est l'utilisation du caractère modal comme indicateur de la variabilité de la dynamique sédimentaire au niveau de chaque point de prélèvement, mais également suivant le profil longitudinal. Par rapport à ces résultats, il nous est paru capital de poursuivre l'analyse en établissant des comparaisons, au niveau de chaque point de prélèvement et par profil, afin de mieux évaluer l'évolution du caractère modal aussi bien suivant le profil transversal que longitudinal. Un accent sera également mis sur les cinq profils, qui se superposent pour les trois séries de données, afin de mieux mettre en évidence les changements opérés dans les conditions de transport et de sédimentation à travers l'analyse du caractère modal.

### **8.1.2. Répartition du caractère modal par point de prélèvement et par année**

Le Tableau 34, ci-après, présente les proportions des différents caractères modaux par point de prélèvement et par année. Par rapport aux points de prélèvement, il ne se dégage pas un modèle de distribution du caractère modal pour les différentes séries de données.

**Tableau 34:** Répartition en pourcentage des différents caractères modaux des sables intertidaux par point de prélèvement pour les séries 2011, 2012 et 2014.

CARACTERE MODAL	ANNEES								
	2011			2012			2014		
	BP	MP	HP	BP	MP	HP	BP	MP	HP
<b>unimodal</b>	9,09	9,09	12,12	6,06	18,18	9,09	2,08	10,42	12,50
<b>bimodal</b>	12,12	18,10	18,18	21,21	15,15	24,24	16,67	12,50	12,50
<b>trimodal</b>	12,12	6,00	3,03	6,06	0,00	0,00	14,58	10,42	8,33

Source : Mouyalou V. M. T.

Le Tableau 34, ci-avant, permet d’apprécier la distribution des caractères modaux par point de prélèvement par année.

Pour 2011, le caractère bimodal est dominant aussi bien au niveau du bas de plage, de mi- plage que dans le haut de plage, avec respectivement 12,12%, 18,18% et 18,18%. Est notable le caractère dominant des échantillons de la moyenne plage. La proportion la plus notable du caractère trimodal est enregistrée pour des échantillons de bas de plage, avec quelques faibles apparitions à la mi-plage et au haut de plage.

Pour la série 2012, la prépondérance du caractère bimodal est mise en évidence au niveau du bas de plage et du haut de plage, avec un maximum pour le haut de plage. Contrairement à celles de 2011, où seuls les échantillons du bas de plage se caractérisent par le caractère trimodal.

En 2014, le caractère bimodal reste dominant pour l’ensemble des échantillons avec, cependant, une légère abondance pour les échantillons du bas de plage. Le caractère trimodal est dominant pour les échantillons du bas de plage suivi de la plage moyenne. Pour l’ensemble des trois séries de données le caractère bimodal, qui est le plus dominant, se retrouve en proportion quasi identique ; avec toutefois une légère dominance pour le haut de plage 18%, contre 17% et 16 % , respectivement pour le bas et la moyenne plage.

Pour l’ensemble des données, il nous est paru nécessaire de voir la contribution de chaque caractère modal par point de prélèvement (Tableau 35, ci-après).

**Tableau 35:** Proportion en pourcentage des différents caractères modaux par point de prélèvement des échantillons (2011, 2012, 2014).

<b>Caractère modal</b>	<b>BP</b>	<b>MP</b>	<b>HP</b>
unimodal	4,39	13,16	11,40
bimodal	16,67	15,79	17,54
trimodal	11,40	5,26	4,39

Source : Mouyalou V. M. T.

Ces données permettent de mettre en évidence la faible proportion du caractère unimodal dans les échantillons du bas de plage (4,39%), ainsi que le trimodal pour le haut de plage. Les proportions les plus dominantes concernent principalement le caractère bimodal.

De façon globale, on peut retenir que les proportions des différents caractères modaux évoluent de façon quelconque. Les caractères modaux, associés aux proportions les plus importantes pour les points de prélèvement du bas de plage, sont le bimodal et le trimodal au détriment de l'unimodal. Ensuite, au niveau de la moyenne plage, le caractère bimodal reste dominant, suivi de l'unimodal et, enfin, du trimodal. Pour les échantillons du haut de plage, les caractères modaux les plus importants sont respectivement le bimodal, l'unimodal et enfin le trimodal.

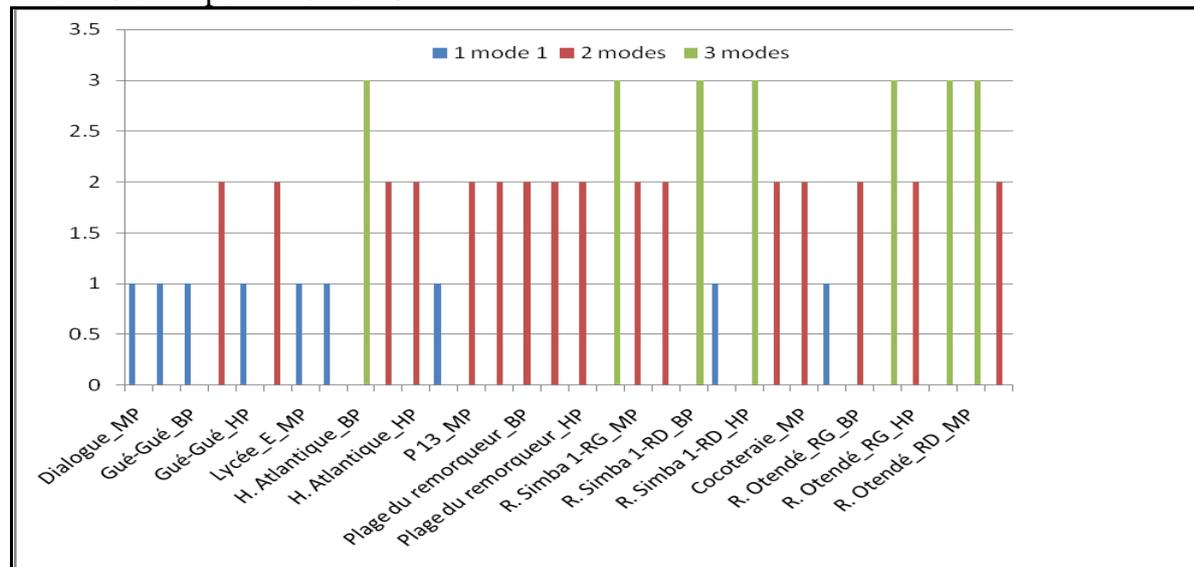
La faible proportion du caractère unimodal pour les échantillons du bas de plage témoigne, une fois de plus, du caractère perturbé du système côtier. On peut ainsi admettre que ce résultat est bien à l'image de la somme des échantillons, comme l'atteste la présence des échantillons plurimodaux aussi bien sur la plage qu'au haut de plage. La question centrale, qui se pose, est celle de comprendre le processus au cœur de la mise en place des ces échantillons plurimodaux aussi bien sur le bas, la moyenne et le haut de plage. Peut-on interpréter ce modèle de distribution des caractères modaux comme étant la conséquence de la succession de plusieurs phases érosives, ayant mis en évidence des sédiments différents les uns des autres et constituant des dépôts divers et variés. En présence d'un triage médiocre (faiblesse des échantillons unimodaux), il est difficile de croire aux apports issus du transit sédimentaire. Il s'agit plutôt en majorité du remaniement local à l'échelle du profil.

### **8.1.3. Répartition du caractère modal suivant le profil longitudinal et par année**

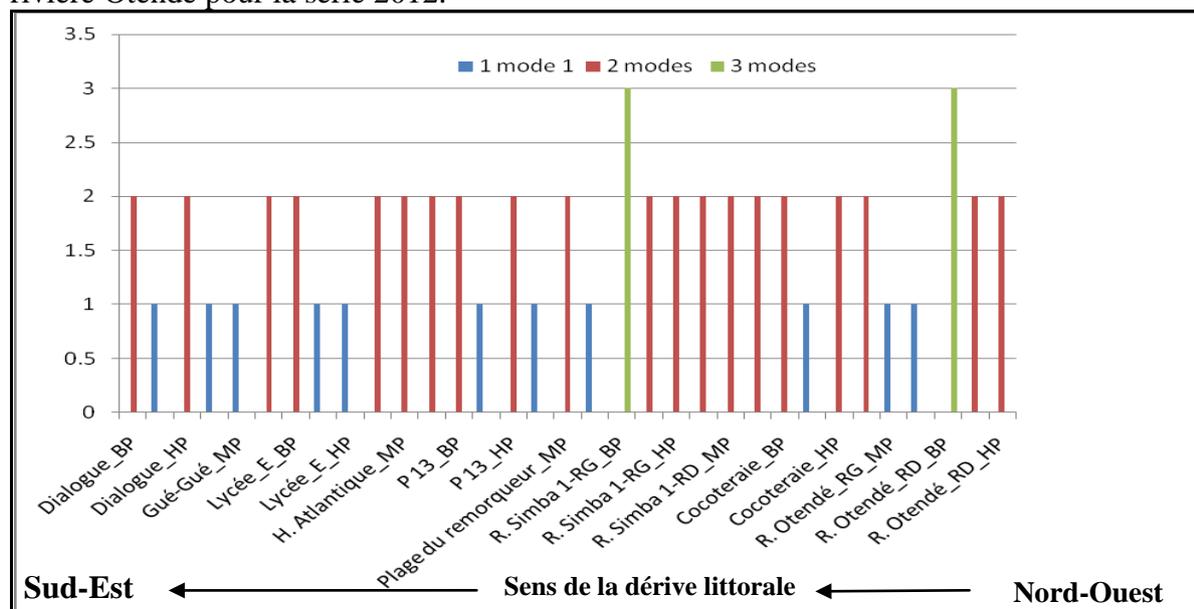
#### **8.1.3.1. Les données de 2011 et 2012**

Les Figures 96 et 97, ci-après, permettent d'apprécier la variation spatio-temporelle des différents caractères modaux suivant le profil longitudinal.

**Figure 96:** répartition du caractère modal des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé pour la série 2011.



**Figure 97:** Répartition du caractère modal des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé pour la série 2012.



Source : Mouyalou V. M. T.

En superposant les données de 2011 et 2012, on note une importante variation du caractère trimodal matérialisé par sa disparition au niveau des prélèvements des profils H. Atlantique, R. Simba 1-RD et Cocoteraie. Les autres faits remarquables, sont la diminution du caractère unimodal entre les profils Dialogue et H. Atlantique et son apparition au niveau des profils Sablière, Plage du Remorqueur et R. Otendé. Par contre, le caractère bimodal semble se maintenir sur l'ensemble de la zone d'étude, bien que son absence soit enregistrée au niveau de quelques points de prélèvements.

Afin d'approfondir l'analyse sur la variation spatio-temporelle des caractères modaux observées au niveau du profil longitudinal pour les années 2011 et 2012, il nous est paru nécessaire d'effectuer une comparaison au niveau de chaque point de prélèvement (Tableau 36, ci-après).

**Tableau 36:** Mise en évidence de la variabilité spatio-temporelle du caractère modal des sables intertidaux pour les séries 2011 et 2012 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé

PRELEVEMENTS	CARACTERE MODAL						MUTATION DU CARACTERE MODAL						
	2011			2012			5	0	7	0	1	4	16
	UM	BM	TM	UM	BM	TM	1→2	1→3	2→1	2→3	3→1	3→2	Stable
Dialogue_BP	1	0	0	0	2	0	1						
Dialogue_MP	1	0	0	1	0	0							1
Dialogue_HP	1	0	0	0	2	0	1						
Gué-Gué_BP	1	0	0	1	0	0							1
Gué-Gué_MP	0	2	0	1	0	0			1				
Gué-Gué_HP	1	0	0	0	2	0			1				
Lycée_E_BP	0	2	0	0	2	0							1
Lycée_E_MP	1	0	0	1	0	0							1
Lycée_E_HP	1	0	0	1	0	0							1
H. Atlantique_BP	0	0	3	0	2	0						1	
H. Atlantique_MP	0	2	0	0	2	0							1
H. Atlantique_HP	0	2	0	0	2	0							1
P 13_BP	1	0	0	0	2	0	1						
P 13_MP	0	2	0	1	0	0			1				
P 13_HP	0	2	0	0	2	0							1
Plage du Remorqueur BP	0	2	0	1	0	0			1				
Plage du Remorqueur MP	0	2	0	0	2	0							1
Plage du Remorqueur HP	0	2	0	1	0	0			1				
R. Simba 1-RG_BP	0	0	3	0	0	3							1
R. Simba 1-RG_MP	0	2	0	0	2	0							1
R. Simba 1-RG_HP	0	2	0	0	2	0							1
R. Simba 1-RD_BP	0	0	3	0	2	0						1	
R. Simba 1-RD_MP	1	0	0	0	2	0	1						
R. Simba 1-RD_HP	0	0	3	0	2	0						1	
Cocoteraie_BP	0	2	0	0	2	0							1
Cocoteraie_MP	0	2	0	1	0	0			1				
Cocoteraie_HP	1	0	0	0	2	0	1						
R. Otendé_RG_BP	0	2	0	0	2	0							1
R. Otendé_RG_MP	0	0	3	1	0	0					1		
R. Otendé_RG_HP	0	2	0	1	0	0			1				
R. Otendé_RD_BP	0	0	3	0	0	3							1
R. Otendé_RD_MP	0	0	3	0	2	0						1	
R. Otendé_RD_HP	0	2	0	0	2	0							1

Source : Mouyalou Vivino M. T.

Cette démarche a permis de mettre en évidence plusieurs types de mutation du caractère modal, au niveau des différents points de prélèvement.

À ces mutations, il faut ajouter bon nombre de cas où les points de prélèvements ont conservé leurs caractéristiques modales.

Le Tableau 36, page ci-avant, présente l'ensemble des cas de mutation de mode. Ces mutations mises en évidence sont les suivantes :

- un mode vers deux modes (1→2) ;
- deux modes vers un mode (2→1) ;
- deux modes vers trois mode (2→3) ;
- trois modes vers un mode (3→1) ;
- trois modes vers deux modes (3→2).
- aucun cas de mutation de un vers trois , ni de deux vers trois modes, n'a été observé.

- **Mutation de un mode vers deux modes**

La comparaison des données de 2011 et 2012 permet de mettre en évidence cinq cas de mutations correspondant au passage d'échantillon du caractère unimodal vers le bimodal, pour le même point de prélèvement. Sur les cinq, deux sont localisés au niveau du bas de plage, deux sur le haut de plage et un au niveau de la moyenne plage. Par rapport au profil, les cas enregistrés au niveau du bas de plage correspondent respectivement aux profils Dialogue, et Sablière. Pour la moyenne plage, il s'agit uniquement du profil R. Simba 1-RD. Enfin, les profils Dialogue et Cocoteraie enregistrent des cas de mutation correspondant au haut de plage.

- **Mutation de deux modes vers un mode**

Ce type de mutation est enregistré au niveau de sept points de prélèvement, avec un au niveau du bas de plage, trois pour la moyenne plage et trois pour le haut de plage. Sablière est le profil au niveau duquel ce type de mutation a été enregistré pour le bas de plage. La moyenne plage, concerne Gué-Gué, Sablière et Cocoteraie. Le haut de plage est pour les profils Gué-Gué, Plage du Remorqueur et R. Otendé\_RG.

- **Mutation de trois modes vers deux modes**

Le passage du caractère trimodal vers le bimodal est enregistré au niveau de quatre échantillons, avec deux pour le bas de plage, et un respectivement pour le haut et la moyenne plage. Les profils correspondant à ce cas de mutation, pour le bas de plage, sont H. Atlantique et R. Simba 1-RD. Les deux autres cas sont mis en évidence, respectivement au niveau du profil R. Simba 1-RD pour le haut de plage et R. Otendé\_RD pour la moyenne plage.

- **Mutation de trois modes vers un mode**

Le dernier cas de mutation observé est le passage du caractère trimodal vers l'unimodal. Un seul cas a été enregistré au niveau de la moyenne plage du profil R. Otendé\_RG.

- **Stabilité du caractère modal**

À ces différents points de prélèvement, pour lesquels des cas de mutations de caractère modal ont été mis en évidence, s'ajoutent seize points où aucun cas de mutation n'a été observé. Il s'agit de quatre points de prélèvement pour le caractère unimodal, dix pour le bimodal et enfin deux pour le trimodal.

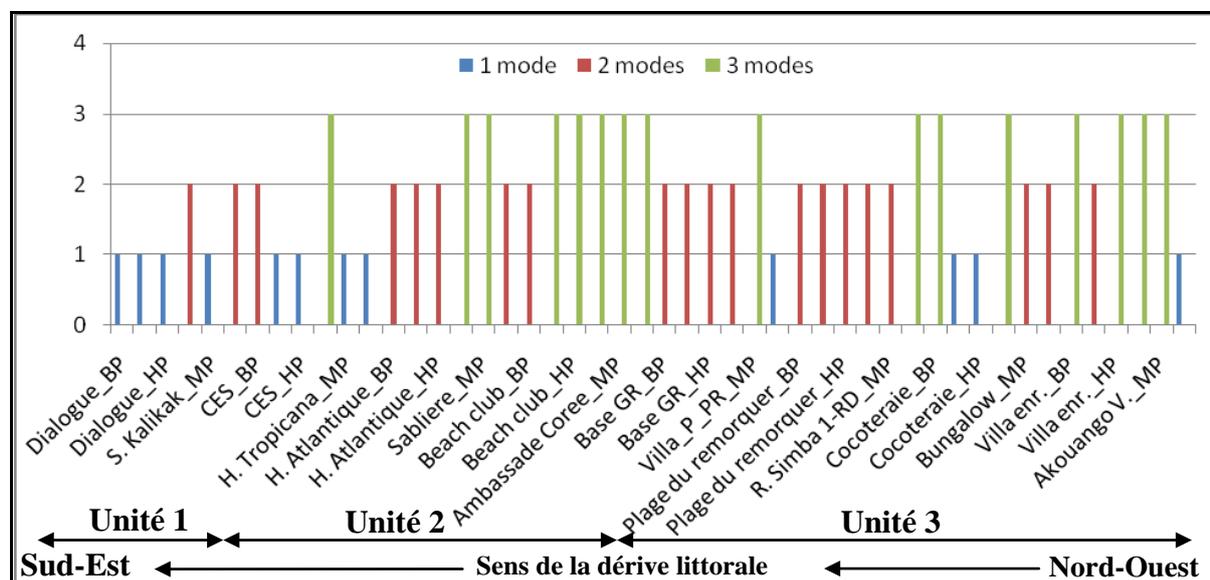
La stabilité du caractère unimodal a été mise en évidence au bas de plage pour le profil Gué-Gué, la moyenne plage pour les profils Dialogue et Lycée\_E et, enfin, le haut de plage pour le profil Lycée\_E.

Pour le caractère bimodal, la stabilité de ce caractère a été mise en évidence au niveau des points de prélèvements suivants. Il s'agit du bas de plage pour les profils Lycée\_E, Cocoteraie et R. Otendé\_RG, la moyenne plage pour les profils H. Atlantique, Plage du Remorqueur, R. Simba 1-RG et, enfin, le haut de plage pour les profils H. Atlantique, Sablière et R. Otendé\_RD. Le caractère trimodal est resté identique pour le bas de plage des profils R. Simba 1-RG et R. Otendé\_RD.

### **8.1.3.2. Les données de 2014**

La Figure 98, ci-après, présente la répartition du caractère modal suivant le profil longitudinal. Ici, la distribution des profils respecte un pas régulier d'un kilomètre, et donc une densité de données plus importante que celles de 2011 et 2012, ce qui justifie le fait qu'aucune comparaison directe n'a été faite entre ces différentes séries de données. Néanmoins, il est important de signaler qu'une comparaison sera faite dans les prochains paragraphes pour les cinq profils de référence des trois séries.

**Figure 98:** Répartition du caractère modal des sables intertidaux de 2014 entre l’hôtel Dialogue et Akoango Village.



Source : Mouyalou V. M. T.

La série 2014, avec plus de points de prélèvements, permet de mieux visualiser la répartition des différents caractères modaux. Elle met en évidence trois principales unités, au sein desquelles les sédiments semblent avoir le même modèle de distribution des caractères modaux. Ces principales unités sont : d’une part, le secteur allant de l’hôtel Dialogue à l’hôtel Tropicana ; d’autre part, de l’hôtel Atlantique au profil situé au niveau de la base de la Garde Républicaine et, enfin, du profil Villa\_P\_PR au complexe touristique Akouango Village.

### Unité 1 : Dialogue – H. Tropicana

Le secteur entre l’hôtel Dialogue et l’hôtel Tropicana se caractérise par la présence et l’association des trois caractères modaux. Les caractères unimodaux et bimodaux sont les plus abondants, au détriment du trimodal dont l’apparition n’est localisée qu’au niveau du point de prélèvement du bas de plage du profil Tropicana.

Il est tout de même capital de s’interroger sur la présence très localisée de ce caractère trimodal, sachant que tous les points de prélèvement des profils autour (amont et aval) ne portent pas cette empreinte. Il pourrait alors s’agir d’un cas de “pollution modale” liés aux activités dans la zone du profil hôtel Tropicana. D’une manière générale, les caractères unimodaux et bimodaux caractérisent cette unité de par leur dominance.

## **Unité 2 : H. Atlantique – Base GR**

Le secteur entre l'hôtel Atlantique et la base de la GR (Garde Républicaine) se caractérise par la totale absence du caractère unimodal. Les caractères bimodaux et trimodaux se regroupent en de petites sous-unités, au niveau desquelles chaque caractère se retrouve seul ou en association. Par exemple, c'est le cas des profils H. Atlantique et Base GR qui sont majoritairement bimodaux, ainsi que Beach\_club et Ambassade de Corée qui sont essentiellement trimodaux.

## **Unité 3 : Villa\_P\_PR – Akouango Village**

Le secteur du profil Villa\_P\_PR à Akouango V., se caractérise par la présence des trois caractères modaux, seuls ou en association. Par exemple, c'est le cas du profil Villa\_P\_PR où, en fonction du point de prélèvement, on enregistre les trois différents caractères modaux. D'autres cas d'association de deux caractères modaux ont aussi été mis en évidence : le cas des profils Cocoteraie et Akouango V., pour l'association des caractères uni et trimodaux ; et les profils Bungalow et Villa\_enr, pour les bimodaux et trimodaux. Dans cette unité, le caractère unimodal est minoritaire. Les caractères bimodaux et trimodaux sont enregistrés avec une proportion quasi identique.

### **8.1.3.3. Évolution du caractère modal au niveau des profils de référence (2011, 2012 et 2014)**

Les caractères modaux pour les années 2011, 2012 et 2014, ont été comparés au niveau de chaque point de prélèvement pour les 5 profils de référence (Tableau 37, ci-après).

**Tableau 37:** Comparaison du caractère modal par point de prélèvement et par année pour les profils de référence entre l'hôtel Dialogue et la Cocoteraie.

Profils et points de prélèvement	Années								
	2011			2012			2014		
	UM	BM	TM	UM	BM	TM	UM	BM	TM
Dialogue_BP	1	0	0	0	2	0	1	0	0
Dialogue_MP	1	0	0	1	0	0	1	0	0
Dialogue_HP	1	0	0	0	2	0	1	0	0
H. Atlantique_BP	0	0	3	0	2	0	0	2	0
H. Atlantique_MP	0	2	0	0	2	0	0	2	0
H. Atlantique_HP	0	2	0	0	2	0	0	2	0
Plage du Remorqueur_BP	0	2	0	1	0	0	0	2	0
Plage du Remorqueur_MP	0	2	0	0	2	0	0	2	0
Plage du Remorqueur_HP	0	2	0	1	0	0	0	0	0
R. Simba 1-RD_BP	0	0	3	0	2	0	0	2	0
R. Simba 1-RD_MP	1	0	0	0	2	0	0	0	0
R. Simba 1-RD_HP	0	0	3	0	2	0	0	0	3
Cocoteraie_BP	0	2	0	0	2	0	0	0	3
Cocoteraie_MP	0	2	0	1	0	0	1	0	0
Cocoteraie_HP	1	0	0	0	2	0	1	0	0

Source : Mouyalou V. M. T.

D'une manière générale, aucun modèle de l'évolution des caractères modaux n'est mis en évidence dans ces trois séries de données. En effet, sur les cinq profils correspondant à quinze points de prélèvements, seuls trois points ont conservé leur caractère modal pour les trois années. Il s'agit du point de prélèvement moyenne plage pour le profil Dialogue, qui a conservé son caractère unimodal ; et les points de prélèvements haut de plage et moyenne plage respectivement pour les profils H. Atlantique et Plage du Remorqueur, pour le caractère bimodal.

En analysant uniquement les données de 2012 et 2014, certains points de prélèvement ont conservé le caractère modal acquis lors de la mutation opérée entre 2011 et 2012. Il s'agit du caractère bimodal pour les points de prélèvement bas de plage et moyenne plage, correspondant aux profils H. Atlantique et R. Simba 1-RD ; ainsi que la moyenne plage du profil Cocoteraie, pour le caractère unimodal. Toutefois, en l'absence de données pour 2013,

il est important de relativiser ce résultat. Il pourrait s'agir d'une mutation cyclique qui s'opère chaque année, ou en fonction des différents cycles de marée. Les prochaines analyses dans la suite de nos travaux permettront de se prononcer à ce sujet. Pour les autres points de prélèvement, plusieurs cas de mutations ont été mis en évidence ; chacun obéissant à un modèle propre qu'il est impossible de généraliser à l'ensemble des points de prélèvement.

En conclusion, on peut dire que l'analyse des caractères modaux a permis de mettre en évidence la variabilité des processus de transport et de sédimentation sur les plages intertidales de notre zone d'étude. Elle a aussi permis de caractériser chaque environnement sédimentaire, suivant le profil longitudinal. Les différentes associations des caractères modaux ont permis de mettre en évidence trois principales zones, au sein desquelles les processus de triage semblent obéir à un modèle cohérent. L'absence d'un modèle de distribution des caractères modaux, applicable à l'ensemble de la zone d'étude, permet également de mettre en évidence le déséquilibre des processus de transport et de sédimentation. La distribution spatio-temporelle des caractères modaux permet également de mettre en évidence les secteurs les plus dynamiques, où les processus de triage par les courants côtiers sont médiocres.

## **8.2. L'analyse modale**

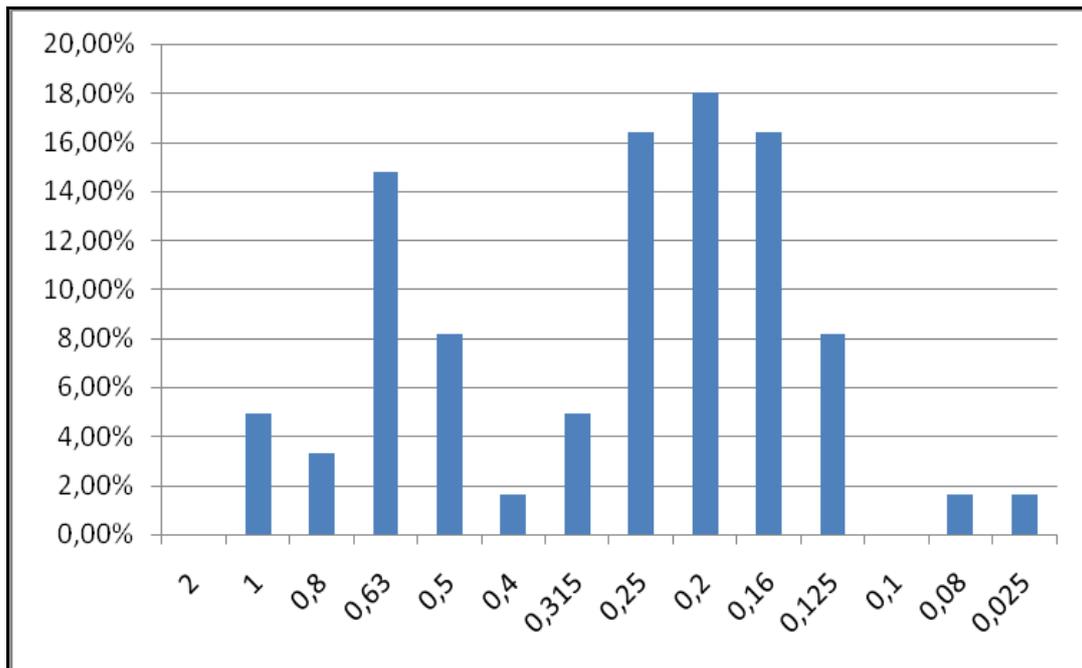
L'analyse modale permet d'étudier la dynamique sédimentaire à travers les processus de transport et de sédimentation. Elle se base sur l'utilisation du mode. Le mode est la valeur de la variable possédant les plus grands effectifs, ou la plus grande fréquence. L'analyse modale passe par la statistique de modes, ainsi que la variation de la valeur modale, pour chaque prélèvement et suivant le profil longitudinal.

### **8.2.1. La statistique des modes pour la série 2011**

Afin de caractériser sur le plan granulométrique et en tenant compte des différents caractères modaux des sédiments de la plage intertidale, il nous est paru nécessaire d'analyser la statistique des modes pour les différentes séries de données. Cette méthode permet de mettre en évidence les modes les plus dominants, ainsi que les différentes associations modales au niveau de chaque série de données.

La statistique des modes pour les données 2011 est représentée par un diagramme. Ce diagramme présente en abscisse les valeurs des modes et en ordonnée leurs pourcentages d'apparition (Figure 99, ci-après).

**Figure 99:** Pourcentage d'apparition des différentes valeurs modales pour l'ensemble des sédiments de la série 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.



Source : Mouyalou V. M. T.

Quatre principales Classes Modales (*CM*) ont été mises en évidence, en tenant compte des intervalles de classes modales. Chaque *CM* est centrée autour d'un Type Sédimentaire (*TS*). Il s'agit de :

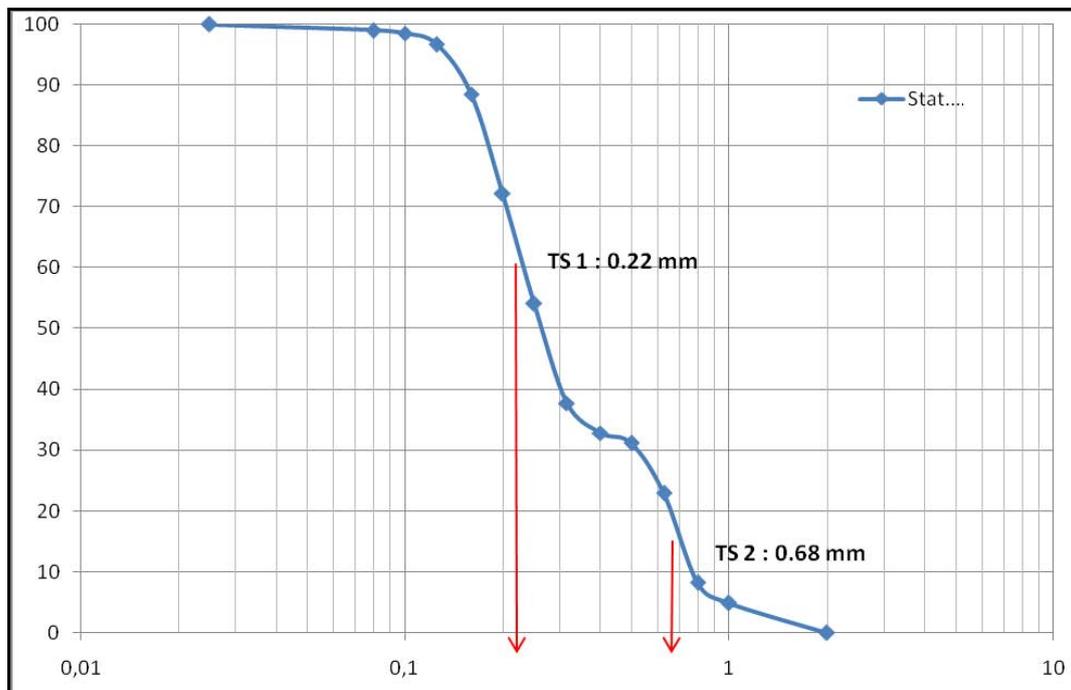
- *CM* 1 : 0,8 - 1 mm ;
- *CM* 2 : 0,5 – 0,63 mm ;
- *CM* 3 : 0,125 – 0,25 mm ;
- *CM* 4 : 0,025 – 0,08 mm.

Par rapport à la représentativité des différentes *CM*, seuls deux Types Sédimentaires (*TS*), autour desquels se regroupent les autres *TS*, ont été retenus pour caractériser notre série. Il s'agit du *TS*1 identifié dans la *CM* 3 (0,125 et 0,25 mm), et du *TS*2 dans la *CM* 2 (0,5 et 0,63 mm). En effet, les autres *TS* contenus dans les *CM* 1 et *CM* 4, avec des pourcentages inférieurs à 5%, ne sont pas représentatifs pour caractériser le sédiment total dans le cadre de

cette statistique de mode. Toutefois, il est important de signaler que ces TS seront pris en compte, lors de l'analyse des classes granulométriques pour chaque échantillon.

Afin de déterminer avec précision la valeur des TS les plus dominants, une courbe des effectifs cumulés de l'ensemble des modes a été élaborée, avec en abscisse les valeurs des modes et en ordonnée le pourcentage cumulé des effectifs. L'identification se fait graphiquement en se basant sur les tangentes des points d'inflexion de la courbe pour identifier les valeurs des différents TS dominants. Ici les flèches rouges permettent d'apprécier la tangente du point d'inflexion de la courbe sur l'axe des valeurs modales (Figure 100, ci-après).

**Figure 100:** Identification graphique des valeurs des deux principaux TS pour les sables intertidaux de 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.



