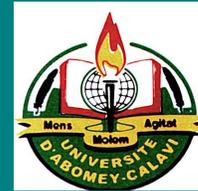




United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



Géomorphologie et érosion côtière dans le Golfe de Guinée



Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA - Chaire UNESCO)

Master of Science en Océanographie physique

Présenté par

M. DEGBE Cossi Georges Epiphane

Faculté des Sciences et Techniques (FAST)

Université d'Abomey-Calavi (UAC)

Cotonou, République du Bénin

ICMPA PUBLISHING © 2009

UNIVERSITE
PAUL
SABATIER



TOULOUSE, III



Institut de recherche
pour le développement

Université d'Abomey-Calavi (UAC), BENIN

Faculté des Sciences et Techniques (FAST)

Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications

(CIPMA - Chaire UNESCO)

Géomorphologie et érosion côtière dans le Golfe de Guinée

Mémoire de Master 2 en Océanographie physique

Présenté par

M. DEGBE Cossi Georges Epiphane

Encadreurs : - Pr. OYEDE Lucien Marc

- Dr. BOURLES Bernard

- M. DJIMAN Roger

Année académique 2008-2009

Cotonou, République du Bénin

Table des matières

	Pages
Remerciements.....	5
Sigles et abréviations.....	6
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	7
Liste des photos.....	8
Introduction.....	9
Méthodologie.....	11
Chapitre 1 : Généralités sur le littoral du Golfe de Guinée.....	12
I. Localisation de la zone d'étude.....	13
II. Contexte physique.....	14
2.1. Caractéristiques géomorphologiques.....	14
2.2. Aspects géologiques.....	16
2.3. Facteurs climatiques.....	18
2.4. Données océanographiques.....	19
2.4.1. Marée.....	20
2.4.2. Vagues et houles.....	20
2.4.3. Courants.....	20
Chapitre 2 : Dynamique sédimentaire dans le Golfe de Guinée.....	24
I. Bilan sédimentaire.....	25
1.1. Système côtier.....	25
1.2. Apports fluviaux.....	27
1.3. Transport de sédiments.....	27
1.3.1. Transport éolien.....	27
1.3.2. Transport littoral.....	28

1.3.3. Transport à travers les débouchés.....	29
1.3.4. Transport perpendiculairement à la côte.....	30
1.4. Remontée du niveau marin.....	31
1.5. Autres phénomènes.....	32
1.5.1. Dépôts biogènes.....	32
1.5.2. Dissolution, abrasion et précipitation.....	32
1.6. Bilan.....	33
II. Morphologie.....	33
2.1. Conditions générales de la côte.....	33
2.1.1. Côtes rocheuses.....	34
2.1.2. Côtes sableuses.....	35
2.1.3. Côtes deltaïques.....	35
2.2. Lagunes et débouchés.....	36
2.3. Estuaires.....	37
2.4. Quelques profils de côte.....	37
Chapitre 3 : Erosion côtière dans le Golfe de Guinée.....	39
I. Facteurs conditionnels de l'érosion côtière dans le Golfe de Guinée.....	40
1.1. Phénomènes hydrodynamiques.....	41
1.1.1. Vents.....	41
1.1.2. Vagues et houles.....	41
1.1.3. Courants littoraux.....	42
1.1.4. Courant de retour.....	43
1.1.5. Courant de marée.....	43
1.1.6. Elévation eustatique du niveau de la mer.....	44
1.2. Facteurs géologiques et géomorphologiques.....	45

1.2.1. Relief côtier.....	45
1.2.2. Largeur du plateau continental.....	46
1.2.3. Canyon sous-marin.....	46
1.2.4. Tectonique, subsidence.....	47
1.2.5. Caractéristiques des sédiments.....	48
1.3. Influences de l'homme.....	48
1.3.1. Construction des ports.....	48
1.3.2. Construction des barrages sur les fleuves.....	49
1.3.3. Extraction de sable.....	50
1.3.4. Destruction de la couverture végétale.....	51
1.3.5. Exploitation du pétrole et du gaz.....	52
II. Manifestations et conséquences de l'érosion côtière dans chaque pays.....	53
2.1. Côte d'ivoire.....	53
2.1.1. Zones sensibles touchées par l'érosion côtière.....	53
2.1.2. Causes de l'érosion côtière.....	55
2.1.3. Conséquences de l'érosion côtière.....	55
2.2. Ghana.....	56
2.2.1. Zones sensibles à l'érosion côtière.....	56
2.2.2. Causes de l'érosion côtière.....	57
2.2.3. Conséquences de l'érosion côtière.....	57
2.3. Togo.....	58
2.3.1. Zones sensibles à l'érosion côtière.....	58
2.3.2. Causes de l'érosion côtière.....	62
2.3.3. Conséquences de l'érosion côtière.....	63
2.4. Bénin.....	64

2.4.1. Zones sensibles à l'érosion côtière.....	64
2.4.2. Causes de l'érosion côtière.....	66
2.4.3. Conséquences de l'érosion côtière.....	67
2.5. Nigéria.....	69
2.5.1. Zones sensibles à l'érosion côtière.....	69
2.5.2. Causes de l'érosion côtière.....	71
2.5.3. Conséquences de l'érosion côtière.....	72
III. Etude de cas : Description du phénomène de l'érosion côtière à l'Est de Cotonou au Bénin.....	73
3.1. Présentation de la zone.....	73
3.1.1. Localisation de la zone.....	73
3.1.2. Climat.....	74
3.1.3. Hydrologie continentale.....	75
3.1.4. Géologie et pédologie.....	76
3.1.5. Océanographie.....	76
3.2. Dynamique sédimentaire et évolution du trait de côte.....	79
3.2.1. Aperçu des processus côtiers et la dynamique sédimentaire.....	79
3.2.2. Evolution du trait de côte.....	81
3.3. Actions de lutte contre l'érosion côtière.....	85
3.3.1. Actions antérieures.....	85
3.3.2. Actions en cours.....	86
Conclusion générale et recommandations.....	90
Revue bibliographique.....	92

Remerciements

Ce travail est le résultat de nombreux échanges et de collaboration avec des personnes, à qui j'aimerais exprimer toute ma reconnaissance sachant que ces quelques lignes sont insuffisantes pour résumer le précieux rôle qu'elles ont eu à jouer.

Je tiens à présenter ma gratitude à mes encadreurs, Professeur Lucien Marc OYEDE, Doyen de la Faculté des Sciences Techniques de l'Université d'Abomey-Calavi, Docteur Bernard BOURLES, Directeur de Recherche à l'Institut Français de Recherche pour le Développement et Monsieur Roger DJIMAN, Chef du Centre de Recherches Halieutiques et Océanologiques du Bénin, pour leur contribution et leur entière disponibilité à encadrer le travail et à m'accompagner dans mes efforts, malgré leurs multiples occupations. Je vous suis profondément reconnaissant pour avoir accepté de superviser ce travail.

Hommages respectueux !

Que les responsables du Programme Régional en Océanographie Physique en Afrique de l'Ouest et du Centre Béninois de la Recherche Scientifique et Technique acceptent les mêmes mots de reconnaissance pour leurs soutiens financiers.

Mes remerciements vont à l'endroit :

Des chercheurs du CRHOB pour leurs suggestions, conseils et critiques constructives qui ont été d'une grande importance dans l'amélioration de la qualité du travail.

Du personnel administratif du CRHOB et de la Chaire Internationale de Physique, Mathématique et Applications de l'Université d'Abomey-Calavi pour leur soutien.

Mes remerciements vont également à l'endroit :

Du professeur Angora AMAN de l'Université de Cocody à Abidjan pour ses conseils et son soutien.

De certains chercheurs du Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan pour leur soutien.

Sigles et Abréviations

PNUE	: Programme des Nations Unies pour l'Environnement
UNESCO	: United Nations Education Science Cultural Organisation
ONU	: Organisation des Nations Unies
ONUDI	: Organisation des Nations Unies pour le Développement Intellectuel
UEMOA	: Union Economique Monétaire Ouest Africaine
ODINAFRICA	: Réseau d'Echanges d'Information et de Données Océanographiques en Afrique
MCA	: Millennium Challenge Account
IGN	: Institut Géographique National
OUA	: Organisation de l'Unité Africaine
COI	: Commission Océanographique Intergouvernementale

Liste des figures

N°	Titre	Pages
1	Carte de localisation du Golfe de Guinée	13
2	Schéma de circulation superficielle et sub-superficielle dans l'Atlantique équatoriale dans l'Atlantique équatoriale Est et le Golfe de Guinée	20
3	Courant de dérive littorale et de jet de rive	21
4	Nomenclature du profil de plage	25
5	Sections typiques de la plaine côtière	37
6	Evolution du profil de plage sous l'effet de la surélévation du niveau de la mer	43
7	Valeurs mensuelles du niveau moyen de la mer mesuré à Takoradi au Ghana sur la période 1929-2007	44
8	Dynamique du littoral de la Côte d'Ivoire	53
9	Système côtier du Ghana	56
10	Littoral togolais	61
11	Littoral béninois	65
12	Vue générale de la zone	73
13	Régime des vagues au large	76
14	Quelques profils de plages	79
15	Comparaison du rivage et de la surface à l'Ouest du port	81
16	Comparaison du rivage et de la surface du port à l'épi Est	82
17	Comparaison du rivage et de la surface à l'Est de l'épi Est	83
18	Vue d'ensemble du projet : zone1	86
19	Vue d'ensemble du projet : zone2	87
20	Futurs rivages prévus pour 10 et 20 ans à l'avenir	88