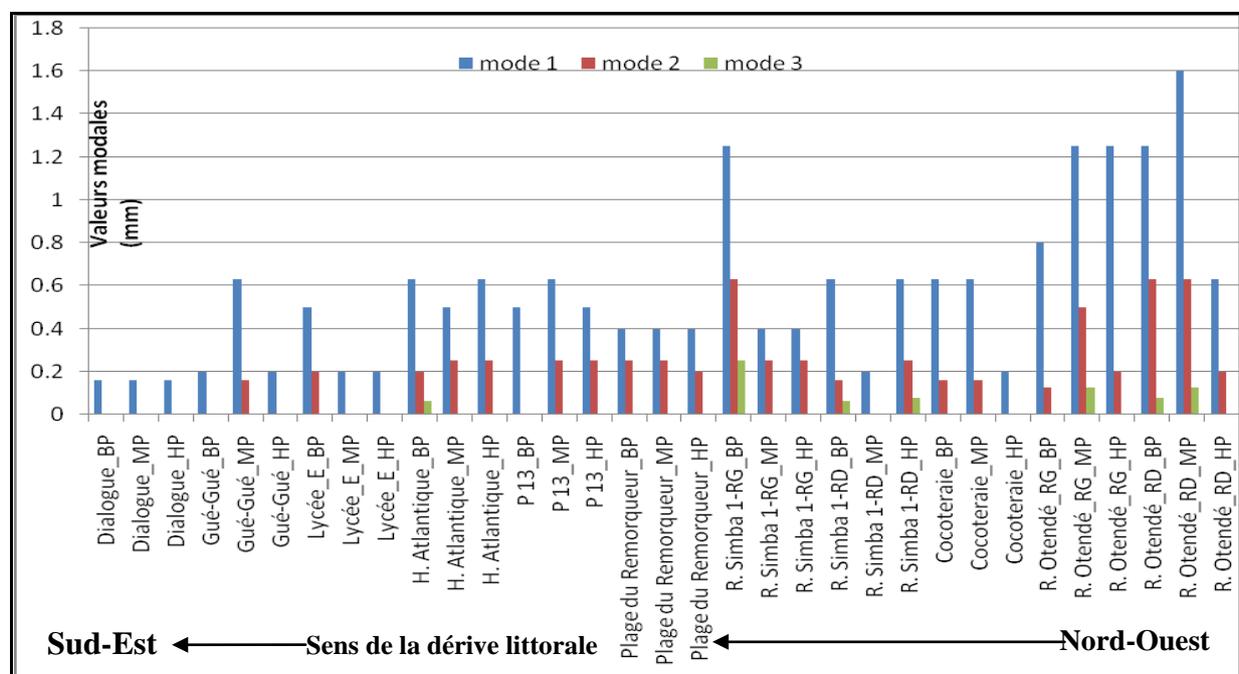
Source : Réalisation Pr Barusseau J.P., Université de Perpignan, d'après données Mouyalou V. M. T.

Sur la base de ce diagramme ci-avant, les valeurs identifiées graphiquement sur la courbe cumulée des effectifs de modes sont respectivement de 0,22 et 0,68 mm pour TS1 et TS2. Ces deux valeurs (TS) correspondent rigoureusement à la statistique des modes représentatives des classes *CM 2* et *CM 3*.

### 8.2.1.1. Variation de la valeur modale suivant le profil longitudinal pour la série 2011

L'analyse de la distribution spatiale des différentes valeurs modales suivant le profil longitudinal est mise en évidence par le diagramme de la Figure 101, ci-après. Celle-ci présente en abscisse, du Sud au Nord, les différents points de prélèvement de sables et en ordonnée la valeur en millimètre des différents modes. Cette figure permet aussi de localiser les associations des différents caractères modaux (uni, bi et trimodal). En effet, les différents TS sont parfois seuls, ou en association avec les autres. Autre fait marquant, c'est la distribution de façon régulière du TS 1 sur l'ensemble de la zone d'étude, soit en premier, deuxième ou troisième mode.

**Figure 101:** Variation des valeurs modales des sables intertidaux de la série 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.



Source : Mouyalou V. M. T.

Le TS2 est aussi présent sur une grande partie de la zone d'étude, à l'exception des points de prélèvement du profil situé au niveau de l'hôtel Dialogue, caractéristique du TS1. Par rapport au sens de l'affinement des valeurs modales, il se dessine de façon globale une diminution des valeurs modales du Nord vers le Sud. Dans le détail, suivant les modes, les valeurs les plus grandes se situent au niveau du groupe du Nord (Otendé), où les valeurs modales les plus importantes varient entre 1,2 et 1,6 mm. Toutefois, la présence inattendue d'un mode à 1,2 mm, au niveau du profil R. Simba 1-RG, peut être interprétée comme un effet anthropique issu des apports "torrentiels" depuis le haut et l'arrière plage par ce cours d'eau engendré par les activités humaines. Cette première catégorie de valeur modale est

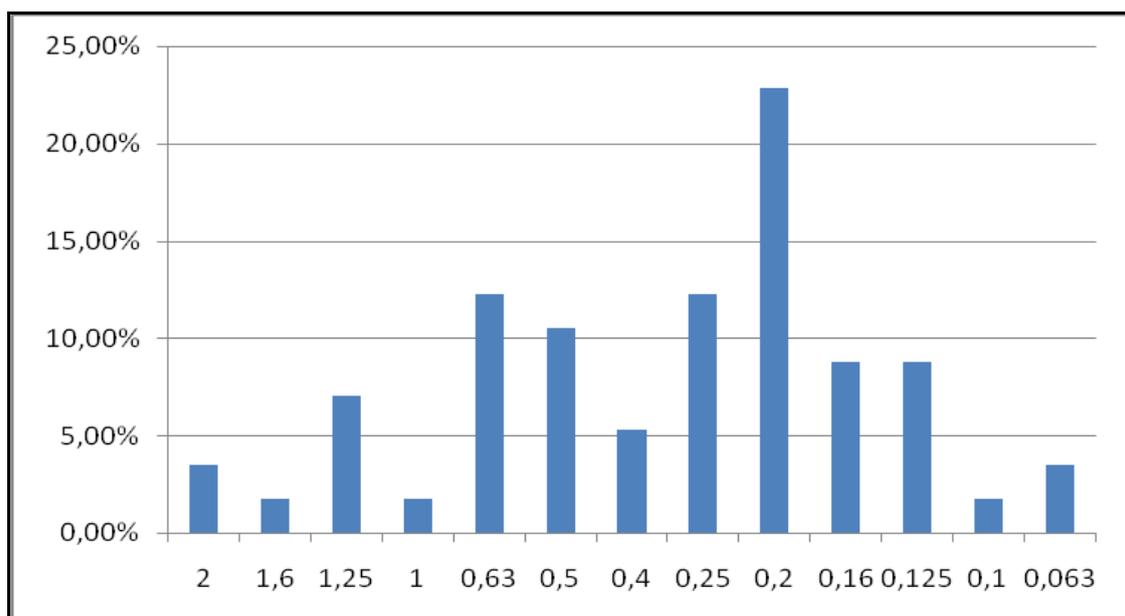
suivie (entre la Cocoteraie et l'hôtel Atlantique, voire Gué-Gué) par une dominance des modes dont les valeurs gravitent autour de 0,6 mm. Enfin, l'extrême Sud se caractérise par des valeurs comprises entre 0,16 et 0,2 mm. Cela illustre bel et bien, sur la base de ces valeurs modales, un affinement des particules depuis le Nord vers le sud. Il est cependant important d'analyser les conditions environnementales autour de chaque point de prélèvement, afin de les corrélérer avec le modèle de distribution des valeurs modales suivant le profil longitudinal. Ce point sera traité dans la synthèse pour les toutes les séries de données.

### 8.2.2. La statistique des modes pour la série 2012

Le diagramme de la Figure 102, ci-après, avec en abscisse les valeurs des modes et en ordonnée leurs pourcentages d'apparition, permet de mettre en évidence cinq principales Classes Modales (CM), en tenant compte des intervalles de celles-ci. Chaque CM est centré autour d'un Type Sédimentaire (TS). Il s'agit de :

- CM 1 : 2 – 1,6 mm ;
- CM 2 : 1,25 – 1 mm ;
- CM 3 : 0,63 – 0,4 mm ;
- CM 4 : 0,25 – 0,125 mm ;
- CM 5 : 0,1 – 0,063 mm.

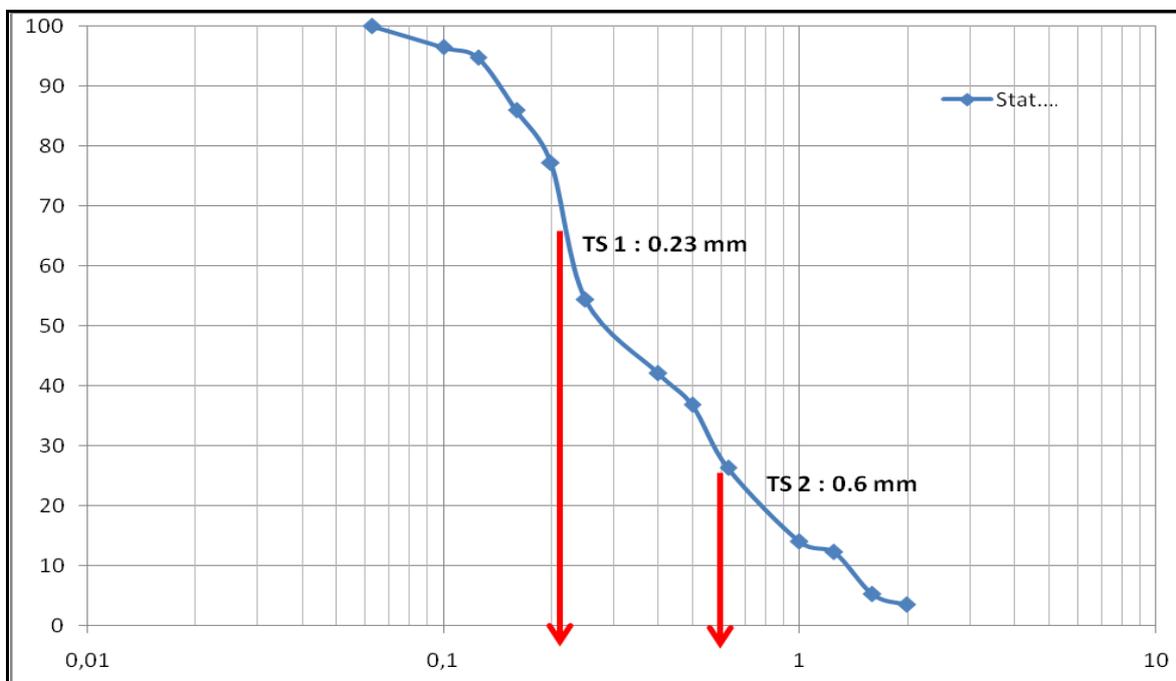
**Figure 102:** Pourcentage d'apparition des différentes valeurs modales pour l'ensemble des sédiments de la série 2012 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.



Source : Mouyalou V. M. T.

Pour caractériser l'ensemble des échantillons dans le cadre de la statistique de mode, seuls les *CM* les plus dominantes (proportion supérieure à 10%) sont prises en compte. Il s'agit principalement des *CM3* et *CM4* centrées respectivement autour de 12% et 22%. Les *CM1*, *CM2* et *CM5*, avec respectivement 5,7 et 5%, seront prises en compte lors de l'analyse des classes granulométriques pour chaque échantillon. La détermination des valeurs exactes de TS1 et TS 2 s'est faite graphiquement sur une courbe cumulative des effectifs des modes avec en abscisse les valeurs des modes, et en ordonnée le pourcentage cumulé des effectifs (Figure 103, ci-après). Ici les flèches rouges permettent d'apprécier la tangente du point d'inflexion de la courbe cumulée sur l'axe des valeurs modales.

**Figure 103:** Identification graphique des valeurs des deux principaux TS pour les sédiments de 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.



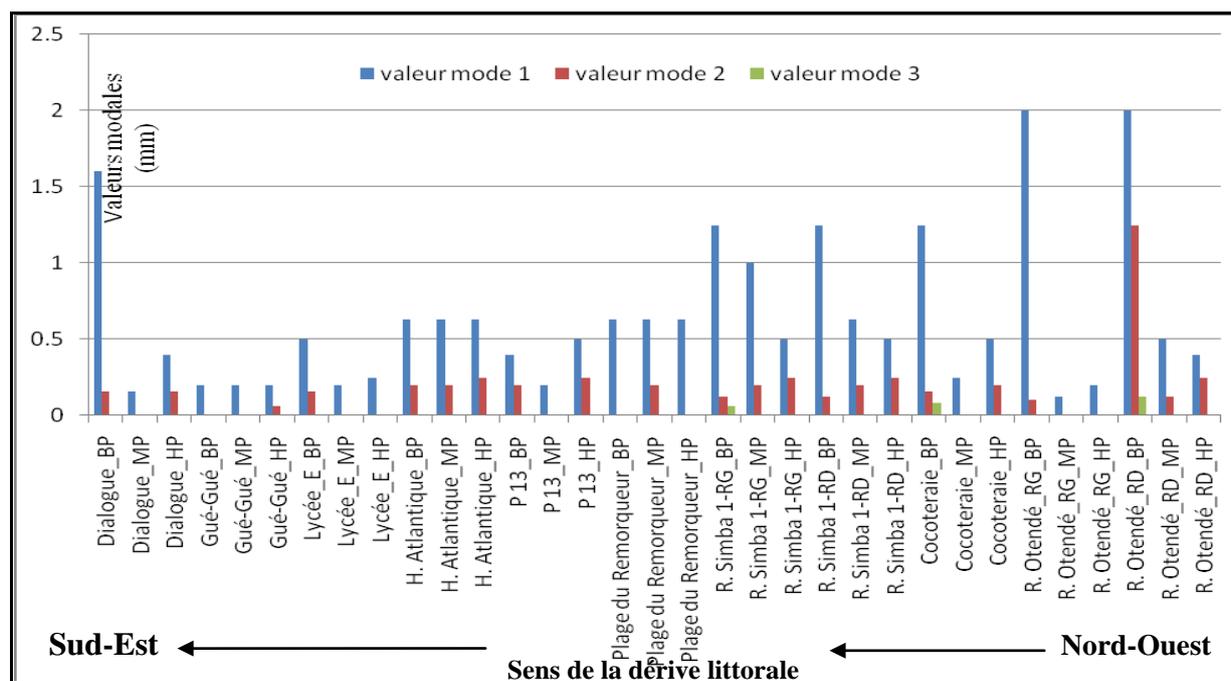
Source : Mouyalou V. M. T.

En ne prenant en compte que les principaux TS, sur la base des points d'inflexion de la courbe des effectifs cumulés de modes, le graphique a permis d'identifier TS1 et TS2 qui sont respectivement de 0,23 et 0,60 mm. Ces deux valeurs (TS) correspondent à la statistique des modes des classes *CM 3* et *CM 4* (Figure 103, ci-avant).

### 8.2.2.1. Variation de la valeur modale suivant le profil longitudinal pour la série 2012

La variation des valeurs modales suivant le profil longitudinal est présentée par la Figure 104, ci-après, avec en abscisse les valeurs des modes et en ordonnée leurs pourcentages d'apparition. Ici peuvent être mises en évidence les associations des valeurs modales inféodées aux différents caractères modaux (uni, bi et trimodal). En effet, les différents TS sont parfois seuls, ou en association avec les autres, bien que l'apparition du mode 2 ne soit localisée qu'au niveau de deux points de prélèvement dans la zone Nord. En se focalisant uniquement sur les TS dominants (TS1 et TS2), cette figure permet de mettre en évidence la distribution de façon régulière du TS 1 (qui est la valeur centrale de la *CM 4* : 0,25 – 0,125 mm) sur l'ensemble de la zone d'étude, soit en premier, deuxième ou troisième mode. Il faut préciser qu'un seul cas d'apparition du TS1, en troisième mode appartenant à la *CM 4*, a été mis en évidence au niveau du prélèvement bas de plage du profil rive droite de la rivière Otendé. Le TS2, qui est la valeur centrale de la *CM 3* (0,63 – 0,4 mm), est exclusivement observé en premier mode. À l'inverse du *CM 4*, qui est observé au niveau de tous les profils, le modèle de distribution de la *CM 3* en fait exception. En effet, son absence est enregistrée au niveau des profils Gué-Gué et la rive gauche de la rivière Otendé.

**Figure 104:** Variation des valeurs modales suivant le profil longitudinal pour la série 2012 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé



Source : Mouyalou V. M. T.

L'analyse de la variation des valeurs modales suivant le profil longitudinal permet de mettre en évidence un sens général de l'affinement des valeurs modales, depuis le Nord vers le Sud. Dans le détail, une fois de plus, les valeurs les plus grandes se localisent dans la zone nord, principalement au niveau des profils R. Otendé\_RG et R. Otendé\_RD où les valeurs modales les plus importantes sont de 2 mm. Ces valeurs modales de 2 mm sont suivies au niveau des profils Cocoteraie, R. Simba 1-RD et R. Simba 1-RG par des valeurs de 1,25 mm.

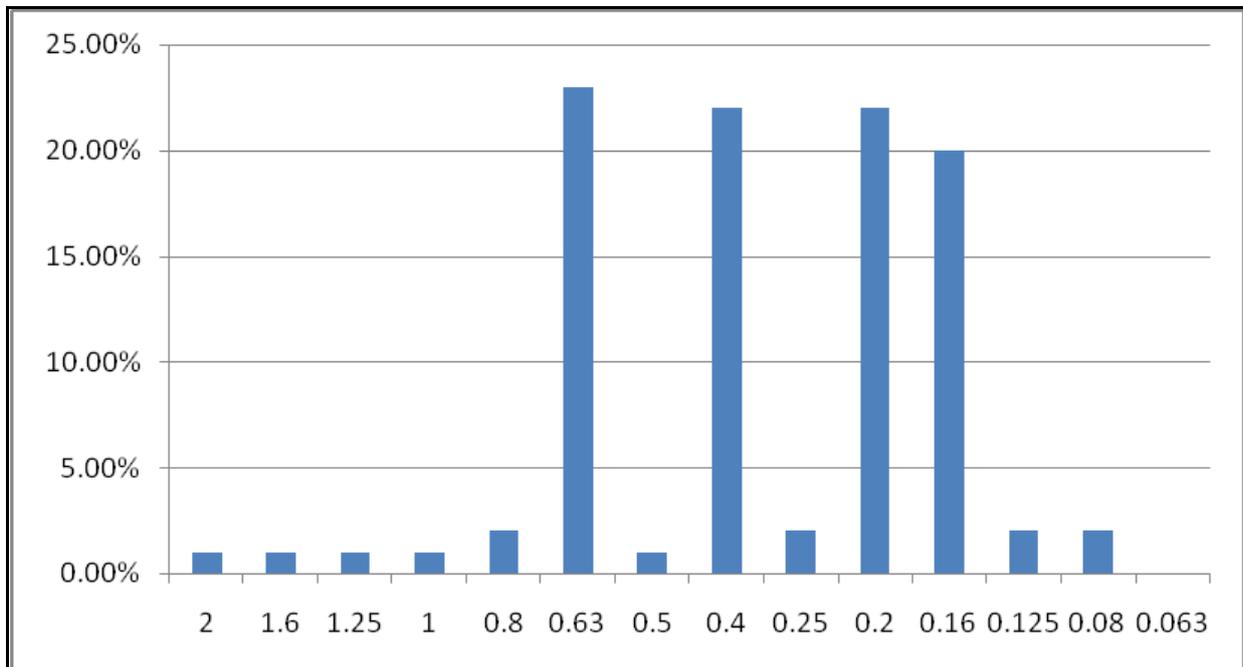
Enfin, à l'extrême Sud, les profils Gué-Gué et Dialogue se caractérisent par des valeurs modales autour de 0,16 et 0,2 mm. La distribution de ces valeurs modales suivant le profil longitudinal permet également, à l'instar de la série 2011, de mettre en évidence un affinement des particules depuis le Nord vers le Sud. Il est toutefois important de signaler que le sens de l'affinement des particules, depuis le Nord vers le Sud, n'est pas absolu. Ils existent en effet, des points de prélèvement qui n'obéissent pas à cette logique générale. L'exemple le plus illustratif est dans la partie sud, au niveau du point de prélèvement de bas de plage de l'hôtel Dialogue, où l'on note la présence d'un mode exceptionnel dont la valeur est de 1,6 mm, qui pourrait être rattaché à un effet anthropique. Cette valeur élevée contraste pleinement avec la nature des modes enregistrés dans la partie Sud, où les valeurs moyennes sont autour de 0,16 à 0,2 mm.

### **8.2.3. La statistique des modes pour la série 2014**

Le diagramme de la Figure 105, ci-après, ayant en abscisse les valeurs des modes et en ordonnée leurs pourcentages d'apparition, permet de mettre en évidence trois principales Classes Modales (*CM*) en tenant compte des intervalles de classes modales. Chaque *CM* est centrée autour d'un Type Sédimentaire (TS) Il s'agit de :

- *CM* 1 : 2 – 0,63 mm ;
- *CM* 2 : 0,5 – 0,4 mm ;
- *CM* 3 : 0,25 – 0,08 mm.

**Figure 105:** Pourcentage d'apparition des différentes valeurs modales pour l'ensemble des sédiments de la série 2014 entre l'hôtel Dialogue et l'Akouango Village.

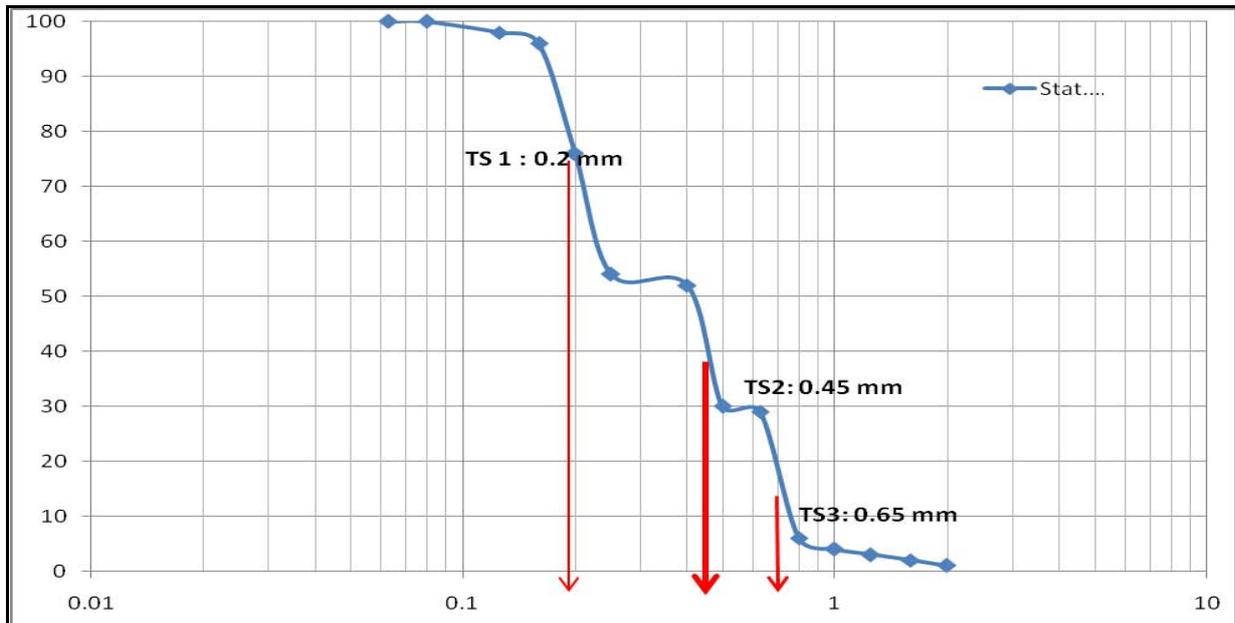


Source : Mouyalou V. M. T.

Dans le cadre de la statistique de mode, la caractérisation de l'ensemble des échantillons s'est faite en ne prenant en compte que les *CM* les plus dominantes. Il s'agit principalement des proportions supérieures à 20%. La série de 2014, contrairement à celles de 2011 et 2012, se singularise par la présence en proportion quasi identique de trois TS qui devront être pris en compte pour caractériser l'ensemble des sédiments.

Les *CM1*, *CM2* et *CM3* sont centrées autour des valeurs modales 0,63, 0,4 et 0,2mm, dont les proportions sont respectivement de 63%, 22% et 22%. La détermination des valeurs exactes de TS1, TS2 et TS3 s'est faite graphiquement sur une courbe cumulative des effectifs des modes, avec en abscisse les valeurs des modes et en ordonnée le pourcentage cumulé des effectifs (Figure 106, ci-après). Signalons que les flèches rouges permettent d'apprécier la tangente du point d'inflexion de la courbe cumulée sur l'axe des valeurs modales.

**Figure 106:** Identification graphique des valeurs des deux principaux TS pour les sables intertidaux de 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village.



Source : Mouyalou V. M. T.

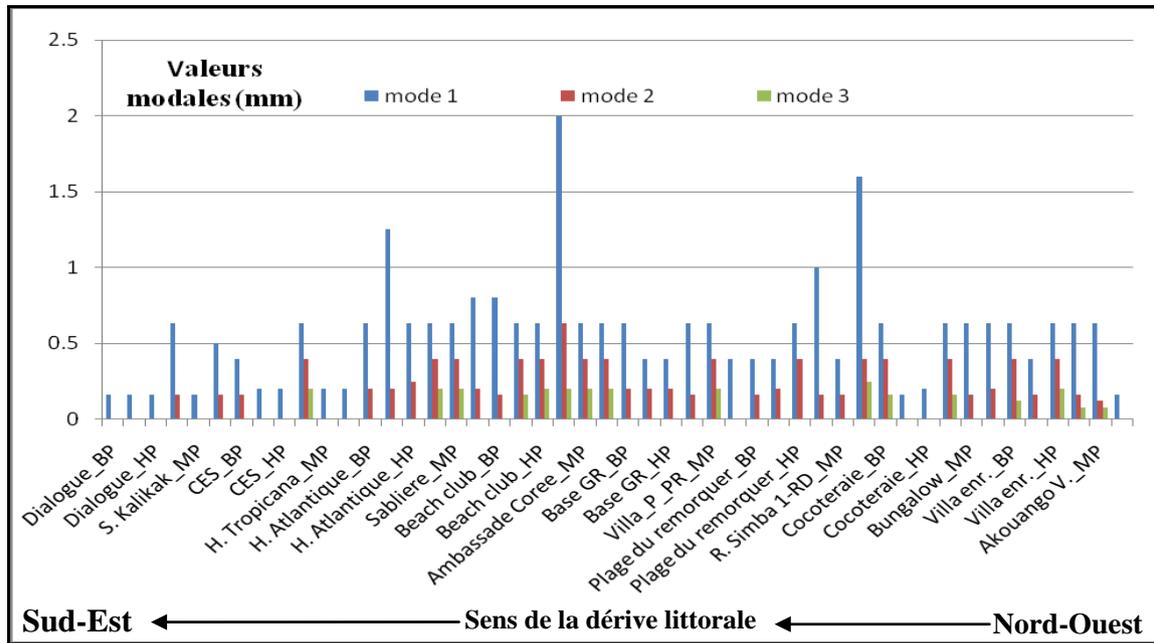
En ne prenant en compte que les principaux TS et sur la base des points d'inflexion de la courbe, le graphique a permis d'identifier trois (TS1, TS2 et TS3) qui sont respectivement de 0,2, 0,45 et 0,65 mm. Ces trois valeurs (TS) correspondent à la statistique des modes des classes *CM1*, *CM2* et *CM3* pour la série 2014.

Contrairement aux séries de 2011 et 2012, celle de 2014 se caractérise par l'apparition d'une *CM* (0,5 – 0,4 mm) supplémentaire centrée autour 0,45 mm. L'apparition de ce troisième TS, pour caractériser l'ensemble de notre série, peut trouver une explication logique dans la différence de localisation des profils entre les séries 2011 ; 2012 et 2014.

### 8.2.3.1. Variation de la valeur modale suivant le profil longitudinal pour la série 2014

La variation des valeurs modales suivant le profil longitudinal est présentée par la Figure 107, ci-après, avec en abscisse les valeurs des modes (mm) et en ordonnée leurs pourcentages d'apparition.

**Figure 107:** Variation des valeurs modales des sables intertidaux de la série 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village



Source : Mouyalou V. M. T.

Cette figure, ci-avant, permet de mettre en évidence les associations des valeurs modales inféodées aux différents caractères modaux (unimodal, bimodal et trimodal). En effet, les différents TS sont parfois seuls ou en association avec les autres. L'analyse de la distribution et de l'association des valeurs modales permet de mettre en évidence les différents sens de l'affinement des sédiments dans la zone d'étude. Le premier secteur, entre les profils Akouango V. et Bungalow, se caractérise par une homogénéité des valeurs modales. Ce secteur homogène est suivi de l'apparition des valeurs modales plus importantes au niveau des profils Cocoteraie, Plage du Remorqueur, Ambassade de Corée et enfin hôtel Atlantique. Ces importantes valeurs modales peuvent être considérées comme des limites des différentes unités ou cellules hydrosédimentaires. Enfin entre l'hôtel Tropicana et l'hôtel Dialogue, sont enregistrées des valeurs modales moins élevées. Cela témoigne d'un affinement des particules depuis le Nord vers le Sud.

De ce fait, contrairement aux données de 2011 et 2012, aucun sens de l'affinement des particules n'apparaît de façon absolue pour la série 2014. Cela peut être dû au facteur explicatif suivant : une phase de perturbation du système morphosédimentaire, dont les prémices avaient déjà été mises en évidence lors de l'analyse des séries de 2011 et 2012. En effet, il ressort de ces résultats préliminaires qu'il s'agit d'un système unique au sein duquel

les processus de triage, lors de la phase de transport et de sédimentation par les différents courants, n'arrivent pas à mettre en place des sédiments unimodaux ; comme c'est le cas pour la majorité des plages sableuses du littoral gabonais (Mombo, 1991).

#### 8.2.4. Comparaison des valeurs modales pour les profils de référence pour les séries 2011, 2012 et 2014

Dans l'optique de mettre en évidence la dynamique sédimentaire à travers la variation spatio-temporelle des valeurs modales, il nous est paru important de comparer celles-ci au niveau des différents points de prélèvement et ce pour les cinq profils de référence (Tableau 38, ci-après).

**Tableau 38:** Comparaison des valeurs modales par point de prélèvement de sables pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie.

POINTS DE PRELEVEMENT	CARACTERES ET VALEURS MODALES (mm)								
	2011			2012			2014		
	UM	BM	TM	UM	BM	TM	UM	BM	TM
Dialogue_BP	0,16	0	0	1,6	0,16	0	0,16	0	0
Dialogue_MP	0,16	0	0	0,16	0	0	0,16	0	0
Dialogue_HP	0,16	0	0	0,4	0,16	0	0,16	0	0
H. Atlantique_BP	0,63	0,2	0,063	0,63	0,2	0	0,63	0,2	0
H. Atlantique_MP	0,5	0,25	0	0,63	0,2	0	1,25	0,2	0
H. Atlantique_HP	0,63	0,25	0	0,63	0,25	0	0,63	0,25	0
Plage du Remorqueur_BP	0,4	0,25	0	0,63		0	0,4	0,16	0
Plage du Remorqueur_MP	0,4	0,25	0	0,63	0,2	0	0,4	0,2	0
Plage du Remorqueur_HP	0,4	0,2	0	0,63	0	0	0,63	0,4	0
R. Simba 1-RD_BP	0,63	0,16	0,063	1,25	0,125	0	1	0,16	0
R. Simba 1-RD_MP	0,2	0	0	0,63	0,2	0	0,4	0,16	0
R. Simba 1-RD_HP	0,63	0,25	0,08	0,5	0,25	0	1,6	0,4	0,25
Cocoteraie_BP	0,63	0,16	0	1,25	0,16	0	0,63	0,4	0,16
Cocoteraie_MP	0,63	0,16	0	0,25	0	0	0,16	0	0
Cocoteraie_HP	0,2	0	0	0,5	0,2	0	0,2	0	0

Source : Mouyalou V. M. T.

Conformément aux mutations enregistrées dans le cadre des caractères modaux, cette comparaison a permis de mettre en évidence trois situations possibles. D'abord, il y a des cas où le point de prélèvement a conservé sa valeur modale avec, cependant, l'apparition d'un mode supplémentaire. Ensuite, viennent des cas où la valeur modale n'a connu aucune variation. Enfin, sont observés des cas pour lesquels les valeurs modales ont totalement changé.

#### **8.2.4.1. Valeur modale constante avec apparition d'un mode supplémentaire**

Le profil de l'hôtel Dialogue se caractérise, pour les trois séries de données, par une valeur modale de 0,16 mm aussi bien pour le bas de plage, la moyenne plage et le haut de plage. Cependant au niveau de ce profil, deux cas de figure ont été enregistrés. Il s'agit d'une part des points de prélèvement qui ont conservé leur valeur modale, avec cependant l'apparition d'une mode supplémentaire et, d'autre part, le cas où la valeur modale n'a connu aucune variation pour les trois séries de données.

Pour le profil Dialogue, le point de prélèvement au niveau duquel la valeur modale n'a connu aucune modification est la moyenne plage. Cependant, le bas de plage et le haut de plage se distinguent par l'apparition d'un mode supplémentaire pour la série de 2012, qui est respectivement de 1,6 et 0,4 mm. Il y a cependant lieu de s'interroger sur ce phénomène, sachant que ces apparitions disparaissent dans la série de 2014. Le profil de l'hôtel Dialogue étant situé à la limite aval de la cellule hydrosédimentaire et du transit sédimentaire, la valeur modale de 0,16 mm et le caractère unimodal des sables se justifient pleinement du fait d'un triage progressif des sédiments par les courants marins depuis le Nord vers le Sud. Cependant, la série de 2012 échappe à cette logique. Comme tentative d'explication, il pourrait s'agir d'une contamination de notre sédiment par des apports "torrentiels" lors d'un épisode pluvieux depuis l'arrière et le haut de plage. En effet les différentes actions anthropiques sur ce site ont entraînés la formation d'un torrent qui ne se manifeste que lors de grands événements pluvieux. Le dépôt torrentiel serait à l'origine de la perturbation observée sur la plage.

Le bas de plage du profil de H. Atlantique est un autre point de prélèvement qui a conservé sa valeur modale, avec cependant l'apparition d'un mode supplémentaire. La série de 2011 se distingue par un troisième mode dont la valeur est de 0,063 mm, caractère modal que l'on ne retrouve pas dans les séries de 2012 et 2014. Comme pour la situation décrite précédemment, il pourrait s'agir d'un cas de contamination. Toutefois, l'apparition de ce mode (0,063 mm) suscite des interrogations. En effet, comment peut-on expliquer la présence d'un mode à 0,063 mm sur une plage sableuse caractérisée par des valeurs modales de 0,63 et 0,2 mm pour les trois séries de données? Cela peut s'expliquer par les processus tidaux qui, à travers le courant librevillois au moment de la reverse (au début du flot), les courants étant faibles, ont pour effet de favoriser la sédimentation fine et très fine à l'avant plage dans la Baie d'Akouango ; un processus décrit par Weydert et Weydert (1982).

Toujours dans le cadre des points de prélèvement ayant conservé leur valeur modale, avec cependant l'apparition d'un mode supplémentaire, il y a le point de prélèvement haut de

plage du profil Cocoteraie. Celui-ci se distingue par l'apparition, dans la série de 2012, d'un mode supplémentaire d'une valeur de 0,5 mm. On peut supposer que cela est la résultante d'une phase érosive ayant entraîné la remobilisation de ce sédiment caractérisé par la valeur modale de 0,5 mm, que l'on retrouve dans bien de points de prélèvement dans notre zone d'étude.

#### **8.2.4.2. Apparition des nouvelles valeurs modales**

De nombreux points de prélèvement pour les trois séries se caractérisent par une modification complète des valeurs modales. Dans le cas de nos trois séries, il s'agit en majorité des points de prélèvement suivants : la moyenne plage du profil de H. Atlantique, l'ensemble du profil Plage du Remorqueur, le haut de plage de la rive droite de la rivière R. Simba 1- et, enfin, la moyenne plage du profil Cocoteraie.

- **Le point de prélèvement moyenne plage du profil H. Atlantique**

Il se caractérise par le caractère bimodal pour les trois séries de données. Il convient alors de tenir compte de l'évolution de chaque valeur modale, pour analyser les différentes évolutions. Pour le mode 1, les valeurs modales de 2011, 2012 et 2014 sont respectivement de 0,5, 0,63 et de 1,25 mm. Cette augmentation de la valeur pour le caractère unimodal est associée à une faible variation du caractère bimodal, qui est respectivement de 0,25, 0,2 et 0,2 mm. Cette variation permet, tout de même, de mettre en évidence des valeurs modales typiques qui caractérisent nos sédiments. Il s'agit des valeurs 0,2, voire 0,25 et 0,63 mm, correspondant respectivement au TS1 des séries de 2011, 2012 et 2014, ainsi que le TS2 des séries 2011 et 2012.

- **Le profil de la Plage du Remorqueur**

Les points de prélèvement situés au niveau de ce profil ont connu une mutation, aussi bien sur le caractère modal que pour les valeurs modales. En effet en 2011 les trois points de prélèvement étaient bimodaux, tout comme en 2014. Contrairement à 2012, où un seul point de prélèvement (moyenne plage) a conservé ce caractère. Par rapport aux valeurs modales, les plus fréquentes sont 0,2, 0,4 et 0,63 mm, dont la variation d'une année à l'autre n'obéit à aucun modèle applicable à toutes les séries. En effet, une valeur modale peut passer indifféremment de 0,4 à 0,63 et inversement.

### 8.2.4.3. Test statistique Anova : Comparaison interannuelle des effectifs modaux

Les résultats de l'analyse modale appliquée à nos trois séries de données (2011, 2012 et 2014) à permis de mettre en évidence des TS qui diffèrent les uns les autres. À titre de rappel, nous avons obtenues les résultats suivants :

- pour 2012 deux TS (TS1= 0,22mm et TS2= 0,68mm)
- pour 2012 deux TS (TS1=0,23 mm et TS2= 0,6mm)
- pour 2014 trois TS (TS1= 0,2 mm, TS2= 0,45mm et TS3= 0,65).

La question qui ressort de ces résultats est celle de savoir s'il existe une différence dans la composition modale de chaque série analysée. Pour répondre à cette question, nous avons fait recours à l'utilisation du test statistique Anova. Les analyses de variance ou analyses factorielles est une technique permettant de savoir si une ou plusieurs variables dépendantes sont en relation avec une ou plusieurs autres variables indépendantes. Concrètement, l'application de ce test statistique cherche à savoir si les trois séries de données ont les mêmes caractéristiques sédimentologiques.

Sous le logiciel de statistique R. le test statistique a porté sur la comparaison des moyennes par groupe appliqué aux séries 2011, 2012 et 2014. Le résultat de l'analyse réalisé avec le logiciel R est mentionné dans les Figures 108 et 109, ci-après.

**Figure 108:** Diagramme des effectifs modaux issu du test statistique (Anova).

**Figure 109:** Diagramme des valeurs modales issu du test statistique (Anova).

Source : Réalisation Nzigou A. R., Université de Masuku, d'après données de Mouyalou V. M. T.

Sous l'hypothèse H0 d'une égalité de moyennes entre les différentes années, l'analyse révèle que H0 ne peut être rejeté car les valeurs modales ne semblent pas significativement différentes au cours des trois années ( $p\text{-value} = 0,68 > 0,05$ ). En conclusion, eu égard aux variabilités interannuelles observées au niveau des Types Sédimentaires (TS), on peut alors dire que les sédiments présentent les mêmes caractéristiques à près de 95% pour nos trois séries de données dans la zone d'étude.

En conclusion il faut retenir que l'approche modale est une méthode qui permet également de caractériser de la dynamique sédimentaire. Elle se base sur l'analyse du caractère modal et l'analyse modale. Par rapport au caractère modal, plusieurs approches ont été utilisées. L'analyse de la répartition du caractère modal par année a permis de mettre en évidence la dynamique sédimentaire interannuelle de nos sédiments. Cette variabilité interannuelle a été observée au niveau de chaque point de prélèvement, ce qui est conforme au fait que les paramètres granulométriques dépendent de plusieurs facteurs que sont, le disponible sédimentaire, les conditions hydrodynamiques, et de transport et de sédimentation. Toutefois en dépit de cette logique, de nombreux points de prélèvement se singularisent par une régularité interannuelle du caractère modal. L'analyse des caractères modaux a permis également de mettre en évidence la variabilité des processus de transport et de sédimentation sur les plages intertidales. Elle a aussi permis de caractériser les différentes caractéristiques sédimentaires autour de chaque profil.

Les différentes associations des caractères modaux ont permis de mettre en évidence trois principales zones, au sein desquelles les processus de triage semblent obéir à un modèle cohérent : de l'hôtel Dialogue à l'hôtel Tropicana, de l'hôtel Atlantique au profil situé au niveau de la base de la Garde Républicaine et du profil Villa\_P\_PR à Akouango V.

L'analyse modale à travers la statistique des modes a permis de caractériser chaque série de données (2011, 2012 et 2014). La série 2011 se distingue par deux Types Sédimentaires (TS) TS1 et TS2, qui sont respectivement de 0,22 et 0,68 mm. Pour la série de 2012, les TS1 et TS2 sont respectivement de 0,23 et 0,60 mm. La série de 2014 se singularise par la présence de trois TS (TS1, TS2 et TS3), dont les valeurs sont respectivement de 0,2, 0,45 et 0,65 mm. En dépit de ces différences, un test statistique (*Anova*) appliqué à ces trois séries a permis de confirmer qu'elles ont les mêmes caractéristiques sédimentaires.

## **CHAPITRE 9 : MORPHOSCOPIE, MINERALOGIE ET CALCIMETRIE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGE INTERTIDALE**

L'analyse de la forme et de l'état de surface des grains de quartz, et la composition minéralogique des sédiments superficiels de la plage intertidale permettent, d'obtenir des informations sur l'histoire géologique et ainsi que sur l'ensemble des processus au cœur de la mise en place des dépôts côtiers. En effet, à travers la recherche de la nature de l'agent de transport, cette analyse vise à approfondir l'état de la connaissance sur la dynamique sédimentaire autour de l'estuaire du Komo en général et de la zone d'étude en particulier, par l'entremise de la reconstitution des paléo-environnements. Le présent chapitre aborde les éléments en lien avec la caractérisation des sédiments mis en jeu dans la dynamique actuelle des sites. Il s'agit principalement de la morphoscopie, de la minéralogie, de la calcimétrie et d'une discussion sur les différents stocks sableux autour de l'estuaire en général et la zone d'étude en particulier.

### **9.1. Morphoscopie des grains de quartz**

L'examen morphoscopique des sables superficiels des plages intertidales conduit à des observations multiples et propres à chaque secteur de la zone d'étude. L'analyse morphoscopique des grains de quartz a été faite pour chaque échantillon en considérant trois classes granulométriques bien distincts : les sables fins (160-200 $\mu$ m), les sables moyens (315-400 $\mu$ m) et, enfin, les sables grossiers (630-800  $\mu$ m). Le but visé par cette démarche méthodologique est d'établir une corrélation entre la classe granulométrique et le caractère morphoscopique, aussi bien au niveau de chaque profil que suivant le profil longitudinal. Les résultats globaux sont présentés dans l'Annexe7, p. 318.

#### **9.1.1. Morphoscopie des sables fins**

Le Tableau 39, ci-après, présente les résultats de la morphoscopie pour l'ensemble des sables fins suivant le profil longitudinal. Cette analyse montre que les différents caractères morphoscopiques sont bien représentés pour les grains de cette classe granulométrique. En effet, le caractère N.U. apparaît dans des proportions comprises entre 0 et 63,33% avec une moyenne de 28,33% pour l'ensemble des profils. Les proportions les plus importantes de ce caractère sont mises en évidence au niveau des profils S. Kalikak (63,33%), Dialogue (56,67%), Akouango V (56,67%), et R. Simba 1-RD (46,67%).

**Tableau 39:** Variation des caractères morphoscopiques des sables fins intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.

PROFILS	TAMIS	CARACTERES MORPHOSCOPIQUES (%)		
		Non-usés	Emoussés-luisants	Ronds-mats
Dialogue	160-200µm	56.67	36.67	6.67
S. Kalikak		63.33	36.67	0.00
CES		10.00	63.33	26.67
H. Tropicana		0.00	70.00	30.00
H. Atlantique		3.33	50.00	46.67
Sablière		16.67	40.00	43.33
Beach club		33.33	43.33	23.33
Ambassade Corée		20.00	40.00	40.00
Base GR		0.00	83.33	16.67
Villa_P_PR		10.00	53.33	36.67
Plage du Remorqueur		33.33	40.00	26.67
R. Simba 1-RD		46.67	36.67	16.67
Cocoteraie		36.67	53.33	10.00
Bungalow		36.67	40.00	23.33
Villa enr		30.00	53.33	16.67
Akouango V.		56.67	43.33	0.00

Source : Mouyalou V. M. T.

Le caractère E.L. est mis en évidence avec des proportions comprises entre 36,67% et 83,33%, soit une moyenne de 49% pour l'ensemble des profils. Les proportions les plus importantes sont observées au niveau des profils Base GR (83,33%), H. Tropicana (70%), CES (63,33%), Villa enr (53,33%), Villa\_P\_PR (53,33%), et H. Atlantique (50%).

Enfin, le caractère R.M. est enregistré dans notre série avec des proportions comprises entre 0 et 46,67%, soit une moyenne de 22% pour l'ensemble des profils. Pour ce caractère, les proportions les plus importantes sont mises en évidence au niveau des profils H. Atlantique (46,67%), Sablière (43,33%), Ambassade de Corée (40%) et Villa\_P\_PR (36,67%).

Suivant le profil longitudinal, l'analyse de la distribution des proportions de l'ensemble des caractères morphoscopiques, pour la classe granulométrique des sables fins, permet de mettre en évidence trois principaux secteurs. Le premier secteur correspond au segment côtier allant des profils Dialogue à Sablière. Le deuxième secteur est compris entre

les profils Beach Club et Plage du Remorqueur. Enfin, le troisième secteur englobe les profils situés entre R.Simba 1-RD et Akouango V.

Le premier secteur, des profils Dialogue à Sablière, se caractérise par une augmentation de la proportion des grains EL et des RM, au détriment d'une baisse de la proportion des grains NU. En effet, les proportions des grains EL augmentent de 36,67% à 70%, les RM de 0 à 46,67%, contre les NU qui diminuent de 63,33% à 0%. Cette augmentation de la proportion des grains EL et des RM est suivie par une baisse de la proportion de ces caractères, ainsi qu'une progressive augmentation de la proportion des grains NU.

Le secteur 2, des profils Beach Club à la Plage du Remorqueur, se caractérise par une relative homogénéité des trois caractères morphoscopiques. En effet, les proportions sont de 43,33%, 33,33% et 23,33% répondant respectivement aux caractères morphoscopiques EL, NU et RM. Cette relative homogénéité, par rapport aux autres points de prélèvement, est suivie d'une augmentation des grains EL associée à une diminution de la proportion des grains NU et RM. D'une manière générale, les sables du secteur 2 sont majoritairement EL, par rapport aux autres secteurs. La limite du secteur 2 avec le 3 se caractérise par une diminution des EL, au détriment de l'augmentation des NU et des RM.

Enfin, le secteur 3, des profils R. Simba1-RD à Akouango Village, se distingue par une variation peu marquée de l'ensemble des caractères morphoscopiques, comparativement aux secteurs 1 et 2. En effet, ce secteur se caractérise par une variation de la proportion des grains EL comprise entre 36,67 et 53,33%, 30% et 56,67% pour les grains NU, et enfin 16,67 à 0% pour les RM.

Par rapport à la répartition des caractères morphoscopiques suivant le profil longitudinal, il est difficile de mettre en évidence un modèle de la distribution des caractères morphoscopiques en lien avec le transit sédimentaire. La distribution des caractères morphoscopiques semble associée à des influences locales propres à chaque source de sédiment, ainsi qu'aux conditions de transport et de sédimentation autour de chaque profil.

### **9.1.2. Morphoscopie des sables moyens**

Le Tableau 40, ci-après, présente la variation suivant le profil longitudinal des caractères morphoscopiques pour les sables moyens. Il ressort de cette analyse que les différents caractères morphoscopiques sont bien représentés pour les grains de cette classe granulométrique. En effet, le caractère NU, apparaît dans des proportions comprises entre

3,33% et 40%, avec une moyenne de 15% pour l'ensemble des profils. Les proportions les plus importantes de ce caractère sont mises en évidence au niveau des profils Base GR (40%), Beach Club (36,67%), CES (33,33%) et S. Kalikak (30%).

**Tableau 40:** Variation des caractères morphoscopiques des sables moyens intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.

PROFILS	TAMIS	CARACTERES MORPHOSCOPIQUES (%)		
		Non-usés	Emoussés-luisants	Ronds-mats
Dialogue	315-400	6.67	43.33	50.00
S. Kalikak		30.00	36.67	33.33
CES		33.33	40.00	26.67
H. Tropicana		0.00	53.33	46.67
H. Atlantique		10.00	73.33	16.67
Sablière		3.33	86.67	10.00
Beach club		36.67	43.33	20.00
Ambassade Corée		0.00	70.00	30.00
Base GR		40.00	53.33	6.67
Villa_P_PR		10.00	53.33	36.67
Plage du Remorqueur		6.67	6.67	86.67
R. Simba 1-RD		6.67	40.00	53.33
Cocoteraie		13.33	63.33	23.33
Bungalow		30.00	30.00	40.00
Villa enr		0.00	50.00	50.00
Akouango V.		10.00	43.33	46.67

Source : Mouyalou V. M. T.

Le caractère EL est également présent dans cette classe granulométrique avec des proportions comprises entre 6,67% et 86,67%, soit une moyenne de 49% pour l'ensemble des profils. Les proportions les plus importantes pour ce caractère morphoscopique sont observées pour les profils Sablière (86,6%), H. Atlantique (73,33%), Ambassade Corée (70%) et Cocoteraie (63,33%).

L'analyse de la distribution des caractères morphoscopiques, suivant le profil longitudinal pour les sables moyens, permet également de confirmer la structuration spatiale axée autour de trois secteurs géographiques déjà mis en évidence dans le cadre de l'analyse des sables fins. Le premier secteur englobe le segment côtier allant du profil Dialogue à Sablière. Le deuxième secteur s'étend du profil Beach Club à Plage du Remorqueur, enfin le troisième de R.Simba 1-RD à Akouango V.

Le premier secteur se caractérise par une augmentation de la proportion des grains EL, au détriment de la baisse de la proportion des grains NU et RM. En effet, les proportions des

grains EL dans ce secteur augmentent de 43,33% à 86,67%, à l'opposé des RM et des NU qui se distinguent de manière globale par une diminution de la proportion des caractères morphoscopiques qui est respectivement de 50% à 30% et de 33,3% à 3,3%.

En ce qui concerne le deuxième secteur, le caractère EL subit de façon globale une remarquable baisse marquée par le passage progressif de sa proportion de 86,67% à 6,67%. La baisse du caractère EL est associée à une double variation des proportions des caractères RM et NU. Le caractère NU connaît deux cycles de variation. Dans un premier temps, il s'agit d'une augmentation de 3,33% à 36,67% suivie d'une baisse jusqu'à la disparition totale du caractère morphoscopique. Dans un second temps, on enregistre à nouveau une augmentation jusqu'à 40%. La fin du secteur 2 se traduit de nouveau par la baisse jusqu'à 6,67% de la proportion de ce caractère morphoscopique. La variation du caractère RM est tout à fait différente. Le caractère RM connaît une augmentation suivie d'une baisse, qui marque par la suite le début d'une exceptionnelle augmentation jusqu'à la proportion de 86,67%.

Le troisième secteur se caractérise par une variation assez complexe de la proportion des caractères morphoscopiques. En effet, dans un premier temps les grains RM enregistrent une diminution de la proportion suivie d'une légère augmentation et, à nouveau, une baisse. Les grains NU ont tout d'abord une augmentation suivie d'une baisse puis, de nouveau, une légère augmentation. Enfin le caractère EL présente d'abord une augmentation, puis une baisse, de nouveau une augmentation et enfin une baisse.

À ce niveau d'analyse, il est possible d'établir des liens entre la distribution spatiale des différents caractères morphoscopiques pour les sables moyens et les processus de transport et de sédimentation connus dans la zone d'étude. Il s'agit principalement de la similitude du modèle de répartition de la proportion des caractères morphoscopiques au niveau des profils Dialogue et Akouango V. situés en position aval de la dérive littorale.

### **9.1.3. Morphoscopie des sables grossiers**

Le Tableau 41, ci-après, présente la variation des caractères morphoscopiques des sables grossiers suivant le profil longitudinal. Cette analyse révèle que les différents caractères morphoscopique sont inégalement représentés pour les grains de cette classe granulométrique. En effet, le caractère NU apparaît dans des proportions comprises entre 0 à et 16,67% avec une moyenne de 3,96% pour l'ensemble des profils. Les proportions les plus importantes de ce caractère sont mises en évidence au niveau des profils Base GR (16,67%), Plage du Remorquer (13,33%), Villa\_P\_PR (10%), et R. Simba 1-RD (3,33%).

**Tableau 41:** Variation des caractères morphoscopiques des sables grossiers intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.

PROFILS	TAMIS	CARACTERES MORPHOSCOPIQUES (%)		
		Non-Usés	Emoussés-Luisants	Ronds-Mats
Dialogue		0.00	20.00	80.00
S. Kalikak		3.33	80.00	16.67
CES		0.00	40.00	60.00
H. Tropicana		0.00	20.00	80.00
H. Atlantique		0.00	60.00	40.00
Sablière		0.00	33.33	66.67
Beach Club	630-800	10.00	90.00	0.00
Ambassade Corée		0.00	20.00	80.00
Base GR		16.67	26.67	56.67
Villa_P_PR		10.00	53.33	36.67
Plage du Remorqueur		13.33	80.00	6.67
R. Simba 1-RD		3.33	43.33	53.33
Cocoteraie		0.00	73.33	26.67
Bungalow		3.33	43.33	53.33
Villa enr		3.33	33.33	63.33
Akouango V.		0.00	30.00	70.00

Source : Mouyalou V. M. T.

Le caractère EL, quant à lui, est présent dans notre série avec des proportions comprises entre 20% et 90%, soit une moyenne de 46,67% pour l'ensemble des profils. Les points, au niveau desquels on enregistre les proportions les plus importantes, correspondent aux profils Beach Club (90%), Plage du Remorqueur (80%), S. Kalikak (80%), Cocoteraie (73,33%), H. Atlantique (60%) et Villa\_P\_PR (53,33%).

Enfin, le caractère RM est présent dans notre série de données avec des proportions comprises entre 0 et 80%, soit une moyenne de 49,38% pour l'ensemble des profils. Les proportions les plus importantes de ce caractère sont mises en évidence au niveau des profils Dialogue (80%), H. Tropicana (80%), Ambassade de Corée (80%), Akouango V. (70%), et Sablière (66,67%).

Suivant le profil longitudinal, l'analyse de la distribution des caractères morphoscopiques pour les sables grossiers permet également de confirmer la délimitation spatiale des trois secteurs géographiques déjà été mis en évidence dans le cadre de l'analyse des sables fins et moyens. Dans la série des sables grossiers, le caractère morphoscopique NU confirme le mieux cette structuration. En effet, le premier secteur englobe le segment côtier

allant du profil Dialogue à Sablière. Le deuxième secteur s'étend du profil Beach Club à Plage du Remorqueur, enfin le troisième de R.Simba 1-RD à Akouango V.

Le premier secteur se caractérise par une très faible proportion des grains NU. Sa proportion tourne autour de 0 et 3,33%, contrairement aux caractères EL et RM dont les proportions sont comprises entre 0% et 80%. Une variation analogue est également notée entre ces deux caractères. En effet, la baisse de l'un est associée à l'augmentation de l'autre, avec une amplitude dans les mêmes proportions.

Le secteur 2 se caractérise par une présence plus prononcée du caractère NU, avec des proportions comprise entre 0% et 16,67%. On note également une variation analogue entre les caractères morphoscopiques EL et RM. En effet, la baisse de l'un est systématiquement associée à l'augmentation de l'autre, avec une amplitude dans les mêmes proportions.

Enfin, au niveau du secteur 3, on note à nouveau une baisse de la proportion du caractère morphoscopique NU avec une variation comprise entre 0 et 3,33%. À l'instar du secteur 2, les caractères EL et RM se caractérisent également par une variation synchrone. En effet, une fois de plus, la baisse de l'un est systématiquement associée à l'augmentation de l'autre avec une amplitude dans les mêmes proportions.

L'analyse des proportions de l'aspect des différents grains nécessite d'être corrélée avec l'agent de transport au cœur de chaque caractère morphoscopique. En effet, le caractère morphoscopique nous renseigne sur la nature de l'agent de transport et, éventuellement, sur le milieu de sédimentation.

D'une manière générale, le caractère émoussés-luisants est le plus répandu dans la zone d'étude, avec une moyenne de 48,26% pour l'ensemble des échantillons analysés ; contrairement aux caractères morphoscopiques NU (15,69%) et RM (36,04%). Ainsi, cette analyse autorise à dire de façon globale que près de la moitié des grains de quartz dans la zone d'étude ont principalement subi l'influence du transport aquatique. Cependant, par rapport au caractère non linéaire de l'apparition des proportions de ce caractère suivant le profil longitudinal, il est difficile d'établir le sens préférentiel de ce transport et, surtout, un lien avec la dérive littorale. De plus, les pourcentages non négligeables des RM et des NU mis en évidence au niveau de nombreux profils indiquent également d'autres agents de transport. D'une part, il s'agit de grains ayant subi un transport éolien. En effet, le pourcentage de RM montre que les sables ont subi une usure nette sous l'effet du vent. D'autre part, les grains NU illustrent vraisemblablement une origine fluviale. Cependant, il est important d'apporter quelques précisions sur ces deux agents de transport. Une abrasion éolienne implique nécessairement la présence des vitesses de vents susceptibles d'engendrer un transport de

sédiments. Cependant, tel n'est pas le cas actuel sur le littoral gabonais en général, et la zone d'étude en particulier. De ce fait, la seule explication possible est que ces sables proviennent des anciennes formations dunaires qui ont existées dans la baie d'Akouango. Par rapport à l'origine fluviatile soulignée par les grains NU, il s'agit de sables reliques déposées lors de la mise en place de l'estuaire. En effet, le stock sableux initial a sans doute été fourni par les apports fluviatiles conjugués des fleuves littoraux, affluents directs de l'estuaire, et peut être aussi par des organismes puissants tels que l'Ogooué et même le Congo, repris par les courants côtiers actifs (Weydert et Rosso, 1981 ; Weydert, 1982 *in* Peyrot et *al.*, 1990). Cela est soutenu par nos résultats de morphoscopie qui mettent en évidence la présence de sable oxydés de couleur ocre. Cet indice en lien avec la paléo-géographie témoigne d'un séjour de nos sables en milieu continental et/ou fluviatile. À ces sables reliques, il faut ajouter ceux issus des apports modestes dans le système côtier des cours d'eau tel que le Komo et les autres rivières d'importance moindre. Le Komo apporte très peu de sédiments. Cela se justifie par le fait que le stock sableux de la rive droite de l'estuaire se différencie morphologiquement des sables de Pongara par la présence, aux côtés des quartzs de types marins analogues à ceux précédemment décrits, de grains de quartz hyalins, anguleux et d'aspect fragmenté (Photo 39, ci-après).

**Photo 39:** Un échantillon de sable superficiel de la plage intertidale au niveau de la rivière Otendé.



Cliché : Mouyalou V. M. T., Février 2011.

Ces grains, qui sont d'autant plus fragmentés dans les classes granulométriques plus fines, alors qu'ils sont rares à Pongara, doivent être rapportés à un faciès beaucoup plus franchement détritique et fluviatile que celui des sables marins. Ils ont vraisemblablement une origine locale. Il pourrait s'agir des sables issus des paléocordons littoraux qui ont existé dans la Baie d'Akouango, dont les caractéristiques morphologiques sont identiques à ceux des sables de plages de la rive droite de l'estuaire et des petits fonds associés (Lafond, 1967). De nos jours, ce sont encore ces sables qui alimentent les plages au niveau de notre zone d'étude, soit depuis la plage immergée, ou tout simplement avec les sédiments arrachés à la plage aérienne lors des phases de recul du trait de côte.

D'une manière générale, on peut retenir que les grains EL restent les plus dominants. Ce qui nous permet de dire que le stock sableux au cours de son évolution a été soumis à l'abrasion de la mer. Ainsi, la mer a joué un rôle prépondérant dans le façonnement des grains, plus que les autres agents de transport que sont le vent et les fleuves.

La variabilité du caractère morphoscopique suivant le profil longitudinal témoigne de la diversité des conditions de transport et de sédimentation, ainsi que des sources d'apport. En effet, chaque source se distingue par une signature granulométrique et par une morphoscopique particulière, établissant ainsi un lien entre la granulométrie et le caractère morphoscopique. Les profils situés aux extrémités Nord et Sud de la zone d'étude se distinguent par une sédimentation fine, au détriment des profils intermédiaires (sédimentation moyenne à grossière). Tels sont les cas des profils Dialogue et Akouango V. Plus le sédiment est fin, plus les grains NU sont dominants, suivi des EL et enfin des RM. Ainsi, par rapport à la variation des caractères morphoscopiques suivant le profil longitudinal, il ressort de cette analyse qu'il est difficile d'établir un modèle de distribution des caractères morphoscopiques suivant le sens de la dérive littorale et/ou inversement. L'analyse de la variation suivant le profil longitudinal des différents caractères morphoscopiques a permis de délimiter trois secteurs, au sein desquels la variation de la proportion des caractères morphoscopiques semble obéir un modèle cohérent.

Au-delà de la couleur ocre et/ou jaune orangé (indice d'oxydation) de quelques grains de quartz, sur l'ensemble des échantillons, on note une abondance de grain glauconieux de couleur brun-marron à marron verdâtre de nature ferrugineuse. Très lustrés, brillants et craquelés, ils évoquent des néoformations de la glauconie. La glauconisation se caractérise par des précipitations de fer ferrique soit sur des tests de lamellibranches, de foraminifères ou

de quartz en milieu peu profond. La présence de la glauconie peut être considérée comme indicateur de l'origine de ces sédiments en provenance du proche plateau continental.

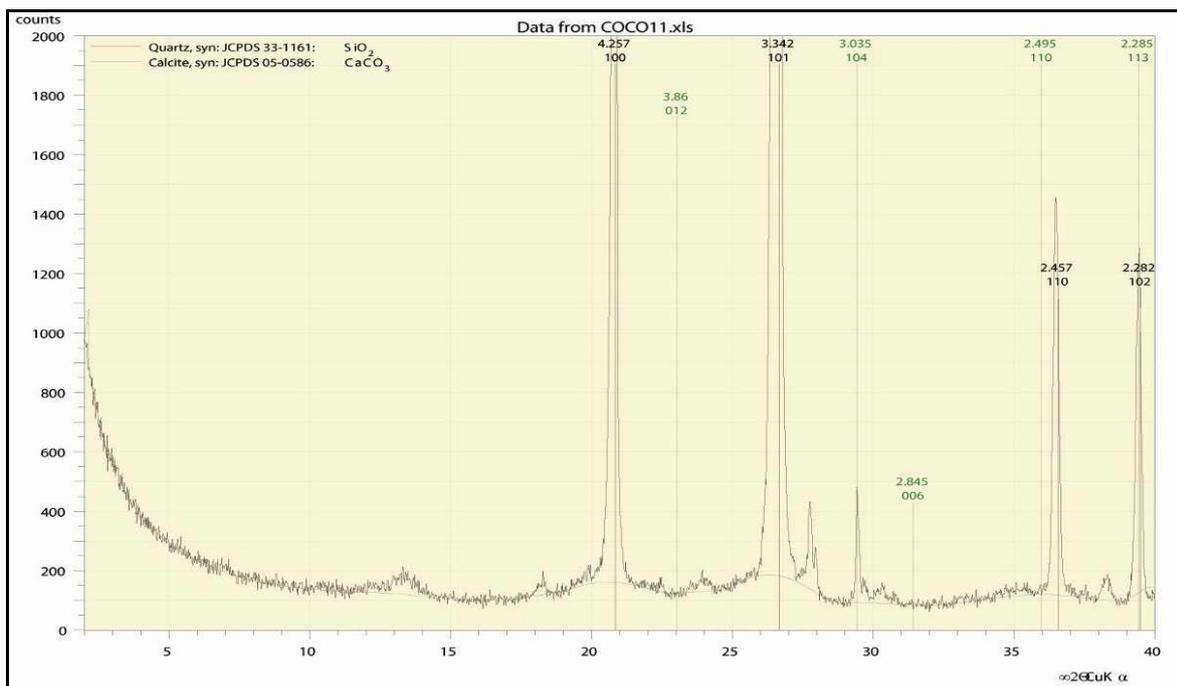
## 9.2. Minéralogie des sables superficiels de la plage intertidale

Une étude minéralogique a été réalisée dans le but de déterminer les caractéristiques minéralogiques des sédiments détritiques superficiels de la plage intertidale et d'aborder les facteurs de contrôle et les sources des sédiments.

### 9.2.1. Les minéraux non argileux

Le cortège minéralogique est constitué principalement par le quartz, la calcite magnésienne et la dolomite (Figure 110, ci-après). Leur origine est essentiellement détritique.

**Figure 110:** Diffractogramme aux rayons X des minéraux non argileux des sables de la Cocoteraie.



Source : Mouyalou V. M. T. ; analyses effectuées au Laboratoire CEFREM, Université de Perpignan.

Comme l'illustre le Diffractogramme, le quartz est le minéral non argileux le plus abondant à près de 97%, associé à la dolomite et la calcite (environ 3%). En dehors de ces trois minéraux, le diagramme montre des pics beaucoup moins importants. Ces pics mineurs correspondent à d'autres phases minérales non identifiables sur le diagramme RX obtenu à partir de l'échantillon total. La faiblesse du cortège minéralogique, en ce qui concerne les

minéraux non argileux, nous amène à nous interroger sur l'origine du sable qui alimente les plages de Libreville. Au regard des autres analyses, la faiblesse en minéraux non argileux se justifie à plus d'un titre. Dans la logique, la minéralogie permet de se faire une idée de la nature du bassin versant traversé par les cours d'eau qui alimentent le littoral en sédiment. Ainsi, la faiblesse du cortège minéralogique conforte l'idée selon laquelle ces sables ont plutôt une origine locale, contrairement à d'autres environnements littoraux où les apports par les fleuves portent l'empreinte minéralogique des bassins versants traversés par les cours d'eau. Tel n'est pas le cas de notre système sédimentaire. Ici, il s'agit plutôt du remaniement des anciens sédiments présents sur la rive droite de l'estuaire du Komo.

### **9.2.2. Les minéraux lourds**

L'abondance et la nature des minéraux lourds dans un sédiment dépendent de la nature des roches du bassin versant, ainsi que des conditions d'altération, de transport et de sédimentation (Marchesseau, 1975). Tout comme les minéraux non argileux, les minéraux lourds sont utilisés comme des traceurs pour déterminer l'origine des sédiments. De ce fait, l'analyse des minéraux lourds dans l'estuaire du Komo concourt à identifier les différentes sources de sédiments que l'on retrouve dans les différents secteurs de l'estuaire.

D'une manière générale, la présence des minéraux lourds dans les sables de l'estuaire du Komo est faible. L'analyse des minéraux lourds présentée dans ce travail est une synthèse des travaux de Lafond (1967) réalisés à l'échelle de l'estuaire du Komo.

La proportion des minéraux lourds par rapport au sédiment total est très variable au niveau de l'estuaire du Komo. Quelques chiffres permettent d'apprécier leur teneur. Au niveau de Pongara pour les sables grossiers la teneur est de 2,75%. Pour le Banc de Perroquet, les sables fins ont une teneur de 3,17%. Enfin, les sables fins à moyens côtiers Nord de Libreville à Owendo ont une teneur de 1,36% en minéraux lourds. Ces moyennes ne tiennent pas compte des accumulations exceptionnelles que l'on peut rencontrer sur les plages, et dont l'existence est due à des facteurs dynamiques purement locaux. À titre d'exemple, il existe autour de la Pointe Owendo des petites concentrations contenant jusqu'à 15 et 18% de minéraux lourds.

Plusieurs catégories de minéraux lourds ont été mises en évidence au niveau de l'estuaire du Komo. La première catégorie concerne les minéraux opaques qui sont courants dans les sédiments actuels. Il s'agit des grains globuleux constitués majoritairement de grains de concrétions latéritiques, reconnaissables en éclairage latéral à leur forme et à leur couleur, et faciles également à discerner à la loupe binoculaire. L'étude du tableau analytique montre

que ces concrétions forment la presque totalité du stock des minéraux lourds des sables actuels de la côte Nord de l'estuaire du Komo ; stock d'ailleurs relativement peu important dans l'ensemble du sédiment. À ces concrétions, il faut ajouter les micas surtout représentés par de grandes paillettes de biotite qui ont tendance à se déposer dans les zones les plus calmes. À ces micas s'ajoute aussi la muscovite, qui est beaucoup moins fréquente que la biotite, et se présente en petites paillettes incolores. Pour ces minéraux opaques, une zonation a été établie par Lafond (1967). En effet, la région de l'Ile Perroquet est caractérisée par la plus grande abondance relative de muscovite ainsi que de phyllites en général. Alors que les sédiments sur la rive droite notamment de Libreville à Owendo se caractérisent essentiellement de ces concrétions latéritiques.

Les autres minéraux lourds appartiennent soit au groupe des minéraux particulièrement résistants, soit au groupe caractéristique des apports métamorphiques. Les minéraux résistants sont représentés par des tourmalines. Il s'agit en général des tourmalines brunes, ferrifères et parfois extrêmement foncées. Pour les minéraux particulièrement résistants, une zonation est également visible. À Owendo et Libreville, les tourmalines représentent pratiquement les seuls minéraux lourds transparents du stock sableux. À l'Ile Perroquet, quelques tourmalines vertes s'ajoutent aux brunes, mais également les sphènes.