Liste des tableaux

N°	Titre	Pages
1	Marées dans le Golfe de Guinée	18
2	Bilan sédimentaire du système côtier	26
3	Transit littoral observé et direction de la houle et de la côte	27

4	Perte de sédiments pour une remontée du niveau marin de 1,5 mm	31
5	Taux de sédimentation à partir du volume de la côte Holocène	32
6	Elévations de la marée à Cotonou, Bénin	77

Liste des photos

N°	Titre	Pages
1	Erosion des falaises à Takoradi	58
2	Recul du rivage avec destruction de la route côtière à l'Ouest de Kpémé	63
3	Démolition de bâtiment due à l'érosion côtière	68
4	Erosion côtière à Victoria Island après trois jours de tempête	72

Introduction

Les phénomènes qui ont constitué la côte du Golfe de Guinée et qui sont encore actifs aujourd'hui sont fortement influencés par :

- Les phénomènes océanographiques de l'océan Atlantique ;
- Les processus géophysiques des bassins versants des fleuves;
- Les phénomènes météorologiques de la zone côtière ;
- Les évolutions tectoniques lentes de la terre.

Au cours de ces dernières décennies, les interventions humaines sont devenues un facteur de plus en plus important dans l'évolution de la zone littorale, comme dans l'évolution d'un certain nombre de phénomènes extérieurs ayant des impacts sur cette zone.

A l'échelle de l'Afrique de l'Ouest et du Centre, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUÉ), dans le cadre de son programme pour les mers régionales, a pu identifier les problèmes d'érosion côtière auxquels étaient confrontés les 21 pays de cette région [1]. Il en ressort que les taux de recul de la ligne du rivage sont relativement importants dans le Golfe de Guinée (1 à 15 m) par an entre la Côte d'Ivoire et le Nigéria. Ces évolutions ont été signalées également dans les travaux de synthèse effectués dans le cadre du vaste projet régional sur le Grand Ecosystème Marin du Golfe du Guinée, piloté par l'ONUDI [1].

L'érosion côtière est un processus naturel souvent aggravé par des causes anthropiques. Elle a toujours existé et façonné les rivages tout au long de l'histoire. Son ampleur de nos jours sur les côtes africaines est telle qu'elle est citée dans le protocole additionnel n° 11 du traité de l'UEMOA comme un des phénomènes environnementaux majeurs.

Le phénomène d'érosion côtière touche l'ensemble des pays du Golfe de Guinée. L'érosion côtière est due à des facteurs naturels et anthropiques.

Les facteurs naturels sont liés à la géomorphologie des côtes (faible pente, substrat sableux) et à des phénomènes hydrodynamiques provenant de l'océan (remontée du niveau de la mer, courants, insuffisance des apports sédimentaires des fleuves, etc.).

Les facteurs anthropiques découlent des divers aménagements portuaires, des ouvrages sur la côte et des prélèvements divers (sables, graviers, etc.) entraînant ainsi la perturbation de l'équilibre naturel.

Le phénomène d'érosion côtière touche souvent les zones à forte concentration humaine, d'où des conséquences socio-économiques graves (destruction des plages, destruction des villages, destruction d'infrastructures industrielles et hôtelières, perturbation des activités de pêches, etc.).

Pour lutter contre ce fléau, les pays de la sous région ont entrepris des actions aux niveaux national et régional.

Le phénomène de l'érosion côtière est un problème sous-régional dont l'importance relative des multiples causes est encore peu connue. Cette érosion côtière, son amplitude et ses conséquences sont relativement peu documentées.

Ce document qui a été réalisé dans le cadre de notre stage en master 2 en océanographie physique, a pour objectif de faire une étude bibliographique la plus exhaustive possible au vu des documents/articles disponibles sur les systèmes côtiers, les manifestations et les causes potentielles de l'érosion côtière dans le Golfe de Guinée.

Cela nous a permis de faire le point des connaissances sur la dynamique sédimentaire du littoral dans le Golfe de Guinée, de recenser des données disponibles, de tenter d'en extraire une quantification de l'érosion, et d'évaluer ses différentes causes potentielles.

Il est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre porte sur les généralités sur le Littoral du Golfe de Guinée : ses caractéristiques géomorphologiques, géologiques, climatiques, hydrologiques et marines ;
- Le deuxième chapitre concerne la dynamique sédimentaire dans le Golfe de Guinée : le bilan sédimentaire et la morphologie de la région ;
- Le troisième chapitre va cerner le phénomène de l'érosion côtière dans le Golfe de Guinée : les facteurs conditionnels, géologiques et géomorphologiques, l'influence de l'homme, les manifestations et conséquences de l'érosion côtière. Une étude de cas du phénomène de l'érosion côtière à l'Est de Cotonou est présentée.

Méthodologie

Cette étude qui a pour objectif de faire une étude bibliographique la plus exhaustive possible au vu des documents/articles disponibles sur les systèmes côtiers, les manifestations et les causes potentielles de l'érosion côtière dans le Golfe de Guinée, a été menée en suivant la démarche méthodologique qui privilégie la recherche documentaire, des entretiens individuels, et l'observation directe.