Les silicates d'alumine se présentent en petits fragments roulés, même pour le disthène. L'andalousite, peu fréquente sur la côte Sud de l'estuaire, est au contraire bien représentée à l'Ile Perroquet et dans la rivière Assembé sur la rive gauche de l'estuaire du Komo. Cela suggère pour ce minéral une origine locale, conforme d'ailleurs à sa vocation de minéral du métamorphisme de contact. Le disthène est très rare, limité à quelques grains dans certaines plaques ; mais, il paraît systématiquement plus fréquent à Pongara qu'à Perroquet. La staurotide, en petit grains, sans forme caractéristique, anguleuse, se retrouve à peu près également aussi bien à Pongara qu'à Perroquet. Il ressort de cette analyse que la différence observée au niveau du cortège en minéraux lourds pour les sédiments de la rive droite (Libreville-Owendo) et gauche (Pongara-Perroquet) de l'estuaire peut être utilisée pour conclure que ces sédiments n'ont aucune origine commune.

Les sédiments, qui alimentent les plages de Libreville, proviennent du remaniement d'anciens dépôts holocènes. Au vu du caractère limité de ces stocks sableux, il y a donc lieu de s'interroger sur le devenir de ces plages en terme du disponible sédimentaire.

### 9.2.3. Calcimétrie des sables superficiels de la plage intertidale

Le Tableau 42, ci-après, présente les résultats de l'analyse calcimétrique pour les sables superficiels de la plage intertidale au niveau de quatre profils de la zone d'étude. D'une manière générale, on note une variation de la teneur en carbonates, d'une part, en fonction de la fraction granulométrique analysée et, d'autre part, selon la position du profil dans la zone d'étude.

**Tableau 42:** Calcimétrie des sables intertidaux entre l'hôtel Dialogue et la rivière Oténdé.

Taille des grains	Teneurs en carbonates par classe granulométrique et par échantillon (%)			
	R. Oténdé_RD	R. Simba 1-RD	H. Atlantique	Dialogue
3.15 mm	63	46	0	0
1.6 mm	46	6	0	0
0.63 mm	17	2	0	9
0.2 mm	33	7	3	9
0.063 mm	1	0	3	0
Moyenne par échantillon	32	10	1	4

Source : Mouyalou V. M. T. ; analyses effectuées au Laboratoire CEFREM, Université de Perpignan.

D'une manière générale, l'analyse calcimétrique a permis de mettre en évidence une contribution non négligeable des carbonates dans la composition massique des sédiments superficiels de la plage intertidale. En effet, cette contribution varie entre 0 et 63%, ce qui témoigne une d'origine bioclastique des sédiments. L'analyse de la teneur en carbonates a permis d'établir un modèle de distribution en fonction des classes granulométriques. D'une manière générale, les classes granulométriques les plus grandes sont associées à des valeurs calcimétriques les plus élevées. À titre d'exemple, les classes granulométriques grossières (3,15 et 1,6 mm) correspondent aux concentrations de carbonates les plus élevées. Il s'agit respectivement de 63% et 46% pour le profil R. Oténdé\_RD et R. Simba 1-RD.

Pour l'ensemble des échantillons analysés, les carbonates sont d'origine biodétritique, car ils sont liés à l'abondance relative de débris de mollusques. Ces débris coquilliers sont aussi bien macroscopiques que microscopiques (débris de mollusques, lamellibranches, gastéropodes et quelques foraminifères benthiques), tous extrêmement émoussés comme l'illustrent les Photos 40 et 41, ci-après.

**Photo 40:** Débris coquilliers d'un échantillon de la rive gauche de la rivière Otendé.



Cliché : Mouyalou V. M. T., Février 2011.

**Photo 41:** Débris coquilliers extraits d'un échantillon de la Cocoteraie.



Cliché : Mouyalou V. M. T., Février 2011.

Au regard de ces résultats, une nette différenciation apparaît. En effet, les profils de la zone Nord (R. Otendé\_RD et R. Simba 1-RD) se distinguent par des fortes concentrations de débris coquilliers et par conséquent des carbonates, contrairement à ceux de la zone Sud (H. Atlantique et Dialogue). Une diminution de la teneur en carbonates est également mise en évidence suivant le sens de la dérive littorale. Dans les échantillons de la zone Nord, on note également une importante concentration des carbonates pour les classes granulométriques fines. C'est le cas du profil R. Otendé\_RD qui, en dépit de la forte teneur en carbonates liée aux débris coquilliers macroscopiques, se distingue également par une teneur élevée de carbonates en lien avec la présence des débris microscopiques. L'absence de carbonates, au niveau des classes grossières pour les échantillons de la zone Sud, suggère qu'il n'existe pas de débris grossiers macroscopiques. La totalité du sédiment est constitué de classes fines à très fines. Cela est conforme aux résultats obtenus lors de l'analyse granulométrique. Ici la totalité des carbonates est liée, d'une part, à la présence des mollusques microscopiques, et d'autre part, à des fins débris calcaires arrachés du platier rocher affleurant et situé à proximité du profil Dialogue.

D'une manière générale, les résultats de la calcimétrie permettent de mettre en évidence les processus de transport et de sédimentation au niveau des plages intertidales. En effet, la différence de la teneur en carbonates entre les zones Nord et Sud est principalement liée à l'influence des courants côtiers et de la dérive littorale. Dans la zone Nord, l'apport marin coquillier est assez important, vu les conditions d'agitation engendrées par la houle résiduelle en provenance du large. Principalement, ces conditions hydrodynamiques sont au cœur des processus de transport et de sédimentation des débris coquilliers grossiers. De plus, la proximité des affleurements rocheux et de la zone d'abri constituée par le Cap Santa Clara est à l'origine de la présence de ces mollusques. Ainsi, la diminution de la teneur en carbonates dans la zone Sud est liée à cette situation. Aussi, les données de la calcimétrie appuient-elles largement l'origine essentiellement proximale des sédiments qui alimentent les plages intertidales dans la zone d'étude. De ce fait, la faible teneur en carbonates dans la zone Sud est due au fait qu'une part importante du sable de la plage provient d'une remobilisation des sédiments arrachés à la côte et de ceux provenant de l'avant plage, qui sont ensuite redistribués par les courants de dérive littorale.

En conclusion, l'analyse de la forme et l'état de surface des grains de quartz, ainsi que la composition minéralogique des sédiments, ont permis d'obtenir des informations sur les paléo-conditions de la mise en place des sédiments. Pour l'ensemble des sédiments, le caractère émoussés-luisants est dominant, contrairement aux caractères morphoscopiques NU et RM. Cela permet de conclure que les sédiments étudiés ont majoritairement connu un transport marin. Toutefois, les pourcentages non négligeables des RM et des NU indiquent également la présence d'autres agents de transport, notamment le vent et vraisemblablement l'eau (origine fluviale). Cependant, il est pour nous important d'apporter quelques précisions sur ces deux derniers agents de transport. Par rapport au façonnement par le vent (RM), la seule explication possible est qu'il s'agit des sables issus d'anciennes formations dunaires, qui ont existées dans la baie d'Akouango. Par rapport à l'origine fluviale soulignée par les grains NU, il s'agit des sables déposés lors de la mise en place de l'estuaire associée aux faibles apports de sédiments par les rivières côtières.

En ce qui concerne la couleur, les grains de quartz sont ocres et/ou jaune orangés (indice d'oxydation). Sur l'ensemble des échantillons, on note une abondance de grains glauconieux de couleur brun-marron à marron verdâtre de nature ferrugineuse, très lustrés, brillants et craquelés, qui évoquent des néoformations de la glauconie. La présence de la

glauconie peut être utilisée comme indicateur de l'origine de ces sédiments en provenance du proche plateau continental.

Sur le plan des minéraux non argileux, l'analyse au rayonX indique que le cortège minéralogique est constitué principalement par le quartz, la calcite magnésienne et la dolomite dont l'origine est essentiellement détritique. La minéralogie permet de se faire une idée de la nature du bassin versant traversé par les cours d'eau qui alimentent le littoral en sédiment. Ainsi, la faiblesse du cortège minéralogique conforte l'idée selon laquelle ces sables ont plutôt une origine locale, contrairement à d'autres environnements littoraux où les apports par les fleuves portent l'empreinte minéralogique des bassins versants traversés par ceux-ci. L'abondance et la nature des minéraux lourds dans un sédiment dépendent de la nature du bassin versant, ainsi que des conditions d'altération, de transport et de sédimentation. D'une manière générale, la richesse en minéraux lourds des sables de l'estuaire du Komo est faible.

De plus, les éléments de sédimentologie permettent de conclure que les sédiments, qui alimentent la rive droite de l'estuaire du Komo, n'ont pas la même origine que ceux de la rive gauche. En effet, le stock sableux de la rive droite de l'estuaire se différencie morphologiquement des sables de Pongara par la présence, aux côtés des quartzs de type marins analogues à ceux précédemment décrits, de grains de quartz hyalins, anguleux et d'aspect fragmenté. Les sables de Pongara sont majoritairement ocres, par rapport à ceux de Libreville. De plus, le cortège minéralogique les différencie totalement.

Fort de ce qui précède, on peut alors affirmer que les sédiments qui alimentent les plages de Libreville proviennent du remaniement d'anciens dépôts holocènes présents aussi bien à l'avant plage que dans le haut de plage. Au vu du caractère limité du stock sableux qui alimente les plages de Libreville, Il ya donc lieu de s'interroger sur le devenir de ces plages en terme du disponible sédimentaire

L'analyse calcimétrique a permis de mettre en évidence une contribution non négligeable des carbonates dans la composition massique des sédiments. Les carbonates sont d'origine biodétritique, car ils sont liés à l'abondance relative de débris de mollusques. Ces débris coquilliers sont aussi bien macroscopiques que microscopiques (débris de mollusques, lamelibranches, gastéropodes, et quelques foraminifères benthiques), tous extrêmement émoussés.

Les résultats de la calcimétrie permettent de mettre en évidence la diversité des sources de sédiments, ainsi que l'effet des processus de transport et de sédimentation au niveau de ces plages intertidales. En effet, la différence de la teneur en carbonates entre la zone Nord et Sud est principalement liée à la multitude des sources d'apports de sédiments.

Dans la zone Nord, l'apport marin coquillier est assez important, vu les conditions d'agitation engendrées par la houle résiduelle en provenance du large et aussi la présence des affleurements rocheux. Principalement, ces conditions sont au cœur des processus de transport et de sédimentation des débris coquilliers grossiers.

Enfin, l'analyse des sédiments superficiels de la plage intertidale a permis de les caractériser sur les plans granulométrique, morphoscopique, minéralogique et calcimétrique. Les paramètres granulométriques des sédiments ont été déterminés à partir d'un tamisage à sec sur une colonne de tamis de la série AFNOR. La particularité plurimodale des sédiments a fait recours à plusieurs types d'analyse. Il s'agit notamment des analyses des indices paramétriques, des classes granulométriques et, enfin, de l'analyse modale.

Les diagrammes de Moiola-Weiser ont permis de mettre en évidence les sources des sédiments présents sur ces plages. En outre, les analyses morphoscopiques à la loupe binoculaire ont conduit à la détermination des formes, des états de surface des grains de quartz.

D'une manière générale, le caractère Emoussés-Luisants est le plus répandu dans la zone d'étude, au détriment du Non-Usé et du Rond-Mat. Sur le plan minéralogique, le quartz est le minéral non argileux le plus abondant à près de 97%, associé à la dolomite et la calcite (environ 3%). La faiblesse des minéraux témoigne de l'origine locale, essentiellement du remaniement, de ces sédiments. Le couplage de tous ces résultats a apporté des informations sur les paléo-conditions de la mise en place de sédiments.

## **CONCLUSION GENERALE**

Ce travail de recherche, portant sur la dynamique côtière, avait pour principal objectif de mettre en évidence et de mesurer les phénomènes d'érosion qui affectent le littoral Nord de Libreville. Le suivi de la dynamique morphosédimentaire des plages sableuses intertidales a été le principal objectif de ce travail. L'analyse a porté plusieurs objectifs spécifiques, notamment : la compréhension des processus qui régissent l'évolution des plages, la mise en évidence des forçages naturels et anthropiques dans la dynamique des plages intertidales, ainsi que l'acquisition des données et informations utiles pour accompagner la gestion et l'aménagement de la zone côtière.

Cette thèse a porté sur le suivi morphodynamique des plages intertidales. La compréhension des processus mis en jeu a nécessité les approches de morphologie et de sédimentologie. L'analyse de la morphologie a pris en compte le suivi des profils transversaux de la plage intertidale et l'analyse diachronique du trait de côte.

Le suivi des profils transversaux de la plage intertidale sur la période 2012-2015 présente des morphotypes divers et variés. Il s'agit des profils modérément escarpés, voire concaves avec certaines exceptions à l'aplanissement (morphotypes plats). L'irrégularité des profils de plage est accentuée par la présence de nombreuses formes mineures qui se caractérisent par une variété dues aux conditions hydrodynamiques. Il s'agit principalement des gradins de plage, des croissants de plage, des crêtes et sillons sédimentaires et, enfin, des rides de plages. Une zonation de chacune de ces formes renseigne sur les conditions hydrodynamiques dans la zone d'étude. L'analyse de l'ensemble des profils a permis de mettre en évidence une importante variation de la pente de la plage comprise entre 3,45% et 19,89 %, respectivement pour la plage de Gué-Gué et la station Ambassade de Corée à La Sablière.

La variation de la pente de la plage intertidale suivant le profil longitudinal est également un indicateur de son exposition aux houles résiduelles en provenance du large. Tout d'abord l'orientation NO-SE de la côte engendre des zones à faible et très faible exposition aux houles résiduelles, mais aussi la variation de la largeur du plateau librevillois. À ces deux facteurs s'associent les activités anthropiques, qui ont considérablement artificialisé la côte avec pour conséquence des plages aux pentes escarpées.

L'analyse des profils transversaux de la plage a également permis de mettre en évidence la variation du trait de côte. Entre décembre 2012 et juin 2015, des reculs compris entre -2 et -12 m ont été mis en évidence. L'explication la plus rationnelle est celle en lien avec les activités anthropiques, qui ont pour conséquence de perturber la dynamique morphosédimentaire. Les bilans sédimentaires confirment la tendance à l'érosion des plages

intertidales. Sur la période d'étude, le bilan sédimentaire global est négatif. Pour la période de décembre 2012 à juin 2015, le bilan sédimentaire des stations de la zone Nord de la Baie d'Akouango varie entre  $-18,8 \text{ m}^3/\text{m}$  et  $+11,08 \text{ m}^3/\text{m}$ , tout en indiquant d'énormes différences selon les stations.

L'analyse de la variation des bilans sédimentaires ne permet pas de mettre en évidence une progression linéaire basée sur une érosion généralisée en amont transit et un engraissement conséquent en aval. Cela peut également être soutenu par la faiblesse du transit sédimentaire enregistré sur ces plages. Les sédiments, qui alimentent les plages, ont plutôt une origine proximale. En l'absence des sources d'apport tels que les fleuves, il s'agit essentiellement du remaniement à l'échelle spatiale de la station soit depuis l'arrière plage, ou le bas de plage. La comparaison des bilans sédimentaires cumulés et des conditions de forçages (période des vagues au large) ne permet pas de mettre en évidence de façon absolue une variation saisonnière des phases d'érosion et d'accrétion. Toutefois, l'impact de certains évènements extrêmes est aisément observable dans la variation des bilans sédimentaires pour bon nombre de stations. D'une manière générale, on peut conclure que les activités anthropiques jouent un rôle majeur dans la variation spatiale de la dynamique morphosédimentaire et, par voie de conséquence, des bilans sédimentaires des plages intertidales.

L'analyse de la cinématique du trait de côte a été réalisée à partir de photographies aériennes des années 1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013 sur un linéaire côtier d'environ 15 km. Le module DSAS de l'environnement ArcGIS a rendu possible l'utilisation de deux indices statistiques qui sont l'EPR et le LRR. D'une manière générale, le trait de côte alterne entre phase d'érosion et phase d'engraissement, même si la tendance globale est à l'érosion. En effet, entre 1977 et 2013 la cinématique du trait de côte révèle des taux de variation compris entre  $-2,07 \text{ m/an}$  à  $+1,78 \text{ m/an}$ . Ces taux correspondent à 83% des plages en érosion contre 17% en accrétion.

Une tendance longitudinale a également été observée. En effet, la zone Nord se singularise par l'érosion avec des taux de recul moyennés autour de  $-1 \text{ m/an}$ . La zone centrale, quant à elle, est associée à des taux moyennés autour de  $-0,5 \text{ m/an}$ . À l'inverse, la zone extrême Sud se caractérise par une accrétion correspondant globalement à des taux de  $+0,5 \text{ m/an}$ , uniquement sur la plage dite du Lycée Léon Mba. En lien avec la vulnérabilité à l'érosion côtière, les zones les plus sensibles sont celles où des activités anthropiques ont été mises en évidence.

L'analyse granulométrique a permis d'analyser la dynamique sédimentaire. La méthode la plus indiquée, celle de Gao & Collins (1992), qui est largement utilisée en sédimentologie pour l'étude de la dynamique sédimentaire, n'a pas pu être utilisée dans le présent travail. Cela se justifie du fait que cette méthode ne peut être appliquée que dans le cadre des sédiments unimodaux pour lesquels le calcul des paramètres statistiques usuels (la médiane, le Sorting, et Skewness) a un sens (Folk & Ward, 1957). Pour un total de 114 échantillons pour les séries 2011, 2012 et 2014, nous avons 28% d'échantillons unimodaux, 51% bimodaux et, enfin, 21 % de trimodaux.

L'analyse des indices paramétriques pour les échantillons du bas de plage a permis d'aboutir à la conclusion suivante : la médiane présente une certaine hétérogénéité allant du sable fin au grossier, correspondant à des sédiments bien triés. L'indice d'asymétrie varie entre l'asymétrie vers les fines et la quasi symétrie. Dans leur globalité, les échantillons de la moyenne plage correspondent aux sables fins, avec un excellent triage variant entre le très bien trié à bien trié. L'indice d'asymétrie indique que la totalité des échantillons est presque symétrique. Enfin, la taille des échantillons du haut de plage, varie du sable fin, moyen à grossier. Une fois de plus, le triage est assez bon et l'indice d'asymétrie reflète des sédiments presque symétriques.

L'analyse de la variation de la médiane suivant le profil longitudinal permet de mettre en évidence la présence du sable fin au niveau de l'ensemble des échantillons unimodaux, mais également la prédominance d'une sédimentation grossière entre les stations P13 et Plage du Remorqueur. L'analyse de la variation de l'indice du triage, suivant le profil longitudinal, démontre que les sédiments, qui présentent le meilleur triage, se retrouvent majoritairement au niveau des stations situées en position aval transit de la zone d'étude, notamment de la station H. Tropicana à Dialogue. Enfin, l'analyse de l'indice d'Asymétrie suivant le profil longitudinal permet de mettre en évidence l'alternance des valeurs de l'indice d'asymétrie aussi bien positif que négatives, correspondant toutes au caractère presque symétrique.

L'utilisation des indices paramétriques a également permis, à travers les diagrammes Md-So et Sk-Md (Moiola and Weiser, 1968) de déterminer les différents environnements de dépôt des sédiments de la zone d'étude. En effet, le diagramme Md-So a permis d'établir que 100 % des sédiments analysés sont caractéristiques du domaine de plage, au détriment du domaine de rivière (0%). Ce résultat nous conforte à l'idée selon laquelle, les apports de sédiments sur la côte par les rivières dans la zone d'étude sont faibles et n'apparaissent pas dans cette analyse. Ensuite, le diagramme de dispersion Sk-Md illustre une dispersion des points et une répartition des grains comprise entre les domaines des dunes continentales (68

%) et celui des dunes côtières (32 %). En définitive, les sédiments qui alimentent les plages de la baie d'Akouango proviennent majoritairement d'un environnement marin. Les caractéristiques propres aux sédiments en provenance des rivières étant très marginales, elles n'apparaissent pas dans les analyses faites. Cela est conforme à l'absence de cours d'eau d'importance capable d'alimenter notre système côtier en sédiments détritiques. De plus, il s'agit des anciens sédiments régulièrement remaniés. Ce remaniement concerne à la fois les sédiments d'avant plage et ceux du haut de plage.

Après l'analyse paramétrique limitée aux seuls échantillons unimodaux, celle du caractère modal a également permis d'étudier la dynamique sédimentaire. L'avantage de cette méthode réside dans la prise en compte aussi bien des échantillons unimodaux que plurimodaux.

L'analyse de la variabilité spatio-temporelle du caractère modal a été utilisée comme indicateur de la variabilité de la dynamique sédimentaire au niveau de chaque point de prélèvement et, également, suivant le profil longitudinal. Dans nos données, plusieurs types de mutation du caractère modal au niveau de chaque point de prélèvement é été enregistré. Les cas de mutations mises en évidence sont les suivantes : un mode vers deux modes ; deux modes vers un mode ; deux modes vers trois modes ; trois modes vers un mode et trois modes vers deux modes. De plus aucun cas de mutation de un vers trois, ni de deux vers trois modes n'a été observé. À ces mutations du caractère modal, il faut ajouter bon nombre de cas où les points de prélèvements ont conservé leurs caractéristiques modales.

La question centrale qui se pose est alors celle de comprendre les processus au cœur de la mutation de ces caractères modaux. Comment peut on expliquer la mise en place des échantillons plurimodaux aussi bien sur le bas, la plage et le haut de plage ? On peut alors penser que ce modèle de distribution des caractères modaux peut être interprété comme étant la conséquence de la succession de plusieurs phases érosives et engraissement à l'origine de la mixité des sédiments issus des dépôts divers et variés. En présence d'un triage médiocre (faiblesse des échantillons unimodaux), il est alors difficile de croire aux apports issus du transit sédimentaire. Il s'agit plutôt en majorité du remaniement local à l'échelle de la station. En définitive, l'analyse des caractères modaux a permis de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des processus de transport et de sédimentation sur les plages intertidales. Elle a aussi permis de classifier les différents secteurs de la zone suivant le profil longitudinal.

L'analyse modale a également été mise à contribution pour étudier la dynamique sédimentaire. L'analyse modale a permis de faire la statistique de modes, ainsi que la variation de la valeur modale pour chaque prélèvement et suivant le profil longitudinal. La

statistique de mode a permis, pour chaque série temporelle, de déterminer graphiquement des Types sédimentaires (TS). Pour les séries de 2011 et 2012, la statistique de mode a mis en évidence deux TS. Les valeurs de ces TS sont pour 2011 de 0,22 et 0,68 mm, contre 0,2 et 0,68 mm pour 2012. Par contre la série 2014 présente trois TS dont les valeurs sont de 0,2, 0,45 et 0,65 mm. L'apparition de ce troisième TS pour caractériser la série 2014 s'explique par la présence d'un mode particulier localisé au niveau du secteur côtier le plus anthropisé.

Toutefois, le test statistique (Anova) appliqué aux trois séries de données permet de conclure qu'en dépit de ce TS supplémentaire, il reste marginal pour être pris en compte dans la caractérisation des sédiments de l'ensemble de la zone d'étude. Les sédiments pour les trois séries présentent les mêmes caractéristiques.

L'analyse de la variation de la valeur modale suivant le profil longitudinal pour chaque série a permis de mettre en évidence les associations des valeurs modales inféodées aux différents caractères modaux (uni, bi et trimodal). Les différents TS sont parfois seuls ou en association. D'une manière générale, on note la distribution de façon régulière du TS (0.2 mm) sur l'ensemble de la zone d'étude, soit en premier, deuxième ou troisième mode. L'analyse de la distribution et de l'association des valeurs modales permet de mettre en évidence de façon globale un affinement des sédiments depuis le Nord en direction du Sud.

La variabilité interannuelle de la dynamique sédimentaire a également été mise en évidence à travers les valeurs modales. Conformément aux mutations enregistrées dans le cadre des caractères modaux, cette comparaison a également permis de mettre en évidence trois situations possibles. Tout d'abord des cas où le point de prélèvement a conservé sa valeur modale avec cependant l'apparition d'un mode supplémentaire. Ensuite, des cas où la valeur modale n'a connu aucune variation. Enfin, des cas pour lesquels les valeurs modales ont totalement changées.

L'analyse des classes granulométriques a permis également de mettre en évidence la dynamique sédimentaire. Une classe granulométrique (CG) se définit comme étant la proportion de sédiments exprimée en pourcentage de poids massique dans un échantillon, dont la distribution est comprise entre deux limites dimensionnelles appelées limites de classe (Wentworth, 1922). Les classes granulométriques pris en compte ici sont les suivantes : Gravier (G) , sable très grossier ( STG), Sable grossier (SG), Sable moyen (SM) , Sable fin (SF) et enfin Sable très Fin (STF). Cette analyse a permis de mettre en évidence la variabilité spatio-temporelle des processus de transport et de sédimentation, au niveau de chaque point de prélèvement, le long d'un profil transversal de la plage et suivant le profil longitudinal.

La majorité des échantillons est composée par l'association de plusieurs classes granulométriques, allant des graviers aux sables très fins. Les classes granulométriques correspondant à une sédimentation grossière sont majoritairement présentes au niveau des échantillons localisés dans la partie Nord, ainsi que dans les points les plus dynamiques en termes de recul du trait de côte. Egalement, au niveau de ces points de prélèvements, on enregistre les cas les plus remarquables de variation interannuelle. Par rapport aux classes granulométriques grossières, ces sédiments sont composés d'éléments détritiques issus de trois origines possibles. Il peut s'agir des éléments siliceux dits lithoclastiques (débris de roches) ou des éléments calcaires, dits bioclastiques (principalement des débris coquilliers). À ces deux types s'ajoutent les éléments d'origine anthropiques composés le plus souvent des débris latéritiques et de ciments issus de la destruction d'anciennes constructions par l'érosion côtière. En dehors de ces classes grossières, dont la distribution est assez localisée, les Classes Granulométriques Sable Fin (CGSF) et Sable Très Fin (CGSTF) sont majoritairement présentes dans l'ensemble des échantillons. Néanmoins la CGSTF est dominante à l'extrême Nord de la zone d'étude. Cela pourrait avoir plusieurs explications. Tout d'abord le caractère d'abri que constitue le Cap Santa Clara par rapport aux conditions d'agitation en provenance du large couplée à la dérive littorale inverse en direction du Nord. Cette situation a été confirmée par les résultats de notre travail. Ainsi, les particules fines issues des apports turbides par les processus tidaux, notamment le courant librevillois, sont autant de facteurs qui favorisent la mise en place de cette sédimentation fine (CGSTF). Certains prélèvements situés en aval transit, tel qu'à l'hôtel Dialogue, se distingue également par une valeur élevée de la CGSTF. Ici les raisons de cette situation sont en lien avec les processus de triage du sédiment par les courants marins lors des processus de transport et de sédimentation.

Toujours en lien avec l'analyse de la dynamique sédimentaire, une variabilité interannuelle des différentes classes granulométriques a également été mise en évidence pour l'ensemble des échantillons (2011, 2012 et 2014). Dans la majorité des cas, cette variabilité est enregistrée au niveau des profils les plus dynamiques indifféremment pour le bas, la moyenne et le haut de plage.

L'analyse de la forme et l'état de surface (morphoscopie) des grains de quartz ainsi que la composition minéralogique des sédiments superficiels de la plage intertidale ont permis d'obtenir des informations sur l'histoire géologique ainsi que l'ensemble des processus en lien avec la mise en place des sédiments sur les plages étudiées. L'analyse des proportions de l'aspect des différents grains (NU, EL et RM) nécessite d'être corrélé avec l'agent de transport au cœur de chaque caractère morphoscopique. En effet, le caractère morphoscopique

nous renseigne sur la nature de l'agent de transport et, éventuellement sur le milieu de sédimentation.

D'une manière générale, le caractère émoussé-luisant est le plus répandu dans la zone d'étude avec une moyenne de 48,26% pour l'ensemble des échantillons analysés, contrairement aux caractères morphoscopiques NU et RM qui sont respectivement de 15,69% et 36,04%. De plus, les pourcentages non négligeables des RM et des NU mis en évidence au niveau de nombreux profils indiquent également l'influence des autres agents de transport. D'une part, il pourrait s'agir de grains ayant subi un transport éolien. En effet, le pourcentage de RM montre que les sables ont subi une usure nette sous l'effet du vent. D'autre part, les grains NU illustrent vraisemblablement une origine fluviatile. Cependant, il est important d'apporter quelques précisions sur ces deux agents de transport. Une abrasion éolienne implique nécessairement la présence des vitesses de vents susceptibles d'engendrer un transport de sédiments. Cependant, tel n'est pas le cas sur le littoral gabonais en général et la zone d'étude en particulier. De ce fait, la seule explication possible est que ces sables proviennent des anciennes formations dunaires qui ont existées dans la Baie d'Akouango. Par rapport à l'origine fluviatile soulignée par les grains NU, il s'agit des sables dont l'origine est multiple. Il pourra, d'une part, s'agir des sables reliques déposés lors de la mise en place de l'estuaire et, d'autre part, des apports bien que faibles par les cours d'eau côtiers.

La variabilité du caractère morphoscopique suivant le profil longitudinal témoigne de la diversité des conditions de transport et de sédimentation, ainsi que des sources d'apport. Chaque source se distingue par une signature morphoscopique particulière, établissant ainsi un lien entre la granulométrie et le caractère morphoscopique.

Par rapport à l'origine de ces sables, l'analyse morphoscopique révèle que le stock sableux de la rive droite de l'estuaire se différencie des sables de Pongara. Les sables de Pongara sont issus de la dérive littorale en provenance du Sud. À l'opposée, ceux de la zone d'étude sont des sables remaniés issus des paléo-cordons littoraux, qui ont existé dans la baie d'Akouango et dont les caractéristiques morphologiques sont identiques, ainsi que ceux des petits fonds associés (Lafond, 1967). Ce résultat nous conforte dans l'idée selon laquelle les sables, qui alimentent les plages de la rive droite de l'estuaire du Komo, correspondent à un stock relique et limité. Ainsi, il y a donc lieu de s'interroger sur le devenir de ces plages en termes d'apport.

L'analyse aux rayons X des minéraux non argileux révèle que le cortège minéralogique est constitué principalement par le quartz, la calcite magnésienne, et la dolomite. Leur origine est essentiellement détritique. L'absence des autres minéraux est

conforme à l'idée selon laquelle il s'agit d'un gisement de sable relique. En effet, la faiblesse du cortège des minéraux non argileux témoigne que ces sédiments n'ont pas une origine continentale, par exemple issus de l'érosion d'un massif montagneux. Leur origine est plutôt proximale, c'est-à-dire des sédiments relique régulièrement remaniés.

L'analyse des minéraux lourds (Lafond, 1967) a permis d'identifier les différentes sources de sédiments que l'on retrouve dans l'estuaire du Komo. La proportion des minéraux lourds, par rapport au sédiment total, est très variable au niveau de l'estuaire du Komo. Quelques chiffres permettent d'apprécier leur teneur. Au niveau de Pongara, pour les sables grossiers la teneur est de 2,75%. Pour le banc de Perroquet (sables fins), la teneur est de 3,17%. Enfin, les sables fins à moyens côtiers Nord de Libreville à Owendo ont une teneur de 1,36% de minéraux lourds. Il existe une différence dans la nature des minéraux lourds entre les rives gauche et droite de l'estuaire du Komo.

Les minéraux lourds, présents sur la rive droite de l'estuaire du Komo, correspondent essentiellement aux minéraux opaques. Il s'agit des grains globuleux constitués majoritairement par de grains de concrétions latéritiques auxquels s'associent quelques micas et la muscovite. Les tourmalines sont pratiquement les seuls minéraux lourds transparents du stock sableux d'Owendo et Libreville.

Sur la rive gauche de l'estuaire, le cortège des minéraux est bien différent. La rive droite est caractérisée par la plus grande abondance relative de muscovite ainsi que de phyllites en général, alors les sédiments de Libreville à Owendo se caractérisent essentiellement par ces concrétions latéritiques. Tel est aussi le cas de l'andalousite ; peu fréquente sur la rive droite, elle est au contraire bien représentée à Perroquet. La différence observée au niveau du cortège en minéraux lourds pour les sédiments de la rive droite (Libreville-Owendo) et gauche (Pongara-Perroquet) de l'estuaire peut être utilisée pour conclure que ces sédiments n'ont aucune origine commune.

Par rapport à l'analyse calcimétrique, une variation de la teneur en carbonates a été établie, d'une part, en fonction de la fraction granulométrique et, d'autre part, selon la position du profil dans la zone d'étude. Les résultats ont permis de mettre en évidence une contribution non négligeable des carbonates (0 et 63%), ce qui témoigne d'une origine bioclastique des sédiments. dans la composition massique des sédiments superficiels de la plage intertidale. D'une manière générale, les sédiments grossiers sont associés à des valeurs calcimétriques les plus élevés, contrairement aux fins. Pour l'ensemble des échantillons analysés, les carbonates sont d'origine biodétritique, car ils sont liés à l'abondance relative de débris de mollusques. Ces débris coquilliers sont aussi bien macroscopiques que

microscopiques (débris de mollusques, lamellibranches, gastéropodes, et quelques foraminifères benthiques).

La zone côtière gabonaise en général et la zone d'étude en particulier, au vu des dégradations engendrées par l'aléa érosion côtière, doit être au cœur d'une profonde réflexion sur les actions à entreprendre en vue d'une meilleure prise en compte de la problématique du recul côtier dans les politiques publiques. Ainsi, le présent travail de recherche se veut être une contribution pour aider les pouvoirs publics en charge de la zone côtière à mettre en place un plan de gestion et d'aménagement de la zone côtière.

Tout d'abord sur le plan du disponible sédimentaire, les résultats de notre étude démontrent que le gisement de sédiments qui alimentent les plages, est limité et ne se renouvèle pas. De ce fait, il y a urgence pour les autorités compétentes de la gestion de la zone côtière de prévenir une crise sédimentaire, qui pourrait avoir pour conséquence la disparition progressive des plages sableuses. Cela peut être vu comme étant la fin des activités de loisirs et de plein air, qui sont inféodées à la présence de plage sableuse comme tel est le cas en amont transit de l'épi de l'ancien hôtel Dialogue en direction d'Owendo. Ainsi, nos résultats peuvent être mis à profit pour orienter les actions de rechargement des plages comme technique de stabilisation et de protection du trait de côte. De plus, l'intense activité de prélèvement du sable d'estrans dans la Baie d'Akouango et les effets dommageables qui en découlent sur la dynamique morphosédimentaire nécessitent la mise en place d'un plan de gestion de sédiments. Ce plan devra s'étendre à l'avant côte, afin d'établir un véritable atlas de l'évolution des fonds et des budgets sédimentaires dans la zone d'étude.

La cinématique du trait de côte pour la période 1977-2013 a permis de mettre en évidence les zones les plus dynamiques en terme de mobilité du trait de côte. Ce résultat impose de revoir le mode d'implantation des populations en zone côtière. En effet, à partir de ces résultats, plusieurs perspectives se dessinent dans l'objectif d'anticiper l'évolution du littoral et des risques induits. Il s'agit alors d'intégrer ces constats historiques à la politique de gestion du risque côtier, mais également d'identifier les secteurs les plus vulnérables permettant de mettre en place un dispositif de surveillance. Celui-ci permettra d'anticiper les évolutions futures du trait de côte et les stratégies de lutte contre le recul côtier, comme outil d'aide à la décision. Cela se justifie d'autant plus que les populations installées sur le trait de côte ne disposent pas d'espace conséquent pour tout recul stratégique.

En sommes, tous ces éléments doivent converger vers une révolution sur le plan réglementaire et institutionnel, en lien avec la gestion de la zone côtière.

Tout d'abord il faudra revoir la loi n° 14/63 du 8 Mai 1963 fixant les différents domaines de l'État avec ses règles de gestion et d'aliénation. Dans son article 104, cette loi place la bande des 100 mètres au delà de la laisse des hautes mers, dans le Domaine Privé Maritime. Cette disposition réglementaire constitue un frein majeur à la mise en place d'une véritable politique de lutte contre l'érosion côtière au Gabon. En effet cette bande de 100 mètres, telle qu'instituée dans bien de pays à travers le monde, permet de disposer d'espace suffisant pour appliquer un repli stratégique en cas de besoin. Ainsi, redéfinir les différents domaines de l'Etat permettra de rétablir cette bande de 100 mètres dans le Domaine Public Maritime (DPM). En fonction des enjeux et de la dynamique de certains secteurs, la largeur de cette bande pourra être élargie ou réduite à souhait. Cette bande de 100 mètres classée *non aedificandi* est un outil de protection des espaces non urbanisés par l'interdiction de construire, exception faite des constructions et installations nécessaires à des services publics ou des activités économiques exigeant la proximité immédiate de l'eau ou de la plage.

Au-delà de la mise en place de la bande de 100 mètres, les autorités en charge de la zone côtière doivent également promouvoir la mise en place d'une loi Littoral, dont le fondement est entre autres de réglementer l'urbanisation en zone côtière. À ce renforcement réglementaire, il faut également tenir compte des institutions qui doivent avoir des missions spécifiques en lien avec la problématique de l'érosion côtière. La mise en place d'un Observatoire du Littoral peut être une des solutions. Cette structure, de par son caractère permanent et regroupant de nombreuses administrations, peut constituer un véritable outil d'aide à la gestion prévisionnelle de la zone côtière en général et du trait de côte en particulier.

La problématique de l'érosion côtière reste toute entière sur les plages du Gabon en générale et de Libreville en particulier. Cela est d'autant plus préoccupant que l'évolution du climat couplé aux activités anthropiques sans cesse croissante aura des conséquences dommageables sur la dynamique morphosédimentaire. De ce fait, la principale préoccupation pour les années à venir est l'obtention des informations convenables sur le sens de l'évolution de la zone côtière en général, et particulièrement dans les secteurs soumis à l'érosion côtière où de activités socio-économiques sont régulièrement menacées.

Ainsi, pour la suite de nos travaux, il faudra, d'une part, coupler à la fois les données morphologie, sédimentologie, hydrodynamiques et météo marines pour mieux modéliser l'évolution morphosédimentaire des corps sableux. Ce couplage devra prendre en compte aussi bien le domaine sous marin qu'aérien. En ce qui concerne la sédimentologie, des

prélèvements en profondeurs (carotte) seront réalisés, afin de rechercher l'origine de la signature plurimodale observée sur ces plages.

D'autre part, il y aura la nécessité de renforcer le réseau d'observation en termes de fréquence de suivi, du nombre de stations de mesure et poursuivre l'étude de la dynamique morphosédimentaire des plages, afin de disposer des bases de données obtenues au cours du suivi sur de longues périodes. En ce qui concerne la fréquence temporelle du suivi des plages, il apparaît primordial de mieux suivre les événements qui affectent la morphologie de la plage et l'avant plage. En effet, une plus grande fréquence de mesure devrait permettre de fournir des séquences évolutives précises et quantifiées. L'utilisation des techniques novatrices telle que le *Differential Global positional System* (DGPS) qui Permet de faire des mesures en mode RTK (*Real Time Kinematics*) avec une précision millimétrique est l'une des solutions. L'autre point majeur est l'utilisation de la vidéo surveillance pour le suivi en continue des plages. Cette technique, qui prend en compte aussi bien l'avant plage et que la plage intertidale, devrait permettre de résoudre le problème d'exhaustivité des données pour les modèles statistiques. Ainsi, les forçages responsables des évolutions morphologiques seront clairement analysés.

Et enfin, en lien avec la notion de risque, une cartographie des différents enjeux sera croisée à celle de l'aléa érosion côtière.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

- **Addo, K.A., Walkden, M., Mills, J.P., 2008.** Detection, measurement and prediction of shoreline recession in Accra, Ghana. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 63, 543-558.
- **Ala, M.A. and Selley, R.C., 1997.** The West African Coastal Basins, Chapter 8. African Basins. *Sedimentary Basins of the World*, 3 edited by R.C. Selley (Series Editor: K.J. HsiJ), pp.173-186.
- **Albuquerque, M., Espinoza, J., Teixeira, P., de Oliveira, A., Corrêa, I., Calliari, L., 2013.** Erosion or Coastal Variability: an evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. *In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium* (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65, pp. 1710-1714, ISSN 0749-0208.
- **Alina K. Kabuth, Aart Kroon and Jørn B.T. Pedersen., 2014.** Multidecadal Shoreline Changes in Denmark. *Journal of Coastal Research*, 714-728. Online publication date: 1-Jul-2014/19-Dec-2013.
- **Andrews, B. D., Gares, P. A., Colby, J. D., 2002.** Techniques for GIS modeling of coastal dunes, *Geomorphology* 48 (2002) 289–308.
- **Aso-Fitou, M., 2008.** Les techniques d'adaptation face à l'érosion côtière à Libreville. Rapport de stage, Diplôme de Technicien Supérieur de la Mer, Génie de l'Environnement Marin, IntecMer France, 49p.
- **Aubry, A., 2010.** Processus hydrodynamiques et bilans morphosédimentaires d'un littoral macrotidal en accrétion : étude *in situ* et par télédétection spatiale. Application aux Hemmes de Marck, Nord Pas-de-Calais, France. Thèse de doctorat, Université du Littoral Côte d'Opale, 326p.
- **Barusseau J.P., Diop S., Faure H., Giresse P., Lezine A.M., Masse J.P., Saos J.L., 1984.** Environnements sédimentaires marins au cours du Quaternaire récent sur la marge atlantique de l'Afrique. Marseille : 5<sup>e</sup> Congrès Eur. Sédimentologie, 1984, p. 43-44.
- **Barusseau, J.P., 1973.** Evolution du plateau continental rochelais Golfe de Gascogne au cours du Pléistocène terminal et de l'Holocène. Les processus actuels de la sédimentation, Thèse d'Etat, Université de Bordeaux, 364 p.
- **Barusseau, J.P., 2011.** Influence of mixtures of grain-size populations on the parametric and modal characteristics of coastal sands (Herault, Mediterranean sea, France). *Journal of Sedimentary Research*, 2011, v. 81, 611–629 Research Article DOI: 10.2110/jsr.2011.46.
- **Becat, 1995.** Protection du littoral de Libreville du Port-Môle au pont Gué-gué, Rapport hydrosédimentaire, APD.1995, 37 p.
- **Bingono-Meba, E-N., 2012.** La baie d'Akouango, entre forçages naturels et « forçages anthropiques » : quelles stratégies de lutte?, *ScienceSud* N°4/5, Année 2012, 14p.

- **Bird, E.C.F., 1996.** Beach Management (Coastal Morphology and Research). John Wiley and Sons Ltd, Chichester, 292p.
- **Birrien, F., 2013.** Assimilation de données et inversion bathymétrique pour la modélisation de l'évolution des plages sableuses. Thèse de Doctorat, université Bordeaux I, 185p.
- **Blair, T.C., and MC Pherson, J.G., 1999.** Grain-size and textural classification of coarse sedimentary particles: *Journal of Sedimentary Research*, v. 69, p. 6–19.
- **Blott, S. J. & Pye, K., 2001.** Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth Surface Processes and Landforms* 26:1237-1248.
- **Boak, E.H., Turner, I.L., 2005.** Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research* 21 (4), 688–703.
- **Bonnefille R., Cormault P., Pernecker L., 1968.** Etude sur modèle réduit de l'aménagement portuaire d'Owendo. Rapport n°5. Etude sédimentologique. E.D.F., Dir. Et. Recherches- Gabon, Min. T.P., Libreville, HCO 31 R 060/T 614 DHM, 33 p.+ annexes.
- **Bonnefille, R., 1964.** Étude de la protection du rivage à Libreville, E.D.F., *Bulletin du Centre de Recherche et d'Essais de Chatou*, France, HJIEI, t. 341, DHM, Rapport, 12 p.
- **Bouma, M., Lanau, M., Perrusset, A.C., Weydert, P., 1978.** Nouvelle esquisse géologique de la partie nord du bassin côtier gabonais grâce à l'imagerie radar. *C. R. Acad. Sc.*, Paris, 287, Série D (11 sept. 1978), p. 215-218.
- **Bruun, P., 1962.** Sea level rise as a cause of shore erosion. *Journal of Waterways and Harbors Division*, 88 (1), 117-130.
- **Bui, E. N., Mazullo, J., Wilding, L. P., 1990.** Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between aeolian and fluvial deposits in the Dallol Bosso of Niger (West Africa). *Earth Surface Processes and Landforms* 14:157-166.
- **Cailleux, A., Tricart, J., 1959.** Initiation à l'étude des sables et des galets, Centre Doc. Univers., 3 tomes, 376p.
- **Cailleux, A., 1947.** Distinction des galets marins et fluviatiles, *Bull. Soc. Géol. France*, 5ème série, t.XV, pp. 375-404.
- **Camfield, F. E. & Morang A., 1996.** Defining and interpreting shoreline change. *Ocean & Coastal Management*, Vol. 32, No. 3, pp. 129-151.
- **Carter, R. W. G., 1988.** Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press, London, 617p.
- **Cartier, A., 2011.** Evaluation des flux sédimentaires sur le littoral du Nord-Pas-de-Calais : Vers une meilleure compréhension de la morpho dynamique des plages macrotidales.

Thèse de Doctorat en Morphodynamique Littorale, Université du Littoral Côte d'Opale, 408p.

- **Cauvin C., Reymond H., Serradj A., 1987.** Discrétisation et représentation cartographique, Montpellier, GIP Reclus (Col. Reclus modes d'emploi), 116 p.
- **Certain, R., 2002.** Morphodynamique d'une côte sableuse micro tidale à barres: Le Golfe du Lion (Languedoc Roussillon). Thèse de Doctorat d'Océanologie-Géologie, Université de Perpignan, 209p.
- **Chaaban F., Darwise H., Battiau-Queney Y., Louche B., Masson E., El Khattabi J., Carlier E., 2012.** Using ArcGIS® modelbuilder and aerial photographs to measure coastline retreat and advance: North of France. *Journal of coastal Research*; 2012, vol.8, n°6, p.1567-1579.
- **Chand, P., & Acharya, P., 2010.** Shoreline change and sea level rise along coast of Bhitarkanika wildlife sanctuary, Orissa: an analytical approach of remote sensing and statistical techniques. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1, 436-455
- **Church, J.A., White N.J., 2006.** A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical Research Letters*, Vol, 33 L01602, doi : 10.1029/2005GL024826, 4p.
- **Cordier, E., 2007.** Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage / La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires. Thèse de doctorat Océanographie physique-Sédimentologie, Université de la Réunion, 193 p.
- **Costa, P.J.M., Andrade, C., Freitas, M.C., Oliveira, M.A., Lopes, V., Dawson, A.G., Moreno, J., Fatela, F., Jouanneau, J.-M., 2012.** A tsunami record in the sedimentary archive of the central Algarve coast, Portugal: characterizing sediment, reconstructing sources and inundation paths. *The Holocene* 22, 899–914.
- **Cowell, P.J. & Thom, B.G., 1994.** Morphodynamics of coastal evolution. In *Coastal evolution* edited by Carter R.W.G. & Woodroffe, C.D. *Cambridge University Press*, 33-86.
- **Crowell M., Leatherman S.P, Buckley M.K., 1991.** Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy, *Journal of Coastal Research*, volume 7, n°3, pp. 839-852.
- **De Vriend, H.G., 1991.** Mathematical modelling and large-scale behaviour. Part 1: Physical processes. *Journal of Hydraulic Research* 29-6, 727-740.
- **Dehouck A., 2006.** Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère). Thèse de Doctorat nouveau régime de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 262 p.
- **Del Rio, L., Gracia, F. J., Benavente, J., 2013.** Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain, *Geomorphology*, 196 (2013) 252-266.

- **Delibrias G., Giresse P. et Kouyoumontzakis G., 1973.** Géochronologie des divers stades de la transgression holocène au large du Congo - C.R.Ac.Sc., Paris, t. 276, sér. D, pp. 1389-1391.
- **Desmazes, F., 2005.** Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine. Exemple de la plage du Truc Vert. Thèse de Doctorat en Géologie marine, Université de Bordeaux 1, 291p.
- **DHI, 2010.** Comportement hydrosédimentaire de l'estuaire du Gabon, Rapport d'étude, 103p.
- **Di Stefano, A., De Pietro, R., Monaco, C., Zanini, A., 2013.** Anthropogenic influence on coastal evolution: A case history from the Catania Gulf shoreline (eastern Sicily, Italy), *Ocean & Coastal Management* (2013), <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.02.013>.
- **Dolan, R., Fenster M.S., Holmes S.J., 1991.** Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, Vol.7, n°3, P. 723-744.
- **Dupré ,S., Cloetingh, S., Bertotti, G.; 2011.** Structure of the Gabon Margin from integrated seismic reflection and gravity data. *Tectonophysics* 506 (2011) 31–45.
- **Durand P., 2000.** Approche méthodologique pour l'analyse de l'évolution des littoraux sableux par photo-interprétation, Exemple des plages situées entre les embouchures de l'Aude et de l'Hérault (Languedoc, France), *Photo-interprétation*, N°2000/1-2, pp. 3-18.
- **Esteves LS, William JJ, Nock A, Lymbery G., 2009.** Quantifying shoreline changes along the Sefton coast (UK) and the implications for research-informed coastal management. *Journal of Coastal Research*, S156, 602-606.
- **Esteves, LS., William JJ., Brown JM., 2011.** Looking for evidence of climate change impacts in the eastern Irish Sea. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 1641-1656. DOI: 10.5194/nhess-11-1641-2011.
- **Faye, I., Giraudet, E., Gourmelon, F., & Henaff, A., 2011.** Cartographie normalisée de l'évolution du trait de côte. *Mappemonde* 104, 12p.
- **Faye, I.B.N., 2010.** Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo-interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes ». Volume 1, thèse de doctorat, *Géographie*, Université de Bretagne Occidentale, 321p.
- **Fenster, M. S., Dolan R., Elder J. F., 1993.** A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, vol. 9, n°1, p. 147 - 171.
- **Ferrer P., 2005.** Guide de l'utilisateur pour la collecte et l'analyse de données en dynamique sédimentaire côtière, Laboratoire d'Etude des Géo-Environnements Marins, Université Via Domitia de Perpignan, 31p.

- **Fletcher C.H., Rooney J.J., Barbee M., LIM S.C., Richmond B., 2003.** Mapping shoreline change using digital orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n°38, p. 106 - 124.
- **Folk, R. et Word, W., 1957.** Brazors river bors, a study in significance of grain size parameters. *J. Sedim. Petrol.*, Vol. 27, pp. 13-27.
- **Frazer, L.N., Genz, A.S., Fletcher, C. H., 2009.** Toward parsimony in shoreline change prediction (I): Basis Function methods. *Journal of Coastal Research*, vol.25,n°2,p.366-379.
- **Friedman, G. M., 1979.** Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology* 26:3-32.
- **Gao, S. & Collins, M. B., 1992.** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sedimentary Geology* 81(1-2):47-60.
- **Gao, S. & Collins, M. B., 2001.** The Use Of Grain size Trends in Marine Sediment Dynamics: A Review. *Chinese Journal of oceanology and Limnology* 19(3):265-271.
- **Gensac, E., 2012.** Dynamique morphosédimentaire d'un littoral sous influence amazonienne. Impact des forçages hydrosédimentaires sur la migration des bancs de vase et la mangrove côtière: Le cas de la Guyane française. Thèse de Doctorat, Géosciences, Université du Littoral Côte d'Opale, 214p.
- **Gentz, A.S., Fletcher C.H., Dunn R.A., Frazer L.N., Rooney J.J., 2007.** The Predictive Accuracy of Shoreline Change Rate Methods and Alongshore Beach Variation on Maui, Hawaii, *Journal of Coastal Research*, volume 23, n°1, pp. 87-105.
- **Giosan, L., Bokuniewicz, H., Panin, N. & Postolache, I., 2000.** Longshore sediment transport pattern along the RomanianDanube delta coast. *J. Coastal Res.*, 15, 4, 859-871.
- **Giresse P., 1989.** Quaternary seal-level changes on the Atlantic coast of Africa. *In: TOOLEY M.J. et SHENNANI, seal-level changes*, Basil Blackwell, London, pp.249-275.
- **Giresse, P., et Moguedet, G., 1980.** Chronoséquences fluvio-marines de l'Holocène de l'Estuaire du Kouilou et des colmatages côtiers voisins du Congo. -.Trav. et Doc. Géog. Trop. n° 39, Talence C.E.G.E.T., pp. 21-48.
- **Giresse, P., 1969.** Essai de sédimentologie comparée des milieux fluvio-marins du Gabon, de la Catalogne et du Sud Cotentin. Thèse Doctorat ès Sci. Nat., Fac. Sc. Caen, n°CNRS : AO 2970, 3 tomes, 760 p.
- **Goncalves, R. M. , Awange, J. L., Krueger, C. P. , Heck ,B., dos Santos Coelho, L., 2012.** A comparison between three short-term shoreline prediction models. *Ocean & Coastal Management* 69 (2012) 102-110.
- **Guerin O., 2004.** Tout savoir sur les marées. Guide pratique, sciences de la Terre, edition Ouest-France 166p.

- **Guerin O., 2013.** Marées. Cours théorique, stage de géomorphologie et environnement littoral à l'EPHE de Dinard (France), 150 diapositives.
- **Guilcher A., 1954<sup>b</sup>.** La houle dans l'Atlantique et l'évolution de la côte occidentale d'Afrique. *Norois*, n°1, Chronique océanogr., p.89-92.
- **Guilcher, A., 1954<sup>a</sup>.** Dynamique et morphologie des côtes sableuses de l'Afrique atlantique. *Cah. Info. Géogr.*, n°1 à 3 (suppl.), p.57-68.
- **Gujar, A.R., Ganesan, P., Iyer, S.D., Gaonkar, S.S., Ambre, N.V. , Loveson, V.J. , Mislankar, P.G., 2011.** Influence of morphodynamic variability over seasonal beach sediments and its probable effect on coastal development, *Ocean & Coastal Management* 54 (2011) 514-523.
- **Guyot, S., 2003.** L'environnement contesté la territorialisation des conflits environnementaux sur le littoral du Kwazulu-Natal (Afrique du Sud : Kosi Bay, St Lucia, Richards Bay et Port Shepstone). Thèse de doctorat de géographie, Universités de Paris X–Nanterre, 494p.
- **Hapke C. J., Reid D., Richmond B.M., Ruggiero P., List J., 2006.** National assessment of shoreline change: Part 3: Historical shoreline changes and associated coastal land loss along the sandy shorelines of the California coast, U.S. Geological Survey Open-file Report 2006-1219, 79 p.
- **Hapke, C.J., Himmelstoss, E.A., Kratzmann, M., List, J., Thieler, E.R., 2011.** National assessment of shoreline change. Historical shoreline change along the New England and Mid-Atlantic Coasts. *US Geological Survey Open-file Report* 2010– 1118: <http://pubs.usgs.gov/of/2010/1118/>.
- **Hegge, B. J., 1994.** Low energy sandy beaches of southwestern Australia: two-dimensional morphology, sediments and dynamics. PhD Thesis Department of Geography, Western Australia University, Perth.
- **Himmelstoss, E.A., 2009.** “DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide” in: Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan. 2009 Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. \*updated for version 4.3.
- **Hourcq, V. et Hausknecht, J., 1954.** Notice explicative de la feuille Libreville-Ouest ; carte géologique de reconnaissance au 1/500 000. Gouv. Gén. de l'A.E.F., Paris, Impr. Nat., 25p., 1 carte géol. Coul. 1/500 000 (Libreville Ouest, NA-32 SE-0.15).
- **Hourcq, V., Hausknecht J., 1959.** *Carte géologique de reconnaissance à 1/500.000.* Notice explicative de la feuille Libreville – Ouest. Service des mines, Brazzaville, 25 p.
- **IGARUN, 2015.** Cours théorique sur l'utilisation des instruments de Topographie : le niveau optique, université de Nantes, 45 diapositives.

- **Juigner M., Robin M., Fattal P., Maanan M., Le Guern C., Gouguet L., Baudouin V., Debaine F., 2012.** Cinématique d'un trait de côte sableux en Vendée entre 1920 et 2010 Méthode et analyse. *Dynamiques Environnementales*, décembre 2012, N°30, 12p.
- **Kamphuis, J. W., 2010.** Introduction to coastal engineering and management. Advanced series on Ocean Engineering. 525p.
- **Konan, K. E., 2012.** Étude morpho-dynamique du cordon littoral sableux ivoirien à l'Est d'Abidjan avant et après la tempête exceptionnelle d'août 2007. Thèse de doctorat en Océanologie, Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Cote d'ivoire, 207p.
- **Krumbein, W C., 1936.** The use of quartile measures in describing and comparing sediments. *Ann. Sciences*. T. 32, pp.98-111.
- **Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., Dihkan, M., 2011.** Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering* 38 (2011) 1141–1149.
- **Kumar, V.S., Chandramohan, P., Kumar, K.A, Gowthaman, R. & Pednekar P., 2000.** Longshore currents and sediment transport along Kannirajapuram coast, Tamilnadu, India. *J. Coastal Res.*, 16, 2, 247-254.
- **Kwasi Appeaning, A., 2013.** Shoreline morphological changes and the human factor. Case study of Accra Ghana. *Journal of Coastal Conservation*, 17, 85-91.
- **Lacaze, J-C., 1993.** La dégradation de l'environnement côtier : conséquences écologiques, Masson, Paris, 149 p.
- **Lafon, V., De Melo Apoluceno, D., Dupuis, H., Michel, D., Howa, H., Froidefond, J.-M., 2004.** Morphodynamics of nearshore rhythmic sandbars in a mixed-energy environment (SW France): i. mapping beach changes using visible satellite imagery. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 61, 2, 289-299.
- **Lafond, L.-R., 1967.** Études littorales et estuariennes en zone intertropicale humide, Université de Paris Orsay, thèse de Doctorat d'État Sc., Tomes I, II et III (voir tome I, p.270-339 : « L'estuaire du Gabon », et tome III, illustrations).
- **Larson, L. & Kraus, C.N., 1993.** Prediction of cross-shore sediment transport at different spatial and temporal scales. *In large scale coastal behaviour 1993*, Open-file report, 93-381. U.S.G.S., 96-99.
- **Lasserre, G., 1958.** Libreville, la ville et sa région. A. Colin, Paris. Coll. Fond. Nat. Sci. Pol., n°98, 348 p.
- **Latteux B., 2008.** Exploitation des matériaux marins et stabilité du littoral. Edition Quae, Versailles, 162p.
- **Le Guern C. , Baudouin V. , Robin M. , Fattal P., Conil P. , Juigner M. , Debaine F. , Maanan M. , Rollier C. , Gouguet L., Bouchet F. , Magne J. , Robin J-G., 2014.** Un SIG pour appuyer la gestion durable du littoral : exemple de l'érosion en Pays de Monts

(Vendée, France), *XIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil Dunkerque*, 2-4 juillet 2014, 7p.

- **Le Roux, J. P., 2005.** Grains in motion: A review. *Sedimentary Geology*, 178, 285-313.
- **Lebigre, J.-M., 1983.** Le littoral du Gabon. Aspects géomorphologiques et biogéographiques. Minst. Ed. Nat. Gabon, I.P.N. Dépts Hist.-Géog. et Sc. Nat., 58 p. manusc.
- **Lebigre, J.-M., 1990.** *Les marais maritimes du Gabon et de Madagascar. Contribution géographique à l'étude d'un milieu naturel tropical*, Université de Bordeaux III, Inst. Géog., thèse de Doctorat d'État, 3 tomes, 704 p.
- **Lemoigne B., Paulineau M., Nachbaur A. Stépanian A., 2013.** Établissement d'un état de référence du trait de côte de la Martinique : situation en 2010 et évolution historique depuis 1951. Rapport final. BRGM/RP- 61686-FR150 p 85, 31 illustrations, 2 annexes.
- **Levoy, F., 2000.** L'influence de la mare sur la morphodynamique des plages sableuses, Thèse HDR, *Université de Caen*, 183p.
- **Litynski, J., 1985.** *Climats régionaux et locaux des régions occidentales de l'Afrique équatoriale* ; In Climatologie Tropicale et Etablissements Humains ; Actes du symposium n° 23, Dijon, p. 27-40.
- **Mahaney, W.C., 2002.** Atlas of Sand Grain Surface Textures and Applications. Oxford University Press. 237p.
- **Maloba Makanga J.-D., 2010.** Les précipitations au Gabon : climatologie analytique en Afrique, *L'Harmattan, France* ; 143p.
- **Maloba Makanga, J.D., 2004.** Climat. In Atlas de l'Afrique « Gabon ». LES EDITIONS J.A. ; pp. 12-13, Paris.
- **Manfoumbi, F., 2016.** L'apport des images Landsat pour le suivi de l'évolution du trait de côte entre le Port-Môle et le Cap Santa Clara de 1990 à 2014, Université Omar Bongo, mémoire master recherche en Géographie, « Dynamiques Spatiales, Activités & Sociétés (DSAS) » (Mombo J.-B. et Obiang Ebanega M., dir.) ,103 p.
- **Marchesseau, J., 1975.** Les sables littoraux à minéraux lourds des pays d'Afrique francophones et d'anciens territoires portugais. BRGM, 76 RME 005 EX, p.141-155 (Gabon).
- **Maspataud, A., 2011.** Impacts des tempêtes sur la morphodynamique du profil côtier en milieu macrotidal. Thèse de Doctorat, Morphodynamique Littorale, Université du Littoral Côte d'Opale, 516p.
- **Masselink, G., Kroon, A., & Davidson-Arnott, R.G.D., 2006.** Morphodynamics of intertidal bars in wave dominated coastal settings - A review. *Geomorphology*, 73, 1-2, 33-49.

- **Mbina MOUNGUENGUI, M., LANG, J., GUIRAUD, M., 2008.** Sedimentary dynamics and extensional structural ring related to early Cretaceous rifting of Neocomian and Barremian deposits of the interior basin of Gabon. *Journal of African Earth Sciences*, 51 (2008) ; 239–256.
- **Menié Ovono Z., 2010.** *Évolution de la flèche Mandji de l'holocène à l'actuel. Analyse et cartographie du risque côtier*, Université de Nantes, Thèse de Doctorat unique « Géomorphologie Littorale », 300 p.
- **Meur-Férec, C., 2006.** De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe. Volume 1, Thèse HDR, Université de Nantes, 247p.
- **Migniot, C., Brossard, C., 1990.** Diagnostic des causes d'envasement et proposition pour l'organisation des dragages d'entretien, Rapport de mission du 10 au 16 mars 1990, 54p + annexes.
- **Miller, T.L., Morton, R.A., and Sallenger, A.H., 2005.** The National Assessment of Shoreline Change— A GIS compilation of vector shorelines and associated shoreline change data for the U.S. Southeast Atlantic Coast: U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1326 [<http://pubs.usgs.gov/of/2005/1326>].
- **Moiola, R.J. et Weiser D., 1968.** Textural parameters: an evaluation. *Journ. Sedim. Petrol.* n°38, pp45-53.
- **Mombe Nguema, J., 2000.** Le Traitement de l'érosion marine sur la côte septentrionale du Gabon : de l'embouchure de l'Ogooué à l'estuaire du Mouni. Université de Nantes, Thèse doctorat n.r. Géographie, 640 p.
- **Mombo JB., Mouyalou V.M.T. et Fattal P., 2017.** Stabiliser le trait de côté, un enjeu majeur pour le Gabon : l'exemple du littoral nord de Libreville", in Pottier P., Menié Ovono Z., Faure FE. et Bignoumba G.S., Les régions littorales du Gabon. Eléments de réflexion pour une planification stratégique du territoire. LETG-Géolittomer (Nantes) et Raponda-Walker (Gabon), ed. ; p. 221-241.
- **Mombo, J. B., 1992.** Bibliographie des côtes atlantiques du Gabon : Afrique équatoriale (fascicule 1). U.O.B., Dép. Géographie, La doc. géog, n°1, 55 p. ronéo.
- **Mombo, J.-B., 1991.** La côte à rias du Gabon septentrional du Komo au Rio Mouni. Cadre physique et morphologie littorale, Univ. Bordeaux III, Inst. Géog., thèse de Doctorat en Géographie physique tropicale, 311 p.
- **Mombo, J.B., 2005.** La perspective d'une gestion intégrée de la zone côtière du Gabon. in : *Revue Gabonaise de Géographie*, LANASPET, n°1, pp. 61-88.
- **Mombo, J.-B., MOUNGANGA, M.-D., IBOUANGA, B., et FAURE, F.E., 2007.** Gabon, Profil environnemental de la zone côtière. République Gabonaise, Vice Primature, Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature. Rapport Projet GEM-CG/ONUDI, Ghana (Mombo J.-B., MOUNGANGA M. D., IBOUANGA B. et FAURE F. E.), 116 p.

- **Mombo, J.-B., Ogandagas, C., Agondogo, M. et Mba-Asseko, G., 2000.** Étude de faisabilité pour la mise en place d'un observatoire de la zone côtière en Afrique centrale : le cas du Gabon. Phase 1, ADIE/PRGIE, UNGC, Libreville, 134 p.
- **Moore L.J., 2000.** Shoreline mapping techniques. *Journal of Coastal Research*, 15; 111-124.
- **Morton, R.A., Speed, M.F., 1998.** Evaluation of shorelines and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, vol. 14, n°4, p. 1373 - 1384.
- **Morton, R.A., T.L. Miller, and Moore L.J., 2004.** National Assessment of Shoreline Change: Part 1 Historical Shoreline Change and Associated Coastal Land Loss along the U.S. Gulf of Mexico. U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey Open-File Report 2004-1043, 45 p.
- **Morton, R.A.; Miller, T., and Moore, L., 2005.** Historical shoreline changes along the US Gulf of Mexico: a summary of recent shoreline comparisons and analyses. *Journal of Coastal Research*, 21(4), 704–709.
- **Mounganga, M.-D , 2001.** Les systèmes flèches-lagunes des littoraux gabonais et congolais. Contribution à l'élaboration d'une base de données pour une gestion intégrée des milieux lagunaires. Thèse de Doctorat (N-R) de Géomorphologie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 340 p.
- **Mounganga, M.-D., 2006.** L'enjeu des aménagements littoraux : le cas du boulevard du bord de mer à Libreville (Gabon). Pp. 527-537. *in* : HULBERT F., sous la dir. de, *Villes du Nord, Villes du Sud. Géopolitique urbaine, acteurs et enjeux*. Ed. L'Harmattan coll. Villes et Entreprises. 602 p. (Actes Colloque intern. géopolitique urbaine, 6-10 mai, Libreville).
- **Mounganga, M.-D., 2013.** Évaluation environnementale stratégique pour une meilleure gestion des risques littoraux au Gabon. *in* : « Evaluation environnementale stratégique et planification côtière. Perspectives pour des aménagements planifiés et les bonnes pratiques », 18<sup>ème</sup> Colloque Intern. Evaluation Envir.- Lomé, 10-13 juin 2013. Texte 12 p. + 27 diapositives.
- **Mourad Louati, Hanen Saïdi and Fouad Zargouni, 2015.** Shoreline change assessment using remote sensing and GIS techniques: a case study of the Medjerda delta coast, Tunisia. *Arabian Journal of Geosciences* 8:6, 4239.
- **Moussaid J., Abderrahmane A. F., Bendahhou Z., Maanan M., Maanan M., 2015.** Using automatic computation to analyze the rate of shoreline change on the Kenitra coast, Morocco. *Ocean Engineering* 102(2015) 71-77.
- **Moussavou Makanga, L.-B., 1999.** Les sablières de la forêt de la Mondah : morphosédimentologie, exploitation et impact sur l'environnement, Université Omar Bongo, mémoire de Maîtrise de Géographie, 131p.

- **Mouyalou, V.M.T., 2011.** Rapport du séjour scientifique au laboratoire CEFREM de l'Université Via Domitia de Perpignan, 13 janvier au 11 février 2011, 82 p.
- **Mouyalou, V.M.T., 2012.** The beach nourishment as a technique to stabilize the Lycee Mba beach: setting up a morphosedimentary monitoring, in: Belpaeme, K. et al. (Ed.) (2012). Book of Abstracts. International Conference Littoral 2012: Coasts of Tomorrow. Kursaal, Oostende, 27-29 November 2012. VLIZ Special Publication, 61: pp. 170 (abstract).
- **Muzuka, A.N.N. and Shaghude, Y. W., 2000.** Grain size distribution along the Msasani Beach, north of Dar es Salaam Harbour. *Journal of African Earth Sciences*, Vol. 30, No. 2, pp
- **Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V.R., Codignotto, J.O., Hay, J.E., McLean, R.F., Ragoonaden, S., Woodroffe, C.D., 2007.** Coastal systems and low-lying areas. *In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), Climate Change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 315–357.
- **Nielsen, P. & Callaghan, D.P., 2003.** Shear stress and sediment transport calculations for sheet flow under waves, *coastal Engineering*, Vol.47 (3): 347-354.
- **Ondo Assoumou, E., 2006.** Dynamique des paysages végétaux du littoral Centre-Ouest du Gabon autour de Port-Gentil : Approche spatiale et analyse des données de terrain. Thèse de doctorat en "Géographie et Aménagement de l'Espace", Université Paul Valéry, Montpellier ; 302p.
- **Oyedotun, T. D. T., 2014.** Shoreline Geometry: DSAS as a Tool for Historical Trend Analysis. *Geomorphological Techniques*, Chap. 3, Sec. 2.2, 12p.
- **Parpenoff, A., Pomerol, C., Tourenq, J., 1970.** Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et de détermination. Masson Ed. (Paris), 578p.
- **Paskoff R., 1998.** Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer, P.U.F., Coll. Que-Sais-Je?, n°1901, 130 p.
- **Paskoff R., 2001.** L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers. Institut Océanographique, 190 p.
- **Paskoff, R. et Clus-Auby C., 2007.** L'érosion des plages: les causes, les remèdes. Coll. « Propos », Institut océanographique, Paris, pp. 56-61.
- **Paskoff, R., 1998.** Les littoraux, Impact des aménagements sur leur évolution, Ed. Armand Colin et Masson, Coll. U Série Géographie, 3ème édition revue et corrigée, 260 p.
- **Paskoff, R., 2005.** Les plages vont-elles disparaître ? éd. Le Pommier, Paris, 2005, coll. « Les Petites pommes du savoir », 64 p.