La revue documentaire a été réalisée au niveau des centres universitaires et de recherches, des institutions publiques et privées, nationales ou régionales dont les activités sont en liaison avec l'objet de l'étude.

Cela a permis de parcourir les différents études et travaux menés au Bénin et dans la sous-région sur la thématique afin de faire le point des connaissances sur la dynamique sédimentaire du littoral dans le Golfe de Guinée, de recenser des données disponibles, de tenter d'en extraire une quantification de l'érosion, et d'évaluer ses différentes causes potentielles. Aussi a-t-il permis d'illustrer le phénomène pour la côte Est du Bénin.

Chapitre 1 : Généralités sur le littoral du Golfe de Guinée

I- Localisation de la zone d'étude

La partie de la côte du Golfe de Guinée concernée par l'étude s'étend sur 2000 km environ entre les méridiens 8°W et 9°E et autour du 5^e parallèle. Cette zone qui intéresse cinq (05) pays (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin et Nigéria), s'ouvre vers le Sud sur tout l'Atlantique Sud sans discontinuité jusqu'à l'Antarctique.

Les longueurs de côte dans chaque pays sont approximativement :

- Côte d'Ivoire550 km
- Ghana.....580 km
- Togo..... 50 km
- Bénin.....125 km
- Nigéria.....850 km

D'une manière générale, la zone côtière est basse, la courbe de niveau 100 m étant située entre 25 et 100 km à l'intérieur des terres. Il existe cependant des parties de côtes plus raides avec de petites baies et des plages étroites entre le Cap Palmas et Fresco et du Cap des Trois Points presque jusqu'à l'embouchure de la Volta. Le reste de la côte est composé de cordons littoraux de basse altitude, de marais et de lagunes. Cette zone est large d'environ 5 à 10 km, sauf dans les Delta de la Volta et du Niger, où la largeur atteint 25 à 30 km.

La basse plaine côtière du Golfe de Guinée (altitude maximum inférieure à 10 m) est constituée de plusieurs cordons littoraux séparés par de nombreux bas-fonds marécageux, de lagunes côtières peu profondes et de nombreux bras actuels ou anciens par lesquels se fait la circulation hydrologique.

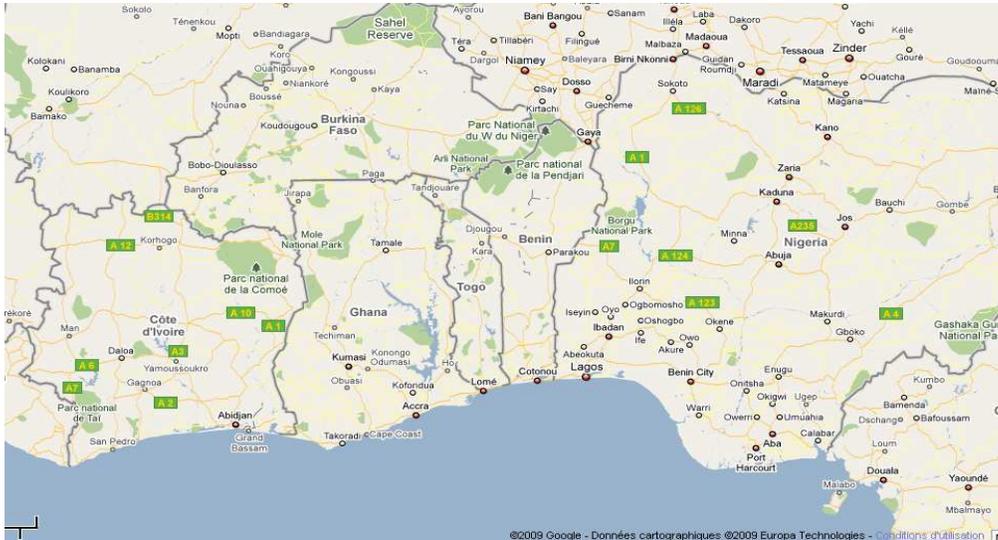


Figure n°1: Carte de localisation du Golfe de Guinée [37]

II- Contexte physique

La présente étude qui intéresse cinq (05) pays du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Ghana, Togo, Bénin et Nigéria) concerne une zone à caractères climatiques, géologiques, géomorphologiques et océanologiques. Il nous paraît donc utile, avant d'aborder les analyses spécifiques, de présenter le cadre général physique afin de rendre compte de l'ensemble des conditions naturelles de la zone.

2.1- Caractères géomorphologiques

Loin d'être un ensemble morphologique simple, le littoral du Golfe de Guinée est une zone de contact entre plusieurs cordons littoraux récents (sable rouge), les cordons anciens (sables gris), les lagunes côtières ou marais qui séparent les deux cordons et les glacis ogoliens (sables argileux jaunes).