- **Paskoff, R., 2010.** Les littoraux: Impact des aménagements sur leur évolution. Editions Armand colin, 260 p.
- **Peyrot, B. et Oslisly, R., 1985.** Recherches récentes sur le paléoenvironnement et l'archéologie du Gabon. - L'Anthropologie, Paris, 90, 2, pp. 201-216.
- **Peyrot, B., 1989.** Paléoécologie du Gabon à 15 000 ans B.P. : situation théorique et implications sur la paléoécologie de la fin du Pléistocène, NSI : bulletin de liaison des archéologues du monde bantou, Libreville (CICIBA), n° 6, pp. 115-125.
- **Peyrot, B., 2004.** Espaces tropicaux naturels et risques en Afrique centrale ; menace nouvelle ou récurrence ? Une réflexion, des exemples. Les risques naturels : de l'aléa aux enjeux, p. 95-104.
- **Peyrot, B., Clist, B., Oslisly, R., 1990.** Le gisement des « Sablières » de Libreville : étude géomorphologique et archéologique d'un site préhistorique de l'estuaire du Gabon, L'Anthropologie, (Paris), Tome. 94 (1990), n°3, pp. 483-498.
- **Pilkey, O., Hume, T. M., 2001.** The shoreline erosion problem: lessons from the past, Water and Atmosphere, n°9 (2), pp. 22-23.
- **Pinot, J.P., 1994.** Manipulations sédimentologiques courantes : Techniques Usuelles de Recherche en Géomorphologie et en Aménagement du Littoral. TURGAL, n° 1 à 7 ; Université de Bretagne Occidentale, Brest, 118p.
- **Pinot, J.P., 1998.** La gestion du littoral. Tomes 1 et 2 : littoraux tempérés. Institut Océanographique, Paris, 400 et 360 p.
- **Pinot, J.-P., 1991.** Principes et méthodes de l'aménagement des littoraux. Brest. Université de Bretagne Occidentale, 138 p.
- **Pinot, J.-P., 1993.** Géomorphologie et sédimentologie des milieux littoraux et pré-littoraux. Quatrième Edition, Brest, Atelier de reprographie de la faculté des lettres, 105 p.
- **Pinot, J.-P., 1995.** Méthodologie de l'étude d'un littoral. Brest, Université de Bretagne Occidentale, 64 p.
- **Pirazzoli, P.-A., 1993.** Les littoraux. Nathan, collection Géographie d'aujourd'hui, 191 p.
- **Pirazzoli, P.-A., 1996.** Sea-level changes. The last 2000 years. Ed. John Wiley & sons, 211p.
- **Poizot, E., Mear, Y., Thomas, M., Garnaud, S., 2006.** The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis. Computer & Geosciences 32 :360-370.
- **Pomerol, C., Lagabrielle Y., Renard M., 2002.** Éléments de géologie, DUNOD, Paris, 746 p.

- **Pottier P., Menié Ovono Z., Faure FE. et Bignoumba G.S., 2017.** Les régions littorales du Gabon. Eléments de réflexion pour une planification stratégique du territoire. LETG-Géolittomer (Nantes) et Raponda-Walker (Gabon), éd. ; 417 p.
- **Power, M C., 1953.** A new roundness scale for sedimentary particles. *Jour. Sed. Petrology*, v. 23, pp. 117-119.
- **Prukpitikul, S., Buakaew, V., Keshdet, W., Kongprom, A., & Kaewpoo, N., 2012.** Shoreline Change Prediction Model for Coastal Zone Management in Thailand. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*, 2, 238-243.
- **Rabenkogo, N., 2007.** Le littoral du Nkomi (Gabon):: contribution géographique à la conservation des milieux naturels. Université Montpellier III Paul Valéry. Thèse Doctorat n.r., Géographie et aménagement de l'espace ; 307 p.
- **Rahmstorf, S., 2007.** A semi-empirical approach to projecting future sea level rise. *Science* 315, 368–370.
- **Ranga Rao, V., Ramana Murthy, M.V., Bhat, M., Reddy, N.T., 2009.** Littoral sediment transport and shoreline changes along Ennore on the southeast coast of India: field observations and numerical modeling. *Geomorphology*, 112 (1–2), 158–166.
- **Rebuffat, R., 1969.** Région de Libreville-Cordon littoral de la Baie d'Akwango. Prospection hydrologique par des méthodes électriques. BRGM, Libreville, Cie Gle de Géophysique, Mission 328 25 01, 12 p., 4 pl., 1 carte h.t. 1/20 000 (annexe au rapport 70 LIB.002, H. Moussu, 1969).
- **Reeve, D.E., Spivack, M., 2004.** Evolution of shoreline position moments. *Coastal Engineering*, 51 (2004), 661– 673.
- **Restrepo, J. C., Alejandra, L. O., Casas, C. , Henao, A., Gutiérrez, J. , 2012.** Shoreline changes between 1954 and 2007 in The marine protected area of the Rosario Island Archipelago (Caribbean of Colombia). *Ocean & Coastal Management*, 69 (2012), 133-142.
- **Revandiné, D. R., 1995.** Approche de l'érosion du littoral de Libreville du Port-Môle au pont Gué-Gué. Mémoire de Maitrise de Géographie physique, (Mombo J.-B., dir.), 114p.
- **Rio, LD., Gracia, JF. Benavente, J., 2013.** Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, 196, 252-266. DOI: 10.1016/j.geomorph.2012.07.027.
- **Rivière, A., 1977.** Méthodes granulométriques: techniques et interprétations. Ed Masson, Paris New York, Barcelone Milan 149p.
- **Robin, M., 2002.** Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique. In (Baron-Yelles N. Goeldner-Gionella L., Velut S., Ed.) *Le littoral, regards, pratiques et savoirs. Etudes offertes à Fernand VERGER*. Edition Rue d'Ulm / Presses universitaires de l'Ecole Normale Supérieure, Paris, p. 95 - 115.

- **Robin, N., 2007.** Morphodynamique des systèmes de flèches sableuses : Etude entre les embouchures tidales de l'Archipel de St Pierre et Miquelon et de la côte ouest du Cotentin (Manche). Thèse de doctorat, Sciences de la Terre et de l'Univers, Espace, Université de Caen-Basse Normandie, 539p.
- **Royal Haskoning, DHV, 2012.** Projet d'aménagement du front de mer du Port-Môle. EIES Phase 1- Gabon, Agence Nationale des Grands Travaux (Document ANGT n° :12CPM01-000-TD-ECM-0040)/Ministère de la Promotion des Investissements, des Travaux Publics, des Transports, de l'Habitat et du Tourisme. Rapport final, décembre 2012 ; 259 p. et annexes.
- **Saaidi, E., 1991.** Traité de sédimentologie. Péetrographie, environnements sédimentaires, Editions Afrique Orient, 399 p.
- **Sabatier F., Chaïbi, M., Lambert, A., Sama,t O. & Provansal, M., 2001.** Longshore sediment transport on sandy beaches. A field/modelling approach. *European Geophysical Society*, Nice, France.
- **Sabatier, F., 2001.** Fonctionnement et dynamique morphosédimentaire du littoral du delta du Rhône. Thèse de doctorat de géographie, université Aix-Marseille III, 274p.
- **Saint-Vil, J., 1977.** Les climats du Gabon, Annales de l'UOB, Libreville, PUL, n°8, pp.101-125.
- **Sallah Ole, H., 2006.** Les extractions de sable sur littoral de Libreville et à l'embouchure de l'Estuaire du Gabon (diagnostic et conséquences), Université Omar Bongo, Libreville. Mémoire Maîtrise Géographie, (Mombo J.-B., dir.), 114 p.
- **Sanderson, P. G., Eliot, I., Hegge, B. J., Maxwell, S., 2000.** Regional variation of coastal morphology in southwestern Australia: a synthesis. *Geomorphology* 34:73-88.
- **Schepers, F., Van Dijk, A. J. & Hagemeijer, W. ,1993.** Coastal wetlands and habitats of Gabon. *In :Coastal waterbirds in Gabon, winter 1992.* Foundation Working Group International Wader and Waterfowl Research (WIWO), report 41: 40-68.
- **Shanmugam S., Nayak J., 2013.** Remote sensing and field studies to evaluate the performance of groynes in protecting an eroding stretch of the coastal city of Chennai. GIS Ostrava 2013 - Geoinformatics for City Transformation January 21 – 23, 2013, Ostrava, 10p.
- **Sonu, C.J. and James, W.R., 1973.** "A Markov model for beach profile changes", *J. Geophys. Res.*, 78, 1462-1471.
- **Stépanian, A., 2002.** Evolution morphodynamique d'une plage macrotidale à barres: Omaha Beach (Normandie), *Thèse de doctorat Université de Caen-Basse Normandie*, 276p.
- **Stive, J.F., Aarninkhof, H.L., Hanson, H., Larson, M., Winjnberg, K.M., Nicholls, R.J. and Capobianco, M., 2002.** Variability of shore and shoreline evolution. *Coastal Engineering*, 47, 211-235.

- **Stive, M.J.F., Roelvink, D.J.A., & De Vriend, H.J., 1991.** Large-scale coastal evolution concept. *Proceedings of the 22th International Conference on Coastal Engineering*, New York, ASCE, 1962-1974.
- **Suanez, S., 2009.** La question du bilan sédimentaire des côtes d'accumulation. Rôle des forçages naturels et anthropiques dans les processus morphodynamique : analyses à partir de quelques exemples pris en Méditerranée et en Bretagne. *Géomorphologie*. Université de Caen, 2009, 212p.
- **Terwindt, J.H.J. & Kroon, A., 1993.** Theoretical concepts of parametrization of coastal behaviour. *In large scale coastal behavior1993*. Open-file report 93-381. U.S.G.S., 193-196.
- **Than V.V., 2015.** Modélisation d'érosion côtière : application à la partie ouest du tombolo de Giens. Thèse de Doctorat en Mathématiques, université D' Aix-Marseille, 427p.
- **Thibaut P.M., 1984.** Inventaire des ressources en matériaux de constructions et de viabilité dans les régions de Libreville, Mouila et Lambaréné (Gabon). Campagne 1984. Rép. Gabon. Minist. Mines et Hydrocarbures, Dir. Gle Mines et Géol.). BRGM, Dir. Rech. Départ. Miniers, Dir. Gabon, rapport BRGM 84 LIB 004, 145 p. + annexes.
- **Thieler ER, Himmelstoss EA, Zichichi JL, Ergul A., 2009.** The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0 - An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change. Open-File Report. US Geological Survey Report No. 2008-1278: <http://woodshole.er.usgs.gov/projectpages/dsas/version4/>.
- **Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., and Ergul, Ayhan, 2009.** Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. \*current version 4.3.
- **Thieler, ER., Danforth WW., 1994a.** Historical shoreline mapping (I). Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10, 549-563.
- **Thieler, ER., Danforth WW., 1994b.** Historical Shoreline Mapping (II): Application of the Digital Shoreline Mapping and Analysis Systems (DSMS/DSAS) to Shoreline Change Mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, Vol. 10, No. 3 (Summer, 1994), pp. 600-620.
- **Thomas R. J., Makanga J. F. et Chevallier L., 2001.** Notice explicative de la carte géologique de la république gabonaise au 1/1.000.000. Collab. sci. et techn.: P. Biens. Dir. Gén. Mines et Géol., Ministère Mines, Energie, Pétrole et Ress. Hydrauliques ; pp 36-37.
- **Thornton, E.B., Dalrymple, R.A., Drake, T., Gallagher, E., Guza, R.T, Hay, A., Holman, R.A., Kaihatu, J., Lippmann, T.C., and Ozkan-Haller, T., 2000.** State of nearshore processes research : II. Technical report NPS-OC-00-001, Naval Postgraduate School, Monterey.

- **Timireva S.N., Velichko A.A., 2006.** Depositional Environments of the Pleistocene loess-soil inferred from sand grain morphoscopy – A case study of the East European Plan. *Quaternary international*, 152-153 (2006), 136-145.
- **Trebossen, H., Deffontaines, B., Classeau, N., Kouame, J., Rudant, J-P.; 2005.** Monitoring coastal evolution and associated littoral hazards of French Guiana shoreline with radar images, *C. R. Geoscience*, 337 (2005); 1140–1153.
- **Tricart, J., 1965.** Principes et méthodes de la géomorphologie. Masson et Cie, Paris, 496 p.
- **Tsinga N., 2006.** Analyse des implantations humaines sur le littoral Nord de Libreville: du pont Gué-Gué à la rivière Otende. U.O.B, Libreville, Mémoire de Maîtrise Géographie, 117 p.
- **Udden, J.A., 1914.** Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America*, 25:655-744.
- **Van Rijn, L., 1986.** Mathematical modelling of suspended sediment in non uniform flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 112 (6), 433-455.
- **Van Rijn, L.C., 1998.** Principles of coastal morphology. Aqua Publications, Amsterdam, The Netherlands, 730 p.
- **Van Rijn, L.C., 2011.** Coastal erosion and control. *Ocean & Coastal Management*, 54 (2011), 867-887.
- **Vanwesenbeeck, V. & Lanckneus, J., 2000.** Residual sediment transport paths on a tidal sand bank :a comparison between the modified McLaren model and bedform analysis. *Journal of Sedimentary Research*, 70(3):470-477.
- **Verger, F., 1976.** Les techniques d'analyse granulométrique. C.N.R.S., Paris, 64 p.
- **Wang, X., and Ke, X., 1997.** Grain-size characteristics of the extant tidal flat sediments along the Jiangsu coast, China. *Sedimentary Geology*, 112 (1997); 105-122.
- **Wentworth, C. K., 1922.** A scale of grade and class terms for clastics sediments. *Journal of Geology*, 30 :377-392.
- **Weyat, G. T., 2009.** Les ouvrages de protection dans la gestion de l'érosion côtière : de la Sablière de Libreville à la pointe Owendo. Université Omar Bongo, Département Géogr.; Mémoire Maîtrise Géogr., Dyna. milieux naturels et humanisés ; 126 p.
- **Weydert P., WEYdert O., 1982.** Étude sédimentologique de l'embouchure de l'estuaire du Gabon, *Marine Geology*, Amsterdam ,n°49, pp.1-22.
- **Weydert, P., Rosso, J.-C., 1981.** Mise en évidence d'un niveau marin Holocène submergé dans l'Estuaire du Gabon, *Paleoecology of Africa*, vol. 14, pp. 111-123.

- **Wright, L. D., and Short, A. D., 1984.** Morphodynamic variability of surfzones and beaches: A synthesis, *Mar. Geolo.*, 56, 93–118, doi:10.1016/0025-3227(84)90008-2.
- **Wright, L.D. & Thom, B.G., 1977.** Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in Physical Geography*, 1(3), 412-459.
- **Yao, K. S., 2012.** Étude de la dynamique sédimentaire du littoral occidental ivoirien entre tabou et Sassandra : approches morpho-bathymétriques, sédimentologiques et exoscopiques. Thèse de doctorat en océanologie, université l'Université Félix Houphouët Boigny de Cocody, Cote d'ivoire, 197 p.
- **Zhang, K.Q., Douglas, B.C., Leatherman, S.P., 2004.** Global warming and coastal erosion. *Climatic Change* 64 (1–2), 41–58.

## **Annexes**

**Annexe 1:** Coupure de presse en lien avec l'interdiction de prélèvement du sable au Nord de Libreville

**CONSEIL DES MINISTRES HIER**

# LE SABLE, MATÉRIAU PROTÉGÉ



Photos Othman

*Le Conseil des ministres présidé, hier, par le chef de l'Etat Omar Bongo Ondimba (Médaille) a décrété de l'interdiction de l'exploitation du sable de plage comme celui des carrières du nord de Libreville.*

**T**OUTES les carrières de sable situées dans la zone nord de Libreville sont fermées, et le sable de plage interdit d'exploitation. Ainsi en a décidé le Conseil des ministres réuni hier sous la présidence du chef de l'Etat, Omar Bongo Ondimba. Le gouvernement s'inquiète ainsi de l'exploitation anarchique des lieux de production de ce matériau, tout à fait contraire aux textes en vigueur et préjudiciable à notre environnement. Le Conseil a en outre annoncé la célébration à Libreville de l'édition 2006 des fêtes tournantes et appelé à ce que les projets à prendre en compte soient rapidement arrêtés et les appels d'offres lancés. Enfin, un collectif budgétaire pour 2005 sera en discussion au Parlement et le projet de loi de finances 2006 également bientôt sur la table des élus.

**Page 2**

**l'union**  
Quotidien d'informations  
généralistes

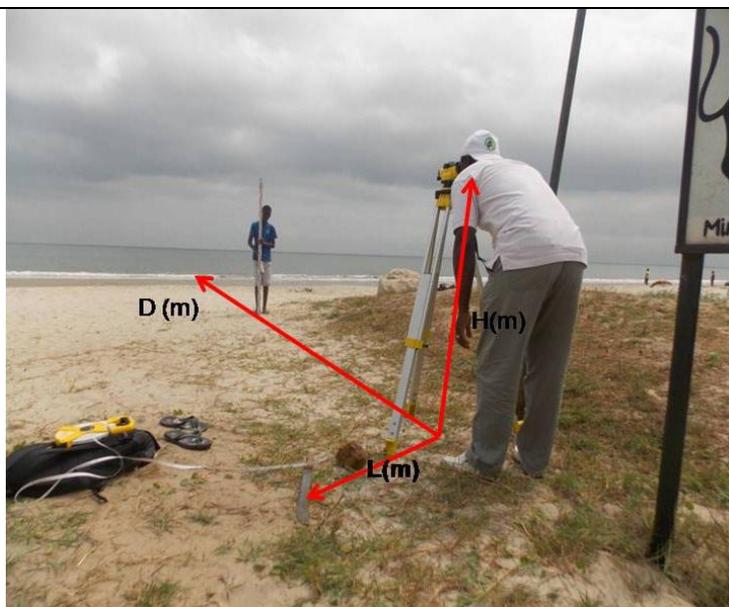
N° 8942 - VENDREDI 14 OCTOBRE 2005

103

**Annexe 2:** Equipement de topo et principe de réalisation des profils transversaux de la plage intertidale.

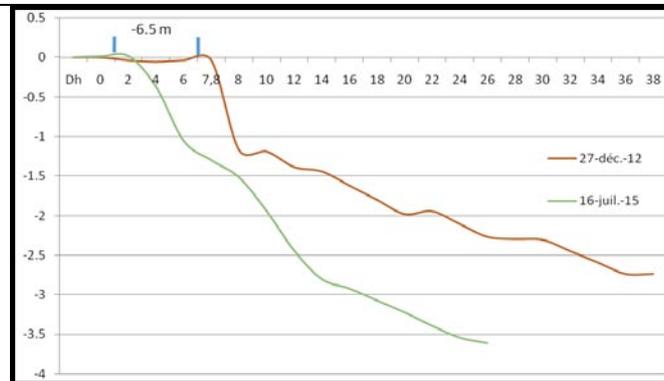


Cliché : Boucka Okoune T., juillet 2015.

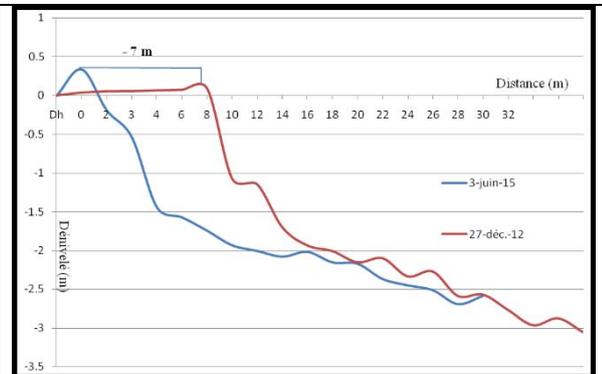


Cliché : Mouyalou V.M.T., juillet 2015.

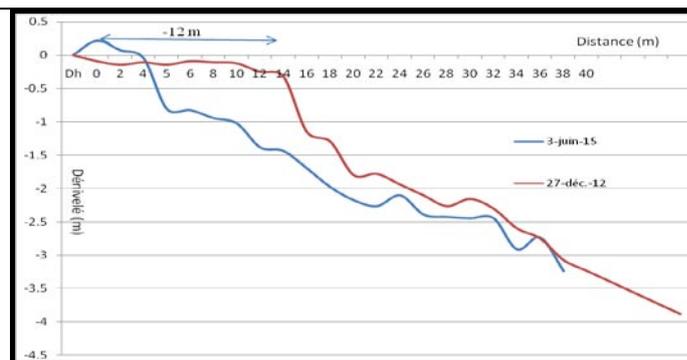
**Annexe 3: Bilan de l'évolution du rivage de 2012 à 2015 de la station Villa enr à R. Simbal RD.**



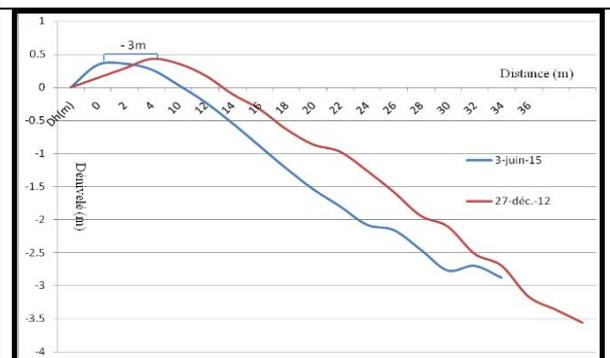
station Villa enr de décembre 2012 et juillet 2015



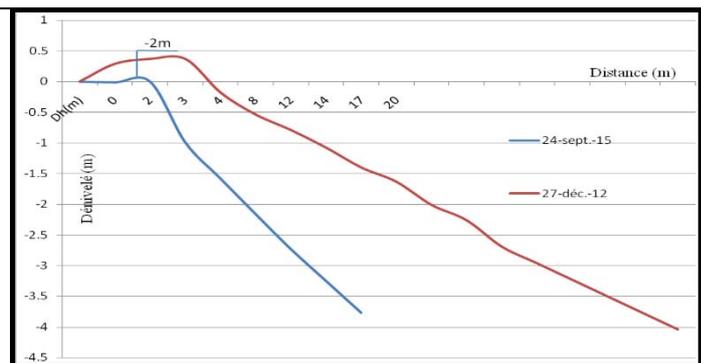
(2) : station Chemin de Plage de décembre 2012 et juin 2015



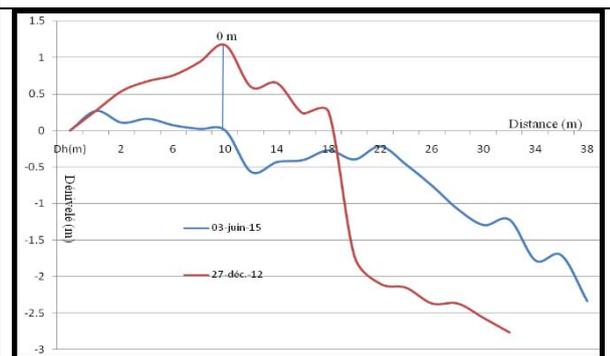
(3) : station Cocoteraie Sud de décembre 2012 et juin 2015



(4) : station R. Simba aval de décembre 2012 et juin 2015



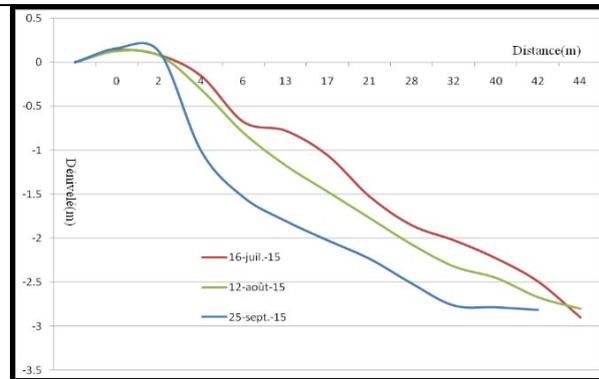
5) : station R. Simbal RD de décembre 2012 et septembre 2015,



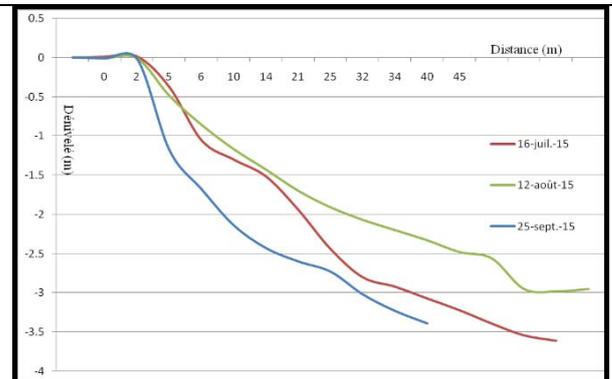
(6) : station R. Simbal RG de décembre 2012 et juin 2015

Source : Mouyalou V. M. T.

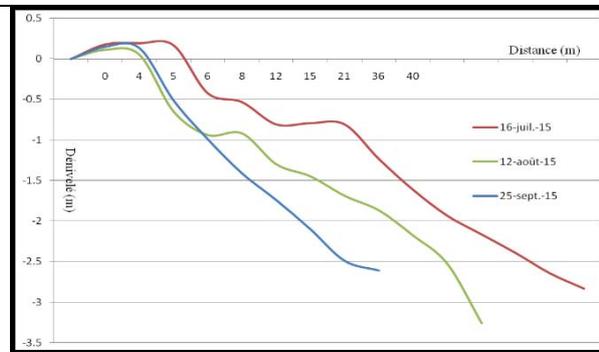
**Annexe 4:** Enveloppe des mouvements sédimentaires des profils de plages d'Akouango Village au Lycée Mba entre juillet et septembre 2015



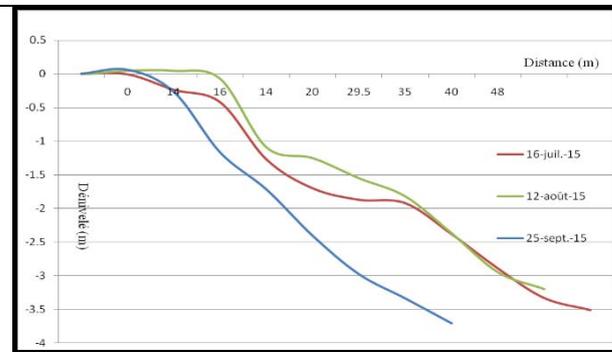
(1) station Akouango V.