Lors de la dernière grande transgression nouakchotienne (flandrienne en Europe), dont le maximum est daté de 6000 à 5000 ans B.P., la mer a envahi le continent près sur de 2,5 km en moyenne de même que l'ensemble du réseau hydrographique, créant ainsi un vaste système de rias. Le niveau de base étant élevé, les fleuves déposent les alluvions et bâtissent des deltas.

Les cordons sableux issus de la dérive littorale Ouest-est ferment les rias et créent des lacs et lagunes côtières ou des marais inondables en période de hautes eaux.

Dans l'ensemble, constituée par les pays côtiers du Golfe de Guinée concernés par l'étude, la zone côtière est généralement basse. Il faut signaler toutefois des parties de côte plus raides entre le Cap Palmas et Fresco et du Cap des Trois Points jusqu'au niveau de l'embouchure de la Volta. Le reste de la côte est composé de cordons littoraux de basse altitude, de marais et de lagunes. Cette zone a une largeur qui varie entre 5 km et 15 km environ.

De la Côte d'Ivoire au Nigéria on peut distinguer les domaines géomorphologiques ci-après [12] :

- Du Cap Palmas au Cap des Trois Points (Côte d'Ivoire et extrémité Ouest du Ghana) : côte humide, d'abord rocheuse, puis avec une plaine côtière, puis de nouveau rocheuse, avec un plateau continental étroit. De forme concave, elle s'étend sur 620 km. La côte est raide, avec des baies et des plages étroites sur 250 km jusqu'à Fresco. Suit une plage de sable ininterrompue sur 350 km jusqu'à Axim au Ghana. Sur les 20 derniers kilomètres cette côte est rocheuse, avec de petites baies. Le débouché le plus important, et stabilisé artificiellement, relie la lagune Ebrié à l'océan et sert d'accès au port d'Abidjan. Les autres débouchés, à Grand Bassam, Assinie et près d'Axim sont instables ;
- Du cap des Trois Points à la lagune de Lagos (Ghana, Togo, Bénin et Nigéria occidentale) : côte avec plaine côtière, quelque peu rocheuse vers l'ouest, et plateau de largeur variable, ce segment est caractérisé par la présence du grand delta du Volta. La côte est généralement raide avec des baies et des plages sur 275 km. Les baies s'élargissent et les plages deviennent plus longues vers l'Est. Dans cette partie de la côte, seule la rivière Pra présente une embouchure relativement stable. Les autres rivières sont petites et leur débit disparaît pendant la saison sèche. De grands ports artificiels ont été construits à Takoradi, Sekondi et Téma. Il existe un petit port ancien à Accra, environ un kilomètre à l'Est du débouché stabilisé de la lagune de Korle.

Le Delta de la Volta constitue une avancée de la côte, le bras principal débouchant à l'Ouest de cette avancée. Un cordon dunaire, localement très étroit, sépare la lagune de Kéta de la mer.

La côte concave entre les Deltas de la Volta et du Niger ressemble à celle de Fresco et Axim : cordons de sable devant des lagunes et des marais. Des ports ont été construits, leurs entrées protégées par des digues avançant dans la mer, à Lomé et à Cotonou. Les grands débouchés comme celui de Lagos sont stabilisés et servent de chenal d'entrée aux ports maritimes. Certains débouchés de taille plus modeste sont instables.

- Delta du Niger (Nigéria) : assez bien individualisé, étant donné l'important apport sédimentaire, il a un plateau de largeur moyenne. Un grand nombre de défluent et de petites rivières débouchent dans l'océan sur les 500 km du Delta du Niger. On dénombre à peu près une vingtaine de débouchés d'estuaires de ces défluent, qui interrompent les cordons dunaires séparant les mangroves de la mer. Les estuaires les plus importants, situés vers les deux extrémités du Delta, sont en dehors de l'influence directe du Niger. La rivière Cross, servant d'accès au port de la Calabar, débouche par un estuaire complexe qui s'étend de part et d'autre de la frontière entre le Nigéria et le Cameroun.

Plusieurs cours d'eau se jettent dans l'océan sur cette côte. Les principaux par pays sont :

- La rivière Sassandra, la Bandama et la Komoé en Côte d'Ivoire ;
- La Volta au Ghana ;
- Le Mono entre le Bénin et le Togo ;
- L'Ouémé au Bénin ;
- Le Niger au Nigéria.

2.2. Aspects géologiques

Au cours de la transgression inchiennienne (Ouljienne), la mer a atteint un niveau supérieur à l'actuel, a remanié les dépôts du continental Terminal (Mio-Pliocène) et y a développé une côte à falaise. Lors de la régression marine qui s'ensuivit (Ogolien ou Préflandrien en Europe) dont l'amplitude a dépassé 100 m, sous un climat beaucoup plus sec que l'actuel, les dépôts du Continental Terminal ont été remaniés par la mer et se sont étalés sur les aires alors émergées. Un épandage fluviale de matériaux issus de la terre de barre est alors mis en place lors du maximum de la régression ogolienne, entre 18 000 et 17 000 ans B.P. (FAURE et ELOUARD, 1967 dans [26]), formant un glacis sablo-argileux qui se raccorde aux plateaux du Continental Terminal, tantôt, par un talus net, tantôt par une lagune ou un lac.

La formation de la côte de l'Afrique de l'Ouest remonte au début du Crétacé, il y a 135 millions d'années environ, à l'époque où l'Amérique du Sud s'est détachée de l'Afrique. Les deux continents se sont progressivement écartés, pour former l'Océan Atlantique. Cette mer n'avait que la moitié de sa largeur actuelle au début du Tertiaire, il y a environ 65 millions d'années.

Le schisme a divisé un grand bouclier d'âge précambrien, constitué essentiellement de granites durs, de granodiorites, de laves métamorphosées et de roches pyroclastiques. Ces formations constituent encore la plus grande partie de l'Afrique Occidentale. Quelques grès

et schistes de l'Ordovicien, du Silurien et du Dévonien recouvrent le bassin de la Volta et de petites zones côtières du Ghana. Les bassins du Niger et de la Bénoué, qui correspondent en âge avec l'ouverture de l'océan Atlantique, sont recouverts de sédiments jurassiques et crétacés.

Les dépôts tertiaires sont présents derrière et en dessous de la plaine côtière plus récente. Ces argiles sableuses forment un plateau entre 20 et 70 m d'altitude, entrecoupé par les rivières au cours du Pléistocène. Il est étroit le long de la Côte d'Ivoire et s'élargit entre la Volta et le Niger. Il constitue également la majeure partie de ce delta, de part et d'autre du grand fleuve. Ces formations donnent lieu à des falaises de grès tendre le long de la côte entre Sassandra et Fresco en Côte d'Ivoire et à l'Est d'Accra au Ghana.

Les dépôts du Pléistocène et plus récents forment la dernière bande de la côte avant la mer, constituée de plages, de cordons dunaires, de lagunes et de marais, s'élevant quelques mètres au-dessus du niveau de la mer. La largeur de cette bande varie entre quelques mètres, dans quelques petites baies, et quelques kilomètres le long des parties sableuses de la Côte d'Ivoire et des côtes du Togo, du Bénin et de l'Ouest du Nigéria. La partie la plus récente du Delta du Niger a entre 10 et 35 km de large, tandis que la partie récente du Delta de la Volta est moins large. Ces sédiments recouvrent également les vallées du Pléistocène qui pénètrent à l'intérieur, et s'étendent par endroits sur les plages elles-mêmes.

Les phénomènes dépositionnaires du Pléistocène et plus récents sont fortement influencés par les variations relatives au niveau de la mer. Les époques glaciaires ont entraîné un abaissement du niveau de la mer de l'ordre de 100 m, les cours d'eau entaillant de ce fait la zone côtière. En contrepartie, les hauts niveaux de la mer (encore plus hauts qu'aujourd'hui) au cours des périodes interglaciaires ont entraîné chaque fois le remplissage par de nouveaux dépôts des parties basses du relief formé pendant la période précédente de basse mer.

La dernière époque glaciaire s'est terminée il y a 12 000 ans environ. La mer avait quasiment atteint son niveau actuel entre 6000 et 5000 B.P. Depuis cette époque, seules de faibles oscillations se sont produites. Le taux actuel de montée annuelle du niveau de la mer est estimé entre 1 et 2 mm par an.

A cette évolution eustatique globale du niveau de la mer s'ajoute localement le mouvement tectonique vertical de la zone côtière. L'enfoncement du bord du Plateau Continental provoque l'effondrement de la côte de l'Afrique de l'Ouest [].

Le Plateau Continental est étroit, et présente les largeurs suivantes :

- 20 à 25 km le long de la Côte d'Ivoire et des côtes du Togo, du Bénin et du Nigéria occidental ;
- 20 à 80 km entre le Cap des Trois Points et le Delta de la Volta ;
- 50 à 65 km devant le Delta du Niger.

On distingue des fosses sous-marines profondes au large du Canal de Vidri en Côte d'Ivoire (Trou-Sans-Fond) et au large du Nigéria occidental (Avon Deep). D'autres structures semblables sont indiquées au large du Delta du Volta, de la côte Ouest du Delta du Niger (Mahin Canyon) et de l'estuaire de Calabar.