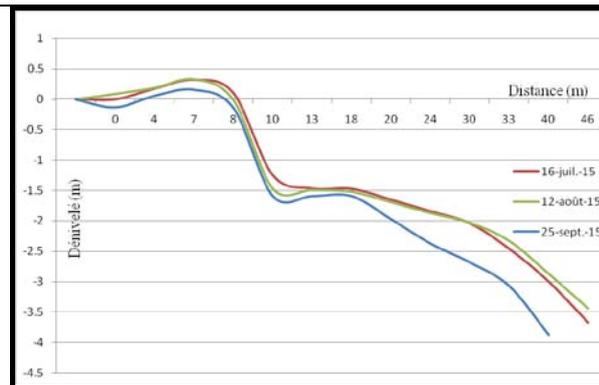
(2) station Villa enr



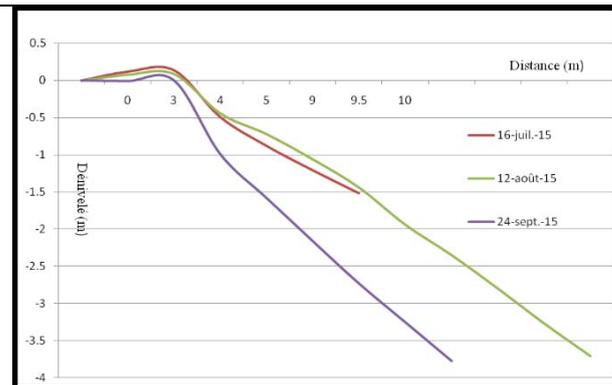
(3) station Bungalow



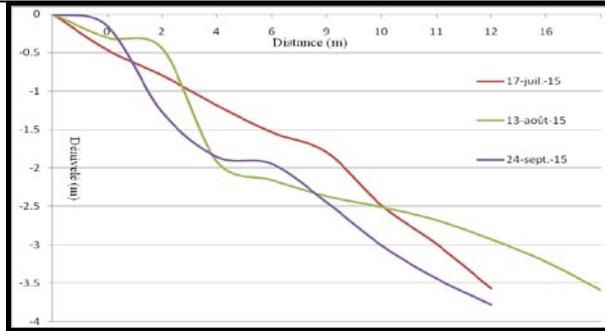
(4) station Cocoteraie



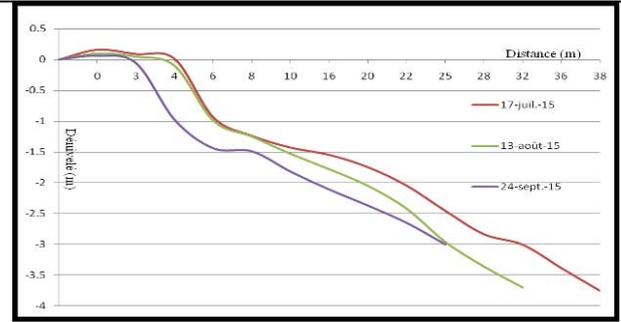
(5) station R Simba



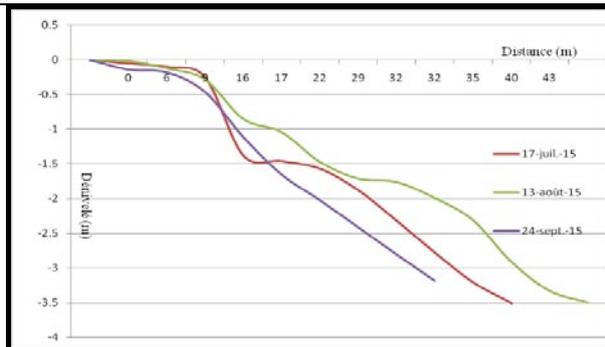
(6) station R. simba 1 RD



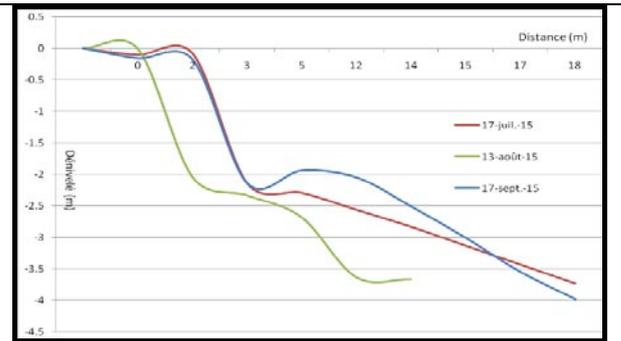
(7) station Plage du Remorqueur



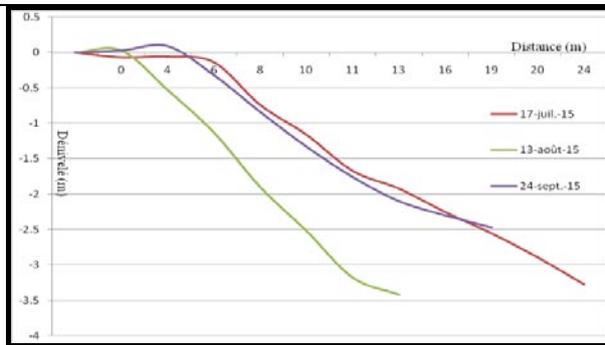
(8) station Résidence PR



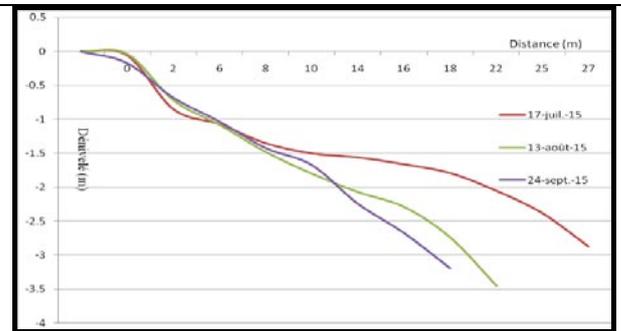
(9) station Base GR



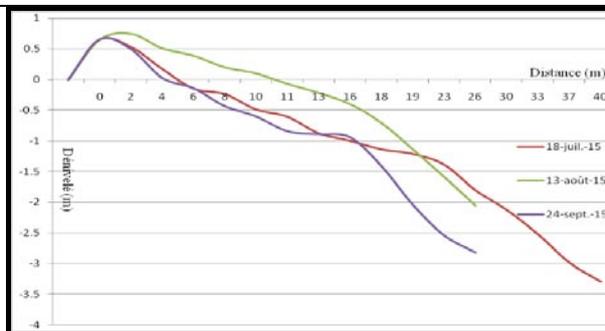
(10) station Ambassade Corée



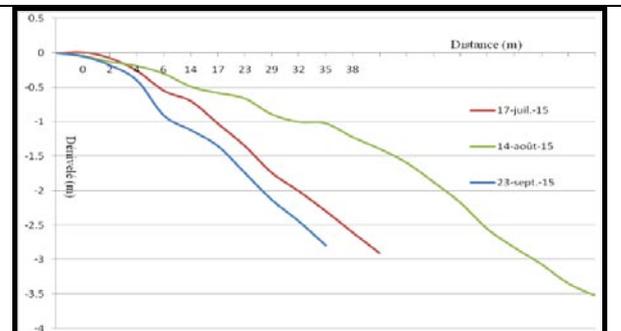
(11) station Beach Club



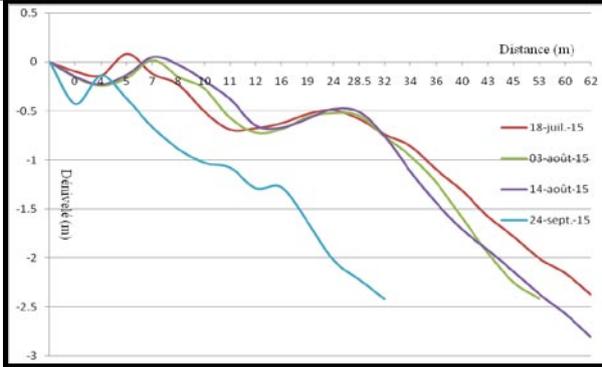
(12) station Sablière



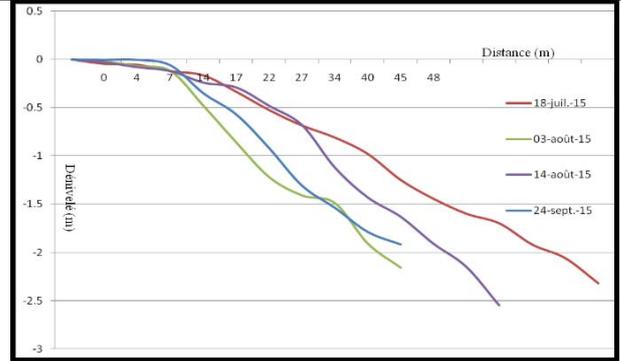
(13) station H. Atlantique



(14) station H. Tropicana



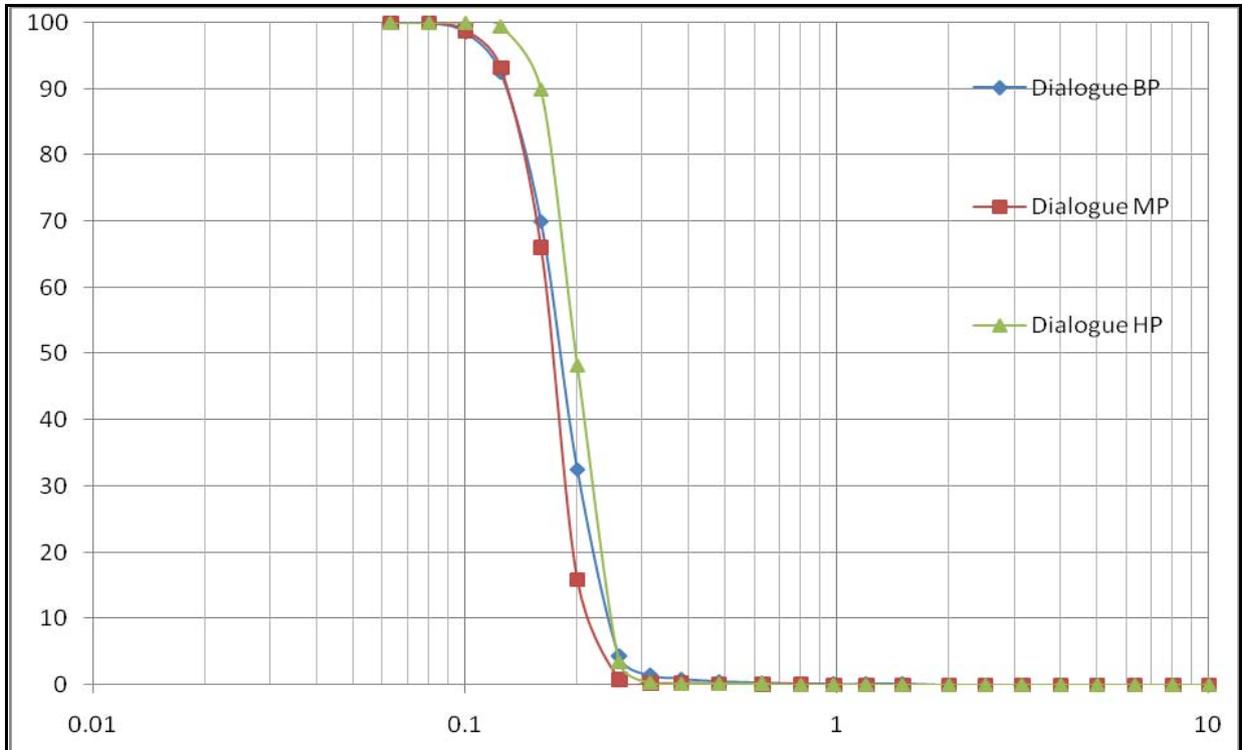
(15) station Gué-Gué



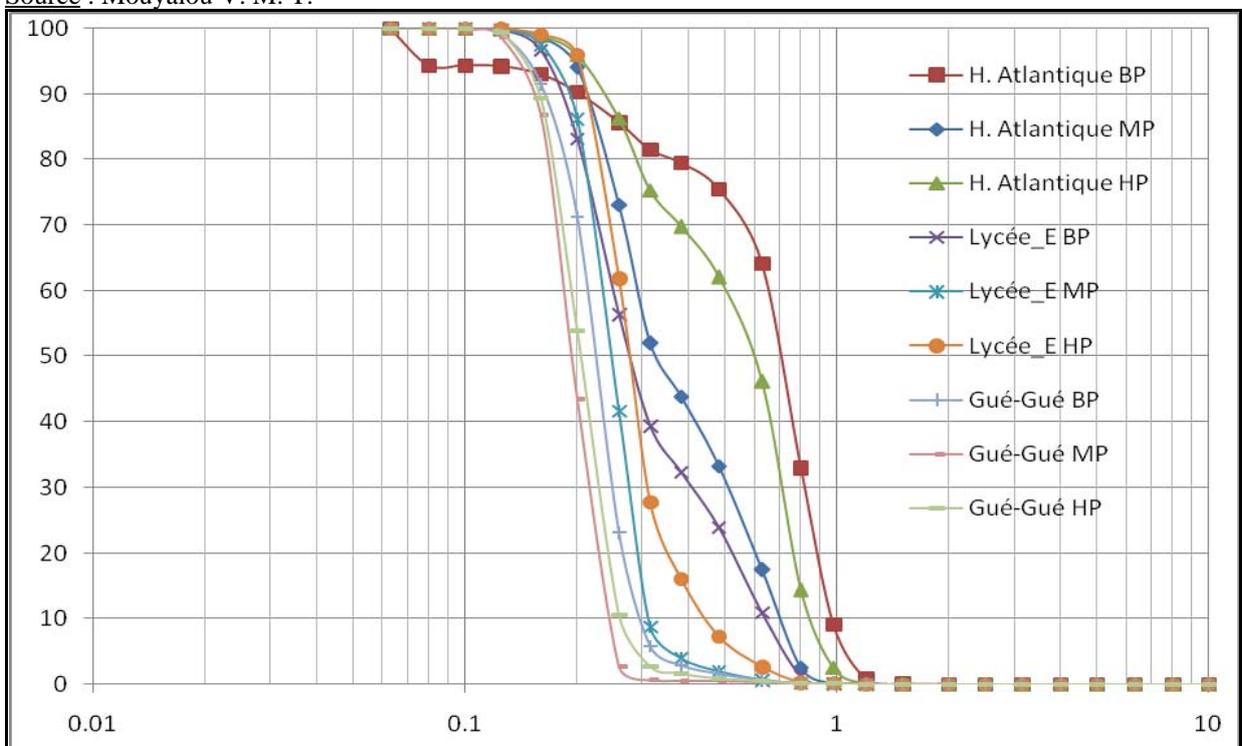
(16) station Lycée Mba

Source : Mouyalou V. M. T.

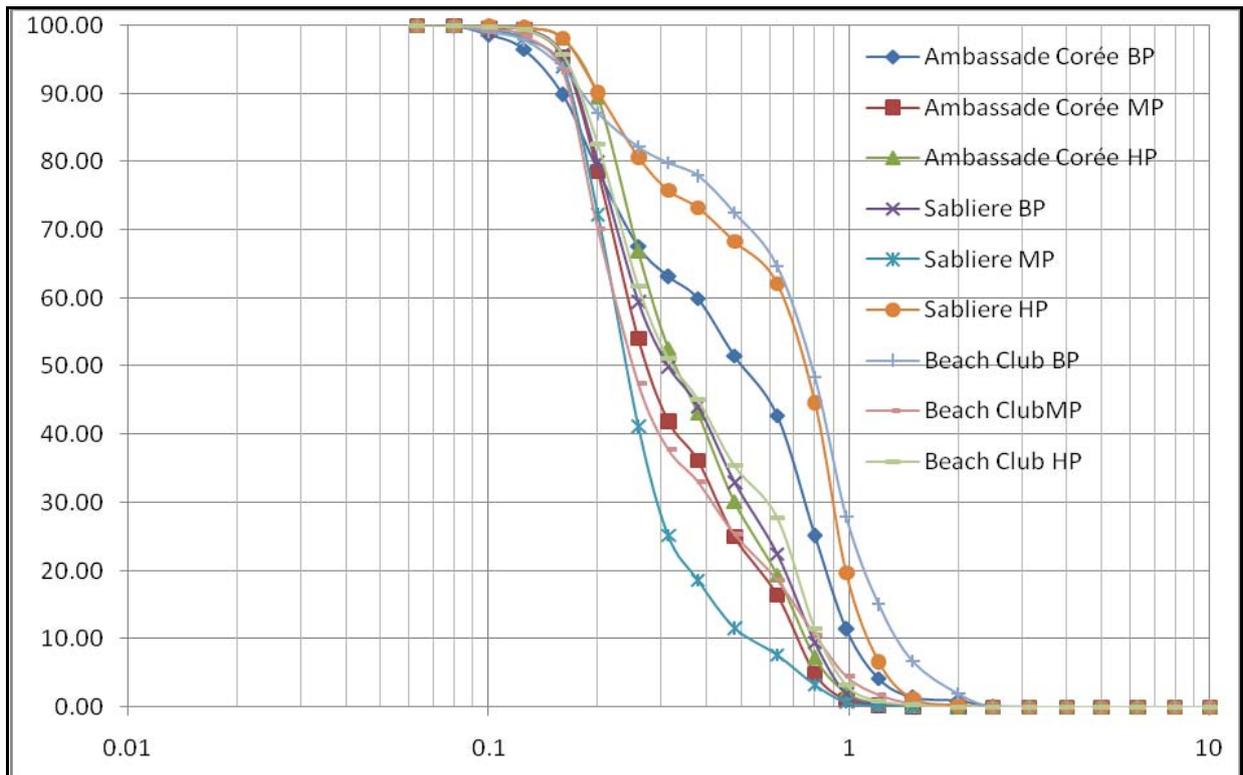
**Annexe 5:** Graphes présentant les courbes cumulatives semi-logarithmiques de quelques échantillons analysés.



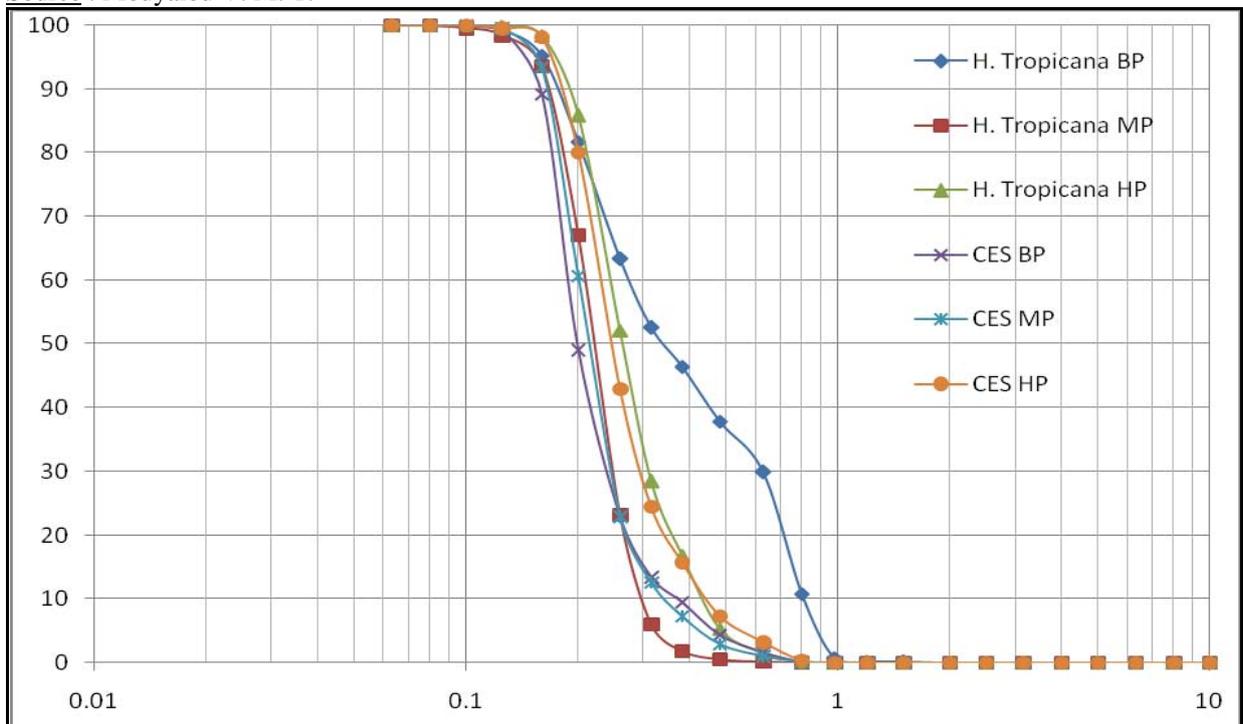
Source : Mouyalou V. M. T.



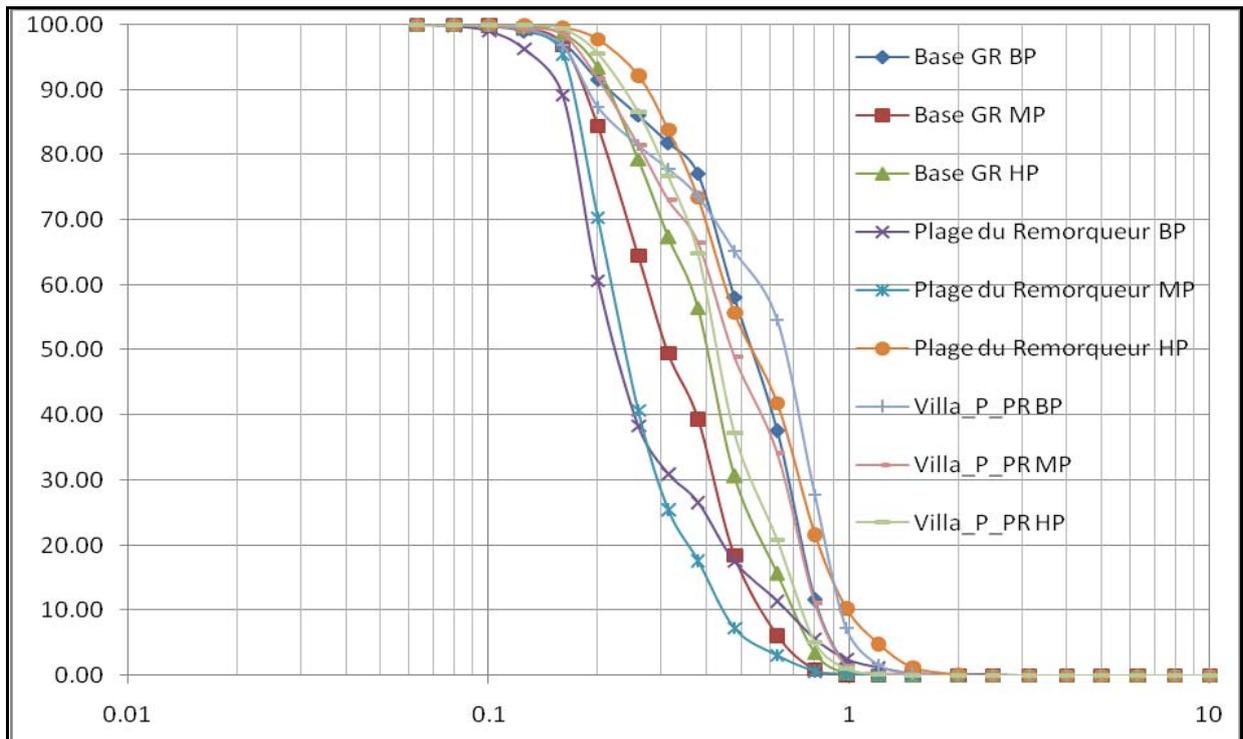
Source : Mouyalou V. M. T.



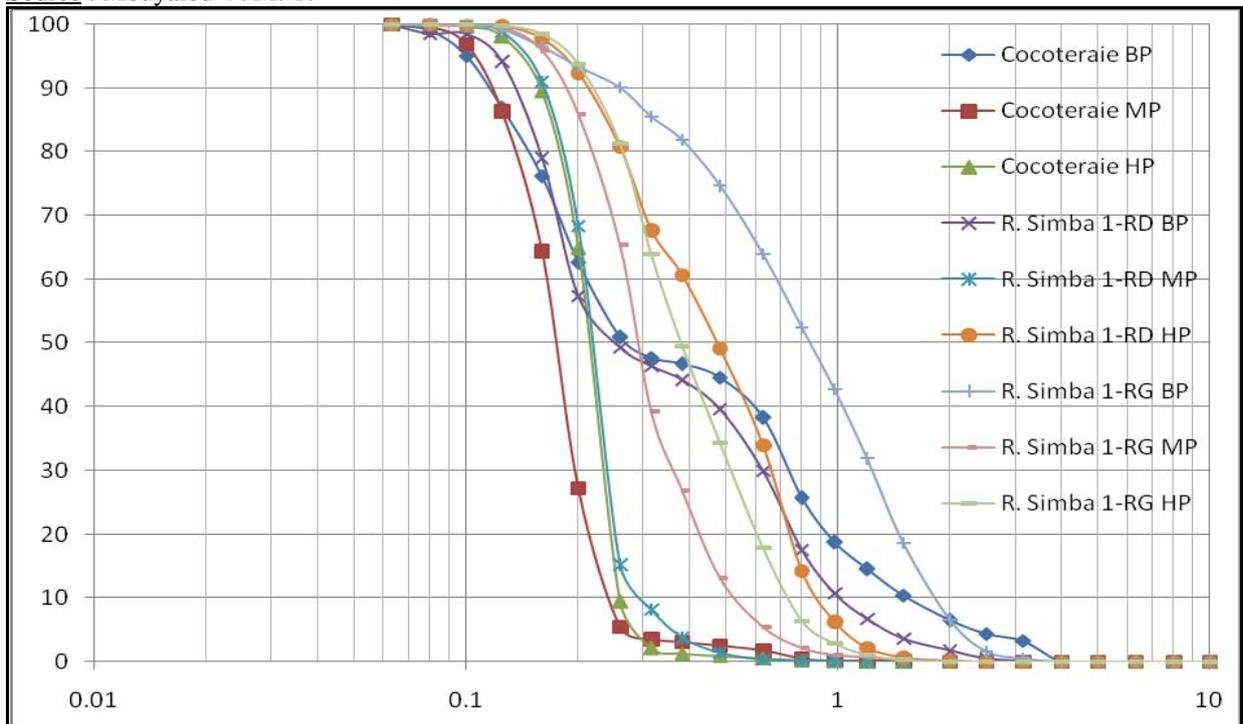
Source : Mouyalou V. M. T.



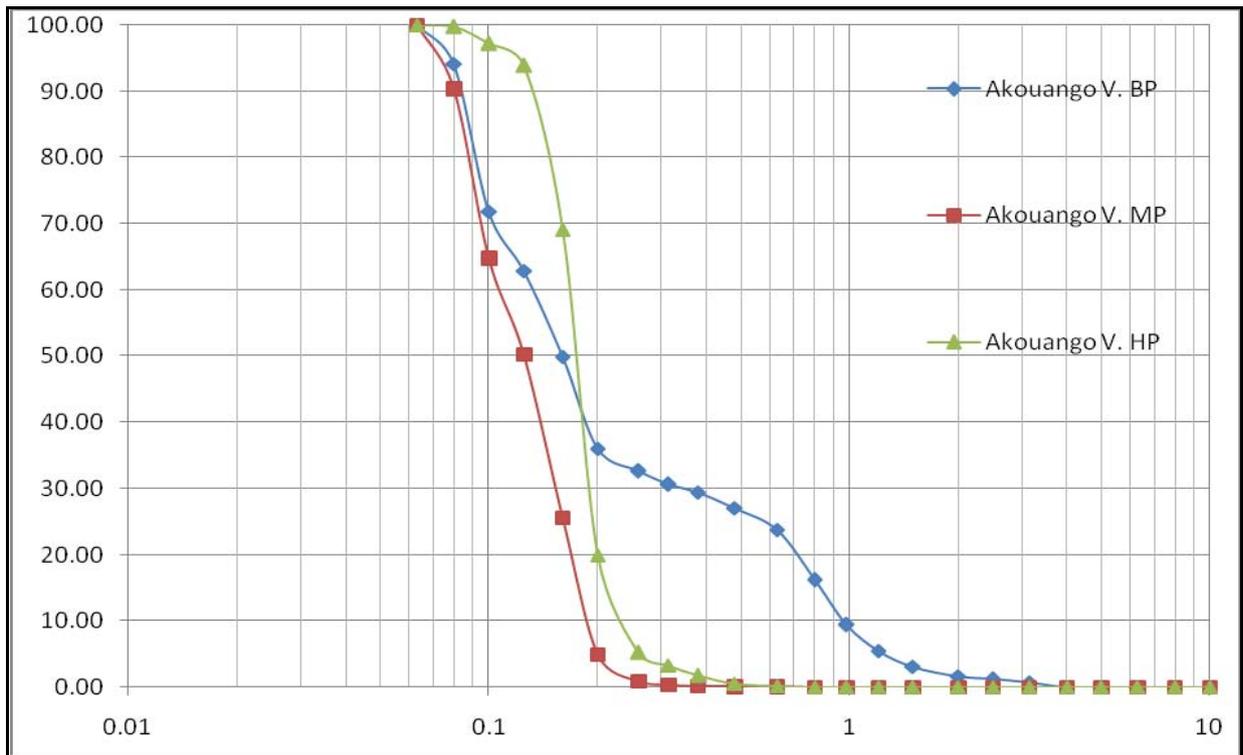
Source : Mouyalou V. M. T.



Source : Mouyalou V. M. T.



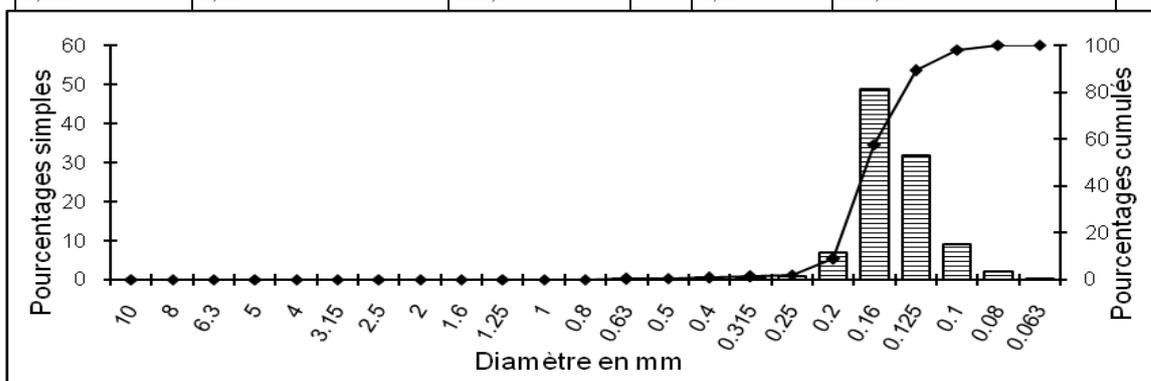
Source : Mouyalou V. M. T.



Source : Mouyalou V. M. T.

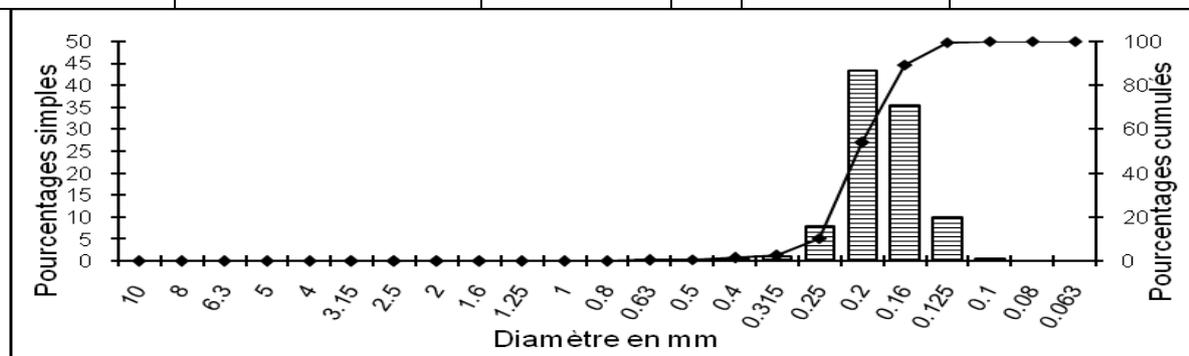
**Annexe 6:** Planches présentant les données brutes, les courbes commutatives et les indices paramétriques pour quelques échantillons.

	référence échantillon	Dialogue BP				
	Date	Nov. 2014			Poids total	196,97 g
Ouvertures en mm	Pds simples (g)	Pds cumulés (g)	****	% simples	% cumulés	
10	0,00	0,00		0,00	0,00	
8	0,00	0,00		0,00	0,00	
6,3	0,00	0,00		0,00	0,00	
5	0,00	0,00		0,00	0,00	
4	0,00	0,00		0,00	0,00	
3,15	0,00	0,00		0,00	0,00	
2,5	0,00	0,00		0,00	0,00	
2	0,00	0,00		0,00	0,00	
1,6	0,00	0,00		0,00	0,00	
1,25	0,00	0,00		0,00	0,00	
1	0,00	0,00		0,00	0,00	
0,8	0,00	0,00		0,00	0,00	
0,63	0,31	0,31		0,16	0,16	
0,5	0,22	0,53		0,11	0,27	
0,4	0,72	1,25		0,37	0,63	
0,315	0,96	2,21		0,49	1,12	
0,25	1,66	3,87		0,84	1,96	
0,2	13,19	17,06		6,70	8,66	
0,16	96,05	113,11		48,76	57,42	
0,125	62,47	175,58		31,72	89,14	
0,1	17,49	193,07		8,88	98,02	
0,08	3,72	196,79		1,89	99,91	
0,063	0,18	196,97		0,09	100,00	



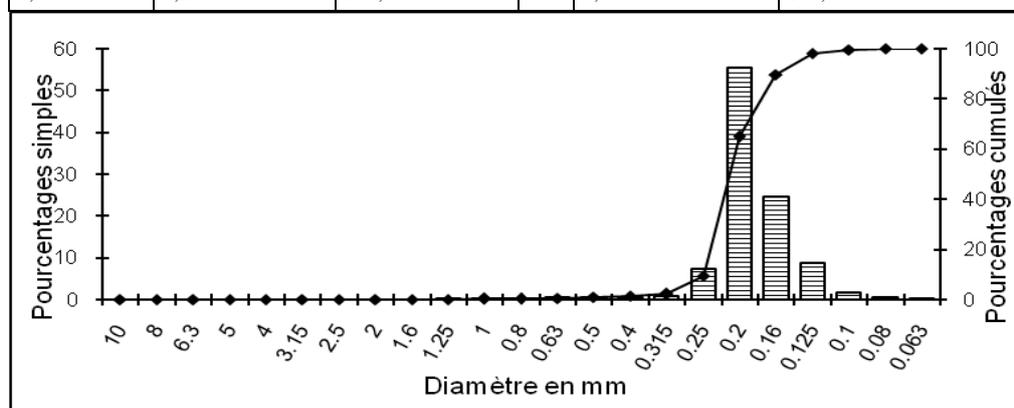
Echantillon Dialogue BP		D <sub>10</sub> (μm)		123 μm	
Médiane (μm & □□□)	166 μm	2,59 Phi	D <sub>16</sub>	μm	
Diamètre moyen	161 μm	2,63 Phi		□	2,94 Phi
Ecart-type (Sorting)	802 μm	0,32 Phi	D <sub>25</sub> (μm)		141 μm
Indice d'asymétrie (Skewness)	0,19		D <sub>50</sub> (μm)		166 μm
Indice d'angulosité (Kurtosis)	1,06		D <sub>75</sub> (μm)		187 μm
Teneur en grossières (diamètre > 10 mm)	0,00 %		D <sub>84</sub>	μm	194 μm
Teneur en fines (diamètre < 63 μm)	0,00 %			□	2,37 Phi
	∅		D <sub>90</sub> (μm)		199 μm

	référence de l'échantillon	Gué-Gué HP			
Ouvertures en mm	Pds simples (g)	Pds cumulés (g)	****	% simples	% cumulés
10	0,00	0,00		0,00	0,00
8	0,00	0,00		0,00	0,00
6,3	0,00	0,00		0,00	0,00
5	0,00	0,00		0,00	0,00
4	0,00	0,00		0,00	0,00
3,15	0,00	0,00		0,00	0,00
2,5	0,00	0,00		0,00	0,00
2	0,00	0,00		0,00	0,00
1,6	0,00	0,00		0,00	0,00
1,25	0,00	0,00		0,00	0,00
1	0,10	0,10		0,07	0,07
0,8	0,10	0,20		0,07	0,15
0,63	0,50	0,70		0,36	0,51
0,5	0,60	1,30		0,44	0,94
0,4	1,00	2,30		0,73	1,67
0,315	1,40	3,70		1,02	2,69
0,25	10,90	14,60		7,92	10,61
0,2	59,50	74,10		43,24	53,85
0,16	48,90	123,00		35,54	89,39
0,125	13,90	136,90		10,10	99,49
0,1	0,70	137,60		0,51	100,00
0,08	0,00	137,60		0,00	100,00
0,063	0,00	137,60		0,00	100,00



Echantillon Gué-Gué HP		D <sub>10</sub> (μm)	158 μm
Médiane (μm & □□□)	204 μm      2,29 Phi	μm	166 μm
Diamètre moyen	201 μm      2,31 Phi	□	2,59 Phi
Ecart-type (Sorting)	808 μm      0,31 Phi	D <sub>25</sub> (μm)	176 μm
Indice d'asymétrie (Skewness)	0,07	D <sub>50</sub> (μm)	204 μm
Indice d'angulosité (Kurtosis)	1,08	D <sub>75</sub> (μm)	231 μm
Teneur en grossières (diamètre > 10 mm)	0,00 %	μm	241 μm
Teneur en fines (diamètre < 63 μm)	0,00 %	□	2,05 Phi
Largeur de la plus grosse particule > 10mm	∅	D <sub>90</sub> (μm)	252 μm

	référence échantillon	Cocoteraie HP			
Ouvertures en mm	Date	jan-2011		Poids total	170,50 g
10	0,00	0,00		0,00	0,00
8	0,00	0,00		0,00	0,00
6,3	0,00	0,00		0,00	0,00
5	0,00	0,00		0,00	0,00
4	0,00	0,00		0,00	0,00
3,15	0,00	0,00		0,00	0,00
2,5	0,00	0,00		0,00	0,00
2	0,00	0,00		0,00	0,00
1,6	0,00	0,00		0,00	0,00
1,25	0,10	0,10		0,06	0,06
1	0,10	0,20		0,06	0,12
0,8	0,10	0,30		0,06	0,18
0,63	0,60	0,90		0,35	0,53
0,5	0,60	1,50		0,35	0,88
0,4	0,70	2,20		0,41	1,29
0,315	1,40	3,60		0,82	2,11
0,25	12,40	16,00		7,27	9,38
0,2	94,60	110,60		55,48	64,87
0,16	42,00	152,60		24,63	89,50
0,125	14,60	167,20		8,56	98,06
0,1	2,60	169,80		1,52	99,59
0,08	0,60	170,40		0,35	99,94
0,063	0,10	170,50		0,06	100,00



Echantillon Cocoteraie HP		D <sub>10</sub> (μm)		158 μm
Médiane (μm & □□□)	213 μm	2,23 Phi	μm	169 μm
Diamètre moyen	205 μm	2,28 Phi	□	2,57 Phi
Ecart-type (Sorting)	811 μm	0,30 Phi	D <sub>25</sub> (μm)	184 μm
Indice d'asymétrie (Skewness)	0,25		D <sub>50</sub> (μm)	213 μm
Indice d'angulosité (Kurtosis)	1,22		D <sub>75</sub> (μm)	234 μm
Teneur en grossières (diamètre > 10 mm)	0,00 %		D <sub>84</sub> μm	241 μm
Teneur en fines (diamètre < 63 μm)	0,00 %		□	2,05 Phi
Largeur de la plus grosse particule > 10mm	∅		D <sub>90</sub> (μm)	246 μm

**Annexe 7:** Résultats brutes des analyses morphoscopiques pour l'ensemble des échantillons analysés entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village.

Profils	Tamis	Non-Usés (%)		Emoussés-Luisants(%)		Ronds-Mats(%)	
		T. ang	ang	S. ang	S. arr.	Arr.	T. arr
Dialogue	160-200	16,67	40,00	26,67	10,00	6,67	0,00
	315-400	0,00	6,67	3,33	40,00	36,67	13,33
	630-800	0,00	0,00	3,33	16,67	70,00	10,00
S. Kalikak	160-200	20,00	43,33	26,67	10,00	0,00	0,00
	315-400	0,00	30,00	10,00	26,67	33,33	0,00
	630-800	0,00	3,33	43,33	36,67	16,67	0,00
CES	160-200	0,00	10,00	40,00	23,33	20,00	6,67
	315-400	0,00	33,33	30,00	10,00	10,00	16,67
	630-800	0,00	0,00	16,67	23,33	50,00	10,00
H. Tropicana	160-200	0,00	0,00	43,33	26,67	30,00	0,00
	315-400	0,00	0,00	13,33	40,00	43,33	3,33
	630-800	0,00	0,00	3,33	16,67	80,00	0,00
H. Atlantique	160-200	0,00	3,33	16,67	33,33	43,33	3,33
	315-400	3,33	6,67	33,33	40,00	16,67	0,00
	630-800	0,00	0,00	10,00	50,00	40,00	0,00
Sablière	160-200	0,00	16,67	6,67	33,33	43,33	0,00
	315-400	0,00	3,33	53,33	33,33	10,00	0,00
	630-800	0,00	0,00	0,00	33,33	53,33	13,33
Beach club	160-200	16,67	16,67	30,00	13,33	20,00	3,33
	315-400	3,33	33,33	23,33	20,00	16,67	3,33
	630-800	0,00	10,00	53,33	36,67	0,00	0,00
Ambassade Corée	160-200	0,00	20,00	20,00	20,00	40,00	0,00
	315-400	0,00	0,00	33,33	36,67	30,00	0,00
	630-800	0,00	0,00	0,00	20,00	73,33	6,67
Base GR	160-200	0,00	0,00	60,00	23,33	13,33	3,33
	315-400	0,00	40,00	6,67	46,67	3,33	3,33
	630-800	0,00	16,67	13,33	13,33	46,67	10,00
Villa_P_PR	160-200	0,00	10,00	20,00	33,33	36,67	0,00
	315-400	0,00	10,00	20,00	33,33	36,67	0,00
	630-800	0,00	10,00	20,00	33,33	36,67	0,00
Plage du Remorquer	160-200	0,00	33,33	30,00	10,00	23,33	3,33
	315-400	0,00	6,67	0,00	6,67	53,33	33,33
	630-800	0,00	13,33	23,33	56,67	6,67	0,00
R. Simba 1-RD	160-200	0,00	46,67	20,00	16,67	16,67	0,00
	315-400	0,00	6,67	13,33	26,67	46,67	6,67
	630-800	0,00	3,33	10,00	33,33	46,67	6,67
	160-200	13,33	23,33	46,67	6,67	6,67	3,33

Cocoteraie MP	315-400	0,00	13,33	46,67	16,67	20,00	3,33
	630-800	0,00	0,00	20,00	53,33	26,67	0,00
Bungalow	160-200	3,33	33,33	30,00	10,00	20,00	3,33
	315-400	3,33	26,67	10,00	20,00	33,33	6,67
	630-800	0,00	3,33	16,67	26,67	50,00	3,33
Villa enr,	160-200	0,00	30,00	20,00	33,33	16,67	0,00
	315-400	0,00	0,00	3,33	46,67	46,67	3,33
	630-800	0,00	3,33	16,67	16,67	56,67	6,67
Akouango V.	160-200	16,67	40,00	26,67	16,67	0,00	0,00
	315-400	0,00	10,00	10,00	33,33	46,67	0,00
	630-800	0,00	0,00	23,33	6,67	66,67	3,33

Source : Mouyalou V. M. T.