2.3. Facteurs climatiques

Le climat le long de la côte d'Afrique de l'Ouest est du type équatorial, avec de grands écarts entre les quantités et la distribution saisonnière des précipitations. Des pluies annuelles de plus de 1500 mm/an alimentent les forêts tropicales le long de la Côte d'Ivoire et à l'Ouest du Ghana, comme à l'Est de Cotonou. Il y a deux périodes de pluviométrie maximale (mai-juin et octobre-novembre), sauf à l'extrémité Ouest de la zone d'étude, où la mousson donne lieu à une seule longue saison humide. La partie centrale de la côte (entre Takoradi et Cotonou) est sèche, la pluie moyenne ne dépassant 1000 mm, et la végétation est du type savane. Le climat devient de plus en plus sec (avec un seul maximum d'humidité) au fur et à mesure que l'on pénètre à l'intérieur, en direction du Sahara.

La variation de température est faible. Le maximum journalier moyen varie entre 27 et 29°C en août/septembre et entre 31 et 33°C en février-mars. Le minimum journalier moyen est dans la fourchette 21-22°C en août et 23-24°C en mars.

Le régime des vents est caractérisé par une mousson persistante du Sud-ouest, modifiée par les brises de terre et de mer dans la zone côtière. La vitesse des vents varie entre 0,5 m/s (pendant la nuit) et 1,5 à 2 m/s (pendant le jour) le long de la Côte d'Ivoire, et s'accroît pour atteindre respectivement 0,5-2,5 m/s et 2-6 m/s au Nigéria. Les tempêtes sont très rares. Des coups de vents de courte durée accompagnés de fortes pluies se produisent occasionnellement. Pendant l'hiver, l'harmattan, vent chaud et sec, souffle parfois du Nord-est, lorsque la zone de convergence intertropicale s'écarte de sa position normale au Sud vers 5°-7°N.

L'évaporation et l'évapotranspiration consomment une grande partie de la précipitation, surtout dans la partie centrale de cette côte et à l'intérieur pendant les saisons sèches. Les petites rivières côtières n'ont pratiquement plus de débit pendant la longue saison sèche. Les plus grandes ont leur débit de pointe en août-octobre, et des débits faibles pendant le reste de l'année. L'évaporation dans les lagunes et les marais le long de la côte réduit

encore le débit résiduel aux débouchés en mer, à tel point que celui-ci devient parfois négatif.

2.4. Données océanographiques

La côte de l'Afrique de l'Ouest s'ouvre sur l'Atlantique Sud. Le Plateau Continental est étroit, et il n'y a aucune île au large pour protéger la côte contre les effets ravageurs de l'océan : marées, courants et houle.

2.4.1. Marée

La marée est issue de l'action gravitationnelle de la lune et du soleil sur les océans. La marée de type semi-diurne a lieu de manière pratiquement synchrone sur toute cette côte, l'amplitude moyenne étant de l'ordre de 1 m, avec les valeurs plus fortes à l'extrémité Est de la région (tableau n°1). L'onde de la marée est modifiée (amplitude réduite, déformation et retardement) quand elle pénètre dans les lagunes et les estuaires.

Tableau n°1: Marées dans le Golfe de Guinée

	Amplitude (m)			Phase
	Mortes-eaux	Moyenne	Vives-eaux	
Monrovia	0,54	0,82	1,10	193°
Canal de Vidri	0,42	0,58	0,84	140°
Takoradi	0,58	0,90	1,22	107°
Accra	0,62	0,94	1,26	107°
Téma	0,64	0,96	1,28	107°
Lomé	0,68	1,00	1,32	108°
Cotonou	0,68	0,98	1,28	133°
Lagos Bar	0,48	0,74	1,00	135°
Forcados	0,64	0,96	1,30	131°
Bonny Bar	0,95	1,36	1,78	129°
Rio del Rey (entrée)	1,10	1,68	2,26	146°

Source: [26]

2.4.2. Vagues et houles

L'agitation qui atteint la côte a deux origines bien distinctes :

- La mer de vent générée par la mousson locale, relativement faible ;
- La houle engendrée par les tempêtes levées dans l'Atlantique Sud.

Les vagues engendrées localement dépassent rarement 1,25 m de hauteur, et la période maximale est de 3 à 4 secondes. Ces vagues sont généralement plus faibles. Elles proviennent du Sud-ouest, c'est-à-dire la même direction que le vent.

Les tempêtes se produisent dans les "quarantièmes rugissants" toute l'année, mais leur violence est maximale pendant l'hiver de l'hémisphère Sud. La période de la houle ainsi engendrée peut varier entre 8 et 20 secondes, avec une moyenne de 12 à 13 secondes. Leur hauteur en eau profonde est en moyenne de 1 à 1,5 m, mais des hauteurs de 2 à 3 m sont observées. Cette houle provient du secteur compris entre le Sud et le Sud-ouest.

La houle la plus fréquente provient du secteur du Sud, avec un impact significatif sur la côte. Les caractéristiques de la houle sont aussi variables que leur source, à savoir les tempêtes dans l'Atlantique Sud. Les houles longues sont particulièrement affectées par la diminution des fonds ; elles sont ainsi accentuées sur les faibles fonds près de la côte, où elles produisent de hautes vagues déferlantes.