# Table des figures

Figure 1: Les cinq étapes de compréhension du fonctionnement d'un environnement côtier .	15
Figure 2: Les compartiments emboîtés du système côtier à différentes échelles de temps et d'espace.....	16
Figure 3: Localisation géographique du segment côtier de la Baie d'Akouango à l'hôtel Dialogue. ....	25
Figure 4: Les cordons littoraux au nord de Libreville.....	27
Figure 5: Coupe dans les sablières de la Baie d'Akouango .....	27
Figure 6: Bathymétrie de l'estuaire du Komo entre l'embouchure et le Port d'Owendo .....	29
Figure 7: Les principaux bancs et autre hauts fonds de l'estuaire du Komo entre l'embouchure et l'île Perroquet.....	30
Figure 8: Profil en travers de l'estuaire du Komo entre la Pointe Pongara et le Cap Santa Clara .....	31
Figure 9: Profil en travers de l'estuaire du Komo entre la Pointe Pongara et le Port- Môle (Libreville) .....	31
Figure 10: Profil en travers de l'estuaire du Komo entre Punta Mina et la Pointe Owendo....	32
Figure 11: Variation de la teneur en éléments sableux (de diamètre >80 microns) dans les sédiments de l'estuaire du Komo.....	36
Figure 12: Esquisse géologique de la région de l'estuaire du Komo.....	38
Figure 13: Synthèse non-exhaustive des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes.....	41
Figure 14: Pluviométrie moyenne (mm) de la station de Libreville pour les périodes 1921-1975 et 1978-2007.....	42
Figure 15: Provenance principale des vents à Libreville. ....	44
Figure 16: Rose des vitesses maximales des vents (m/s) à Libreville. ....	44

Figure 17: Les principaux bassins versants de la zone d'étude .....	48
Figure 18: Localisation des transects de mesure de courants dans l'estuaire du Komo .....	49
Figure 19: Vitesses de courant entre Libreville (Port-Môle) et la Pointe Pongara .....	50
Figure 20: Vitesses de courant entre Owendo et l'île Perroquet.....	51
Figure 21: Vitesses de courant entre la Pointe Gongoué et Donguila.....	51
Figure 22: Directions des courants entre Libreville (Port- Môle) et la Pointe Pongara.....	53
Figure 23: Directions des courants entre Owendo et Ile Perroquet.....	53
Figure 24: Directions des courants entre la Pointe Gongoué et Donguila .....	54
Figure 25: Courbe de la marée du 1 <sup>er</sup> Décembre 2009 au port commercial d'Owendo .....	55
Figure 26: Variation de la marée au port commercial d'Owendo du 1 <sup>er</sup> janv au 19 avril 2012	56
Figure 27: Les courants de marée dans l'estuaire du Komo .....	57
Figure 28: Plan des vagues en provenance du large.....	59
Figure 29: Comportement de la houle à l'entrée et dans l'estuaire du Komo.....	60
Figure 30: Principales directions de transit littoral engendré par les houles résiduelles dans l'estuaire du Komo. ....	61
Figure 31: Localisation du permis d'exploitation de la Sablière d'Owendo.....	72
Figure 32: Aire de dragage du sable marin pour le Projet d'Aménagement du front de mer du Port-Môle .....	73
Figure 33 : Superposition de l'aire de dragage et des bancs sableux de l'estuaire du Komo ..	74
Figure 34: Principe de lecture sur la mire à l'aide des fils stadimétriques .....	79
Figure 35: Localisation des profils objet du suivi topographique du lycée Léon Mba à Akouango Village (2012 à 2015). ....	81
Figure 36: Stations d'échantillonnage de sédiments superficiels de la plage intertidale de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.....	83

Figure 37: Exemple de profil transversal de la plage intertidale de Gué-Gué .....	86
Figure 38: Caractéristique des morphotypes de plages.....	87
Figure 39: Méthode de calcul des bilans sédimentaires entre deux profils successifs A et B.	89
Figure 40: Le principe de la méthode DSAS, d'après <i>User Guide &amp; Tutorial for the Extension for ArcGis V.10.0. Digital Shoreline Analysis system (DSAS)</i> .....	93
Figure 41: Exemple illustrant le principe de calcul de l'indice EPR.....	94
Figure 42: Exemple illustrant le principe de calcul de l'indice LRR .....	95
Figure 43: Représentation d'une courbe granulométrique (pourcentages cumulatifs semi-logarithmiques).....	97
Figure 44: Types fondamentaux de courbes granulométriques .....	100
Figure 45: Diagrammes Md-So (A) et Sk-Md (B) de Moiola et Weiser (1968).....	101
Figure 46: Charte visuelle de la sphéricité des grains de sables .....	103
Figure 47: Charte visuelle d'estimation de la sphéricité et de l'éroulé des grains de sable	104
Figure 48: Localisation des profils ayant fait l'objet d'analyse calcimétrique .....	106
Figure 49: Localisation des stations du secteur Nord de la Baie d'Akouango .....	115
Figure 50: Profils transversaux de plage à la station Villa enr (décembre 2012 à juillet 2015). .....	116
Figure 51: Profils transversaux de plage à la station Chemin de Plage (décembre 2012 à juillet 2015).....	117
Figure 52: Profils transversaux de plage à la station Cocoteraie Sud (décembre 2012 à juillet 2015).....	118
Figure 53: Profils transversaux de plage à la station R. Simba aval (décembre 2012 à juin 2015).....	119
Figure 54: Profils transversaux de plage à la station R.Simba1 RD (décembre 2012 à septembre 2015). .....	120

Figure 55: Profils transversaux de plage à la station R. Simba 1 RG (décembre 2012 à juin 2015).....	121
Figure 56: Localisation des stations topographiques du Lycée Léon Mba à Akouango Village .....	124
Figure 57: Exemple de profil de plage escarpée de la station Ambassade de Corée .....	125
Figure 58: Exemple de profil de plage à faible pente à la station Gué-Gué .....	126
Figure 59: Variation longitudinale de la pente du profil de plage d’Akouango Village au Lycée Mba.....	127
Figure 60: Variation du trait de côte de juillet à septembre 2015 du Lycée Mba à d’Akouango Village .....	129
Figure 61: Variation des bilans sédimentaires de la station Villa enr de décembre 2012 à septembre 2015 .....	131
Figure 62: Variation des bilans sédimentaires de la station Villa enr entre deux levés successifs de décembre 2012 à septembre 2015 .....	132
Figure 63: Variation des bilans sédimentaires de la station Chemin de Plage de décembre 2012 à juin 2015 .....	133
Figure 64: Variation des bilans sédimentaires de la station Chemin de Plage entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015.....	134
Figure 65: Variation des bilans sédimentaires de la station Cocoteraie Sud de décembre 2012 à juin 2015 .....	134
Figure 66: Variation des bilans sédimentaires de la station Cocoteraie Sud entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015.....	135
Figure 67: Variation des bilans sédimentaires de la station R simba aval de décembre 2012 à juin 2015.....	136
Figure 68: Variation des bilans sédimentaires de la station R simba aval entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015.....	136

Figure 69: Variation des bilans sédimentaires de la station profil R. Simba1 RD de décembre 2012 à septembre 2015.....	137
Figure 70: Variation des bilans sédimentaires de la station R. Simba1 RD entre deux levés successifs de décembre 2012 à septembre 2015 .....	138
Figure 71: Variation des bilans sédimentaires de la station R. Simba1 RG de décembre 2012 à septembre 2015 .....	139
Figure 72: Variation des bilans sédimentaires de la station R. Simba1 RG entre deux levés successifs de décembre 2012 à juin 2015.....	140
Figure 73: Comparaison de l'évolution des bilans sédimentaires cumulés par station et la période des vagues enregistrées au large de l'estuaire du Komo de décembre 2012 à juin 2015.....	142
Figure 74: Bilan sédimentaire des stations de la zone Nord de la baie d'Akouango de décembre 2012 à juin 2015 .....	144
Figure 75: Bilans sédimentaires calculés entre juillet et septembre 2015 du Lycée Mba à Akouango Village. ....	146
Figure 76: La zone couverte par la série de photographies aériennes analysées. ....	152
Figure 77: Le modèle cartographique basée sur le calcul de l'indice EPR entre 1977 et 2013 .....	153
Figure 78: Le modèle cartographique basé sur le calcul de l'indice LRR pour les années 1977, 1984, 1990, 2003, 2008 et 2013.....	155
Figure 79: Localisation des transects ayant fait l'objet d'analyse de la dynamique du trait de côte de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.....	157
Figure 80: Variation cumulée de la position du trait de côte de 1977 à 2013 pour quelques transects de référence de l'hôtel Dialogue à Akouango Village. ....	158
Figure 81: Vulnérabilité à l'aléa érosion côtière du Lycée Léon Mba à la Baie d'Akouango selon la méthode de <i>Jenks</i> . ....	161

Figure 82: Courbes cumulées semi-logarithmiques des sables superficiels des profils Otendé au Nord de la Baie d'Akouango. ....	171
Figure 83: Exemple d'identification graphique du mode pour un échantillon unimodal de sables intertidaux du profil Gué-Gué. ....	172
Figure 84: Exemple d'identification graphique des modes pour un échantillon bimodal de sables intertidaux du profil R. Simba1-RD .....	173
Figure 85: Exemple d'identification graphique des modes pour un échantillon trimodal de sables intertidaux du profil R. Otende_RG. ....	173
Figure 86: Variation de la médiane des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014. ....	183
Figure 87: Variation de l'indice du triage des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014.....	185
Figure 88 : Variation de l'indice d'asymétrie des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014.....	187
Figure 89: Diagramme Md-So des sédiments unimodaux de la baie d'Akouango. ....	190
Figure 90: Diagramme Sk-Md des sédiments unimodaux de la Baie d'Akouango.....	191
Figure 91: Exemple de distribution des classes granulométriques pour l'échantillon Otende_RD_HP de la série 2011. ....	194
Figure 92: Variation des différentes classes granulométriques des sables intertidaux pour la série 2011 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.....	226
Figure 93: Variation des différentes classes granulométriques des sables intertidaux pour la série 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.....	226
Figure 94: Variation des différentes classes granulométriques des sables intertidaux de la série 2014 de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.....	227
Figure 95: Identification graphique des modes sur une courbe granulométrique. ....	229
Figure 96: répartition du caractère modal des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé pour la série 2011.....	234

Figure 97: Répartition du caractère modal des sables intertidaux de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé pour la série 2012. ....	234
Figure 98: Répartition du caractère modal des sables intertidaux de 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akoango Village.....	238
Figure 99: Pourcentage d'apparition des différentes valeurs modales pour l'ensemble des sédiments de la série 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.....	242
Figure 100: Identification graphique des valeurs des deux principaux TS pour les sables intertidaux de 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.....	243
Figure 101: Variation des valeurs modales des sables intertidaux de la série 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé. ....	244
Figure 102: Pourcentage d'apparition des différentes valeurs modales pour l'ensemble des sédiments de la série 2012 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.....	245
Figure 103: Identification graphique des valeurs des deux principaux TS pour les sédiments de 2011 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé. ....	246
Figure 104: Variation des valeurs modales suivant le profil longitudinal pour la série 2012 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé.....	247
Figure 105: Pourcentage d'apparition des différentes valeurs modales pour l'ensemble des sédiments de la série 2014 entre l'hôtel Dialogue et l Akouango Village.....	249
Figure 106: Identification graphique des valeurs des deux principaux TS pour les sables intertidaux de 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village. ....	250
Figure 107: Variation des valeurs modales des sables intertidaux de la série 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village.....	251
Figure 108: Diagramme des effectifs modaux issu du test statistique (Anova).....	255
Figure 109: Diagramme des valeurs modales issu du test statistique (Anova).....	255
Figure 110: Diffractogramme aux rayons X des minéraux non argileux des sables de la Cocoteraie.....	266

# Table des tableaux

Tableau 1: Vitesses de recul du trait de côte enregistrées entre l'hôtel Dialogue et la Baie d'Akouango de 1971 à 2014. ....	35
Tableau 2: Fréquence (%) des directions du vent à Libreville (période 1981-1990).....	44
Tableau 3: Synthèse des vitesses de courant dans l'estuaire du Komo .....	52
Tableau 4: Synthèse des directions de courant dans l'estuaire du Komo .....	54
Tableau 5: Paramètres de la marée à Libreville et Owendo.....	56
Tableau 6: Transit littoral le long de la côte de Libreville généré par les houles de secteur SO .....	62
Tableau 7: Transit littoral le long de la côte de Libreville généré par les houles de secteur ONO .....	63
Tableau 8: Exemple de calcul des distances en fonction des mesures stadimétriques .....	85
Tableau 9: Exemple de résultat obtenu après traitement des données (profil Gué-Gué).....	85
Tableau 10: Granulométrie : formules de calcul des paramètres par la méthode logarithmique des moments, limites et terminologie des classes de valeurs prises par les paramètres.....	99
Tableau 11: Coefficient d'arrondi et de sphéricité .....	102
Tableau 12: Recul du trait de côte entre les stations Villa enr et R. Simba 1 RG (Nord de la Baie d'Akouango)- décembre 2012 à juin 2015. ....	123
Tableau 13: Synthèse de la variation du trait de côte au niveau de quelques profils pour la période 1977-2013.....	159
Tableau 14: Prévision de l'évolution du trait de côte de 2013 à 2123 au niveau de quelques transects représentatifs de la zone d'étude.....	164
Tableau 15: Synthèse des erreurs de l'analyse de la cinématique du trait de côte par année. ....	166
Tableau 16: Synthèse des erreurs liées à l'analyse de la cinématique du trait de côte par période.....	166

Tableau 17: Répartition modale des sédiments intertidaux dans la zone d'étude.....	172
Tableau 18: Comparaison des indices granulométriques des échantillons du bas de plage entre l'hôtel Dialogue et la plage du Remorqueur pour les séries 2011, 2012 et 2014.....	175
Tableau 19: Valeurs d'appréciation de l'Indice de Triage. ....	176
Tableau 20: Valeurs d'appréciation de l'indice d'Asymétrie. ....	177
Tableau 21: Comparaison des paramètres granulométriques des échantillons de la moyenne plage de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011,2012 et 2014. ....	178
Tableau 22: Comparaison des paramètres granulométriques des échantillons du haut de plage de l'hôtel Dialogue à Akouango Village pour les séries 2011, 2012 et 2014. ....	181
Tableau 23: Exemple de caractérisation des classes granulométriques d'un échantillon du bas de plage de l'hôtel Dialogue pour la série 2014.....	193
Tableau 24: Comparaison des classes granulométriques des échantillons du bas de plage pour les séries 2011 et 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.....	196
Tableau 25: Comparaison des classes granulométriques des échantillons de la moyenne plage pour les séries 2011 et 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.....	200
Tableau 26: Comparaison des classes granulométriques des échantillons du haut de plage pour les séries 2011 et 2012 de l'hôtel Dialogue à la rivière Otendé.....	206
Tableau 27: Classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage de la série 2014. ....	211
Tableau 28: Classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage série 2014 de l'hôtel Dialogue à Akouango Village.....	215
Tableau 29: Classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage série 2014 entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village. ....	218
Tableau 30: Classes granulométriques des sables du bas de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie. ....	221
Tableau 31: Classes granulométriques des sables de la plage moyenne pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie. ....	222

Tableau 32: Classes granulométriques des sables du haut de plage pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie. ....	224
Tableau 33: Répartition des différents caractères modaux des sables intertidaux pour les séries 2011, 2012 et 2014. ....	230
Tableau 34: Répartition en pourcentage des différents caractères modaux des sables intertidaux par point de prélèvement pour les séries 2011, 2012 et 2014. ....	232
Tableau 35: Proportion en pourcentage des différents caractères modaux par point de prélèvement des échantillons (2011, 2012, 2014). ....	233
Tableau 36: Mise en évidence de la variabilité spatio-temporelle du caractère modal des sables intertidaux pour les séries 2011 et 2012 entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé ..	235
Tableau 37: Comparaison du caractère modal par point de prélèvement et par année pour les profils de référence entre l'hôtel Dialogue et la Cocoteraie. ....	240
Tableau 38: Comparaison des valeurs modales par point de prélèvement de sables pour les séries 2011, 2012 et 2014 de l'hôtel Dialogue à la Cocoteraie. ....	252
Tableau 39: Variation des caractères morphoscopiques des sables fins intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village. ....	258
Tableau 40: Variation des caractères morphoscopiques des sables moyens intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village. ....	260
Tableau 41: Variation des caractères morphoscopiques des sables grossiers intertidaux de l'hôtel Dialogue à Akouango Village. ....	262
Tableau 42: Calcimétrie des sables intertidaux entre l'hôtel Dialogue et la rivière Otendé. .	269

## Table des photos

Photo 1: Forte fréquentation de la plage du lycée Léon Mba lors de la traversée Mpali.....	24
Photo 2 : Concert grand public sur la plage du Lycée Léon Mba.....	24
Photo 3: Réduction des zones de <i>parking</i> au droit de l'hôtel <i>Radisson Blue</i> .....	34
Photo 4: Dégradation d'une habitation par l'érosion côtière.....	34
Photo 5: Déchaussement des cocotiers au lieu-dit La Cocoteraie.....	34
Photo 6: Destruction du cordon actuel par une nouvelle percée de la rivière Simba.....	34
Photo 7: Affleurement du platier rocheux à marée basse (sortie Kalikak) .....	34
Photo 8: Coupure de la route à la Plage du Remorqueur .....	34
Photo 9 : Embouchure de la rivière Gué-Gué à Libreville.....	47
Photo 10 : Embouchure de la rivière Otendé à Akanda. ....	47
Photo 11 : Embouchure de la rivière Simba2 au lieu-dit La Cocoteraie.....	47
Photo 12 : Embouchure de la rivière Simba 1 à la Plage du Remorqueur. ....	47
Photo 13: Promusquité entre le trottoir du Boulevard du bord de mer et le trait de côte au niveau de la plage de Gué-Gué .....	65
Photo 14: Aménagement d'un complexe touristique sur le haut de plage au Nord de la baie d'Akouango.....	66
Photo 15: Aménagement d'un remblai avec des palplanches sur la plage à La Cocoteraie.....	66
Photo 16: Empiètement d'un bar restaurant sur la plage de Gué-Gué.....	66
Photo 17: Clôture d'un immeuble en construction sur le haut de plage au Tropicana .....	66
Photo 18: Mur de protection d'une résidence contre l'assaut des vagues à La Sablière.....	66
Photo 19: Carte postale d'une vue aérienne de l'hôtel Dialogue .....	66

Photo 20: Épi isolé érigé au niveau d'une résidence privée au Sud de la Plage du Remorqueur .....	68
Photo 21: Section du littoral de Libreville en 1968 avant la construction de l'épi de l'hôtel Dialogue. ....	69
Photo 22: Section du littoral de Libreville en 1990 après la construction de l'épi de l'hôtel Dialogue. ....	69
Photo 23: Vestiges du brise-lame en blocs calcaires sur la moyenne plage au niveau de la sortie Kalikak .....	70
Photo 24: Cordon d'enrochement latéritique à la Plage du Remorqueur .....	71
Photo 25: Cordon d'enrochement latéritique au complexe touristique Akouango Village .....	71
Photo 26: Prélèvement de sable d'estran au lieu-dit La Cocoteraie au Nord de la baie d'Akouango .....	76
Photo 27: La limite du trait de côte selon le critère de la végétation .....	91
Photo 28: Plage structurée en gradins de plage à la Plage du Remorqueur. ....	112
Photo 29: Plage caractérisée par la présence d'une bêche suivie d'une barre sous marine au Nord de la baie d'Akouango. ....	113
Photo 30: Rides de plages au droit de la rivière Otendé au Nord de la Baie d'Akouango ....	114
Photo 31: Amoncellement des déchets au haut de plage sur de la rive gauche de la rivière Simbal .....	122
Photo 32: Mise en place des blocs latéritiques sur le haut de plage de la rive gauche de la rivière Simbal .....	122
Photo 33: Une construction en dur sur le haut estran à la Plage du Remorqueur .....	147
Photo 34: Mise en place pour la célébration d'un mariage civil sur plage au niveau du <i>Family beach Restaurant-snack-bar</i> (plage du Lycée Léon Mba).....	148
Photo 35: Talus d'érosion au Sud de la rivière Otendé .....	162
Photo 36: Talus d'érosion à La Cocoteraie.....	162

Photo 37: Talus d'érosion sur la Plage du Remorqueur .....	162
Photo 38: Cocotiers détruits par l'érosion côtière à La Cocoteraie .....	162
Photo 39: Un échantillon de sable superficiel de la plage intertidale au niveau de la rivière Otendé. ....	264
Photo 40: Débris coquilliers d'un échantillon de la rive gauche de la rivière Otendé. ....	270
Photo 41: Débris coquilliers extraits d'un échantillon de la Cocoteraie. ....	270

## Table des annexes

Annexe 1: Coupure de presse en lien avec l'interdiction de prélèvement du sable au Nord de Libreville .....	305
Annexe 2: Equipement de topo et principe de réalisation des profils transversaux de la plage intertidale.....	306
Annexe 3: Bilan de l'évolution du rivage de 2012 à 2015 de la station Villa enr à R. Simba1 RD. ....	307
Annexe 4: Enveloppe des mouvements sédimentaires des profils de plages d'Akouango Village au Lycée Mba entre juillet et septembre 2015.....	308
Annexe 5: Graphes présentant les courbes cumulatives semi-logarithmiques de quelques échantillons analysés.....	311
Annexe 6: Planches présentant les données brutes, les courbes commutatives et les indices paramétriques pour quelques échantillons. ....	315
Annexe 7: Résultats brutes des analyses morphoscopiques pour l'ensemble des échantillons analysés entre l'hôtel Dialogue et Akouango Village.....	318

# TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE .....	i
LISTE DES SIGLES, ABREVIATIONS ET ACRONYMES .....	ii
DEDICACE.....	v
REMERCIEMENTS .....	vi
INTRODUCTION GENERALE.....	8
1. Objet de l'étude .....	9
2. Champs de l'étude.....	10
3. Choix et intérêt scientifique de l'étude .....	10
4. Problématique.....	12
5. Objectifs et formulation des hypothèses .....	12
6. Définition des concepts clés.....	13
7. Approche théorique .....	14
8. Etude de la dynamique morphosédimentaire des plages.....	14
9. Approche multi-scalaire .....	15
10. Revue de littérature de mmorphodynamique des plages de Libreville et Akanda.....	18
11. Organisation de la thèse .....	19
PREMIERE PARTIE : LE CONTEXTE PHYSIQUE ET D'APPROCHE METHODOLOGIQUE DE LA COTE NORD DE LIBREVILLE .....	21
CHAPITRE 1 : CADRE PHYSIQUE DE L'ETUDE.....	23
1.1. Cadre géographique.....	23
1.2. Cadre morphologique .....	26
1.2.1. Morphologie de l'arrière côte .....	26
1.2.2. Bathymétrie de l'estuaire du Komo .....	28
1.2.3. Morphologie et typologie des plages .....	33
1.2.4. Nature et répartition des sédiments.....	35

1.3. Cadre géologique.....	37
<b>CHAPITRE 2 : LES AGENTS DE LA DYNAMIQUE .....</b>	<b>41</b>
2.1. Cadre climatique.....	41
2.1.1. Les précipitations .....	42
2.1.2. Les vents.....	43
2.2. Cadre hydrographique .....	45
2.3. Les conditions hydrodynamiques .....	49
2.3.1. Vitesse et direction du courant dans l'estuaire du Komo.....	49
2.3.2. Les paramètres de la marée .....	55
2.3.3. Les houles, les vagues dans l'estuaire du Komo .....	58
2.3.4. Dérive littorale sur la rive droite de l'estuaire du Komo.....	61
2.4. Caractéristiques anthropiques de la zone d'étude.....	63
2.4.1. Les infrastructures routières .....	64
2.4.2. Les structures hôtelières, restaurants et villas privées.....	65
2.4.3. Les aménagements de protection côtière .....	67
<b>CHAPITRE 3 : LES METHODES ET TECHNIQUES D'ANALYSE .....</b>	<b>78</b>
3.1. Les outils et méthodes de collecte de données de terrain.....	78
3.1.1. Morphologie de la plage intertidale .....	78
3.1.2. Les données de sédimentologie.....	82
3.2. Les méthodes de traitement en laboratoire .....	84
3.2.1. Traitement de données morphologiques .....	84
3.2.2. Traitement des données de sédimentologie.....	95
<b>DEUXIEME PARTIE : LES PARAMETRES MORPHOLOGIQUES DE LA PLAGE INTERTIDALE DE LA COTE NORD DE LIBREVILLE.....</b>	<b>109</b>

CHAPITRE 4 : EVOLUTION MORPHOSEDIMENTAIRE DE LA PLAGES INTERTIDALE DE 2012 À 2015..... 111

4.1.	Analyse descriptive de l'évolution morphologique de la plage intertidale .....	111
4.1.1.	Les formes mineures sur le profil de plage .....	111
4.2.	L'évolution morphosédimentaire des plages intertidales .....	114
4.2.2.	Le suivi morphosédimentaire des plages du Lycée Léon Mba à Akouango Village de juillet à septembre 2015 .....	123
4.3.	Les bilans sédimentaires.....	130
4.3.1.	Bilan sédimentaire de 2012 à 2015 : Nord de la Baie d'Akouango.....	130
4.3.2.	Existe-t-il une variation saisonnière des bilans sédimentaires ? .....	140
4.3.3.	Le bilan sédimentaire des plages du Lycée Mba à Akouango Village entre juillet et septembre 2015 .....	145
4.3.4.	Les erreurs de calcul des bilans sédimentaires par la méthode des profils de plage	148

CHAPITRE 5: CINEMATIQUE DU TRAIT DE COTE DE L'HOTEL DIALOGUE A LA BAIE D'AKOUANGO DE 1977 A 2013..... 151

5.1.	Évaluation de la dynamique du trait de côte.....	152
5.1.1.	Variation de l'indice EPR pour la période 1977-2013.....	153
5.1.2.	Variation de l'indice LRR pour la période 1977-2013 .....	155
5.2.	Évolution périodique du trait de côte .....	156
5.3.	Vulnérabilité face au recul du trait de côte.....	160
5.4.	Prévision de l'évolution du trait de côte.....	163
5.6.	Calcul des bilans volumiques: approche basée sur l'aire .....	165
5.7.	Estimation de la marge d'erreur dans la dynamique du trait de côte .....	165

TROISIEME PARTIE : LES PARAMETRES SEDIMENTOLOGIQUES DE LA PLAGES INTERTIDALE DE LA COTE NORD DE LIBREVILLE..... 168

CHAPITRE 6: LES INDICES PARAMETRIQUES DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGE INTERTIDALE ..... 170

6.1.	L'analyse paramétrique .....	174
6.1.1.	Les indices pour les échantillons du bas de plage intertidale.....	175
6.1.2.	Les indices paramétriques pour les échantillons de la moyenne plage .....	178
6.1.3.	Les indices paramétriques pour les échantillons du haut de plage.....	180
6.1.4.	Variation des indices paramétriques suivant le profil longitudinal.....	183
6.1.5.	Environnement de dépôt des sédiments dans la baie d'Akouango .....	189

CHAPITRE 7 : LES CLASSES GRANULOMETRIQUES DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGE INTERTIDALE ..... 193

7.1.	Classes granulométriques pour les séries 2011 et 2012 .....	195
7.1.1.	Classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage séries 2011 et 2012	195
7.1.2.	Comparaison des Classes Granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage	199
7.1.3.	Comparaison des classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage	205
7.2.	Classes Granulométriques pour la série 2014.....	211
7.2.1.	Classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage série 2014 ...	211
7.2.2.	Classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage série 2014	215
7.2.3.	Classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage série 2014..	218
7.3.	Variabilité interannuelle pour les profils de références.....	220
7.3.1.	Variabilité interannuelle des classes granulométriques pour les échantillons du bas de plage.....	221

7.3.2.	Variabilité interannuelle des classes granulométriques pour les échantillons de la moyenne plage .....	222
7.3.3.	Variabilité interannuelle des classes granulométriques pour les échantillons du haut de plage .....	223
7.3.4.	Distribution des classes granulométriques suivant le profil longitudinal .....	225
<b>CHAPITRE 8 : APPROCHE MODALE DE L'ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGES INTERTIDALE.....</b>		<b>229</b>
8.1.	Le caractère modal.....	230
8.1.1.	Répartition du caractère modal par année .....	230
8.1.2.	Répartition du caractère modal par point de prélèvement et par année .....	231
8.1.3.	Répartition du caractère modal suivant le profil longitudinal et par année .....	233
8.2.	L'analyse modale.....	241
8.2.1.	La statistique des modes pour la série 2011 .....	241
8.2.2.	La statistique des modes pour la série 2012.....	245
8.2.3.	La statistique des modes pour la série 2014.....	248
8.2.4.	Comparaison des valeurs modales pour les profils de référence pour les séries 2011, 2012 et 2014.....	252
<b>CHAPITRE 9 : MORPHOSCOPIE, MINERALOGIE ET CALCIMETRIE DES SEDIMENTS SUPERFICIELS DE LA PLAGES INTERTIDALE.....</b>		<b>257</b>
9.1.	Morphoscopie des grains de quartz .....	257
9.1.1.	Morphoscopie des sables fins.....	257
9.1.2.	Morphoscopie des sables moyens .....	259
9.1.3.	Morphoscopie des sables grossiers .....	261
9.2.	Minéralogie des sables superficiels de la plage intertidale.....	266
9.2.1.	Les minéraux non argileux .....	266

9.2.2. Les minéraux lourds .....	267
9.2.3. Calcimétrie des sables superficiels de la plage intertidale .....	269
CONCLUSION GENERALE .....	274
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	286
Annexes .....	304
Table des figures .....	320
Table des tableaux .....	327
Table des photos.....	330
Table des annexes.....	333



**MOUYALOU Vivino Max Thierry, 2017. Dynamique morphosédimentaire d'un segment côtier sableux : du Lycée Léon Mba (Libreville) à la Sablière (Baie d'Akouango)- Université Omar Bongo. Thèse de Doctorat en Géomorphologie Littorale ; 339 p.**

**Résumé :** Face à la problématique de l'érosion côtière et ses dommages sur les activités socio-économiques au niveau des plages de Libreville et Akanda, la morpho-dynamique sédimentaire de la plage intertidale a été analysée de l'hôtel Dialogue à Akouango village au Nord de la baie d'Akouango. Cette étude a permis de mettre en évidence un ensemble de processus morphosédimentaires. Pour atteindre cet objectif global, l'approche méthodologique retenue a combiné les mesures des profils transversaux de la plage intertidale, la cinématique du trait de côte le tout couplé à des analyses sédimentologiques des sédiments superficiels. Le suivi des profils transversaux de la plage intertidale révèle un bilan sédimentaire globalement négatif oscillant entre -18,8 m<sup>3</sup>/m et +11,08 m<sup>3</sup>/m. Entre 1977 et 2013 la cinématique du trait de côte révèle des taux de variation compris entre -2,07 m/an à +1.78 m/an. Ces taux correspondent à 83% des plages en érosion contre 17% en accrétion. Les analyses granulométriques indiquent que 28% d'échantillons sont unimodaux, 51% bimodaux et, enfin, 21 % de trimodaux, fournissant des informations sur les processus de triage des sédiments par les courants côtiers lors des phases de transport et de sédimentation. Les plages étudiées se caractérisent par un déficit sédimentaire lié à la faiblesse des apports par les cours d'eau et les courants côtiers. De ce fait, les sédiments présents sur les plages proviennent essentiellement du remaniement depuis le haut de plage et l'avant plage. La dynamique morphosédimentaire des plages intertidales est influencée par la combinaison des forçages naturels à travers les variations saisonnières du climat et, anthropiques du fait de la forte empreinte humaine sur l'ensemble des plages étudiées. In fine, une meilleure connaissance de la dynamique côtière permet de mieux orienter les politiques dans la gestion intégrée de la zone côtière.

**Mots-clés :** érosion côtière- plage intertidale - trait de côte- sédimentologie - bilan sédimentaire- forçages anthropiques- Baie d'Akouango-Libreville.

**MOUYALOU Vivino Max Thierry, 2017. Morphosedimentary dynamic of a sandy beach: from lycee Léon Mba (Libreville) to La Sablière (Akouango Bay) -Université Omar Bongo. PhD in coastal Geomorphology; 339 p.**

**Abstract:** With regard to coastal erosion issue and its damages on socio-economic activities on Libreville and Akanda beaches, the morphosedimentary dynamic of intertidal beach was analyzed from hotel Dialogue to Akouango Village in the northern bay of Akouango. This study highlighted several morphosedimentary processes. To achieve this general goal, the methodological approach combines intertidal beach cross-shore profile analyses, shoreline motion analyses, and superficial sediment analyses. The cross-shore beach profile monitoring presents a global negative sedimentary balance between -18,8 m<sup>3</sup>/m and +11,08 m<sup>3</sup>/m . Between 1977 and 2013, shoreline motion reveals variation rates from -2,07 m/year to +1.78 m/year. These rates correspond to 83% eroded beaches against 17% accreted. Grainsize analyses show that 28% of samples are unimodal, 51% are bimodal and 21 % are trimodal, providing information about sediment sorting processes by coastal current during transport and sedimentation phases. Studied beaches are characterized by a sedimentary deficit due to a weakness of sediment supply by water bodies and coastal currents. Given this, sediments found on intertidal beaches come mainly from the remodeling from near shore and upper beach. The morphosedimentary dynamic of intertidal beach is influenced by the combination of natural (climatic seasonal variations) and anthropogenic factors (great human influences on coastal processes) on studied beaches. Finally, a better knowledge of coastal dynamic provides policy makers with tools for an integrated coastal management.

**Key-words:** coastal erosion - intertidal beach - shoreline - sedimentology -sedimentary balance- anthropogenic factors -Akouango bay-Libreville.