2.4.3. Courants

- Courants généraux

De manière schématique, la circulation océanique superficielle au large de l'Afrique de l'Ouest et du Centre est dominée par deux grandes circulations giratoires (anticycloniques) de sens opposé (en vertu de la force de Coriolis) et situées, l'une dans l'hémisphère nord, l'autre dans l'hémisphère sud. On observe ainsi :

- Au nord (fig.2), le courant froid du Portugal et/ou des Canaries portant vers le Sud en suivant les côtes de Mauritanie et du Sénégal, qui se réchauffe progressivement et bifurque en deux branches opposées :
 - Le Courant Nord-Equatorial dirigé vers l'Ouest ;
 - Le Courant de Guinée qui continue de longer la côte africaine s'infléchissant progressivement vers l'Est pour fusionner avec le Contre Courant Equatorial qui transporte vers l'Est les eaux chaudes et salées formées sur le bord sud du tourbillon Nord-Atlantique ;
- Au Sud (fig.2), le courant froid de Benguela, qui longe les côtes d'Angola en remontant vers le Nord et se prolonge dans le Golfe de Guinée par le Courant Sud-Equatorial qui porte vers l'Ouest ; ce dernier est bordé au Sud par le Contre Courant Sud-Equatorial qui se scinde en deux branches, le Courant d'Angola dirigé vers le Sud où il interfère avec le Courant de Benguela, et le courant des alizés qui se dirige vers le Nord.

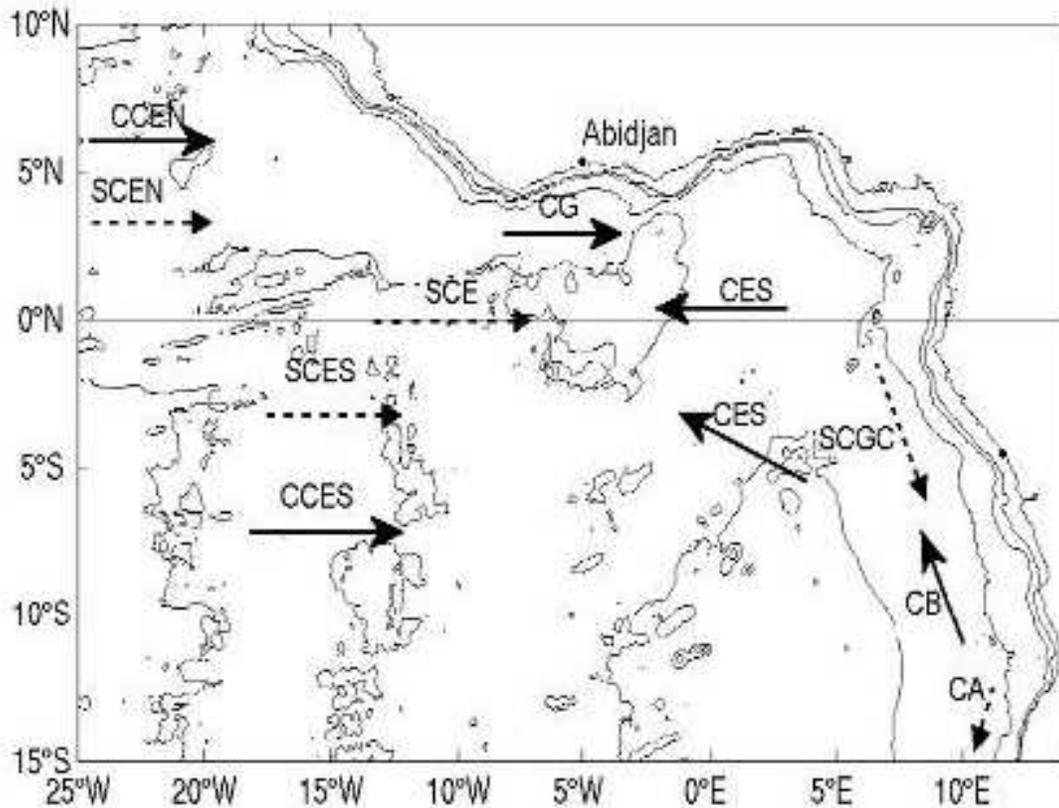


Figure n°2 : Schéma de circulation superficielle et sub-superficielle dans l'Atlantique équatorial Est et le Golfe de Guinée (*d'après Bourlès, 2004*).

- Courants de surface (flèches avec traits pleins) : Contre Courant Equatorial Nord (CCEN) ; Courant de Guinée (CG) ; Contre Courant Equatorial Sud (CCES) ; Courant Equatorial Sud (CES) ; Courant du Benguela (CB).
- Courants de sub-surface (flèches avec traits tirets) : Sous Courant Equatorial Nord (SCEN) ; Sous Courant Equatorial (SCE) ; Sous Courant Equatorial Sud (SCES) ; Sous Courant du Gabon-Congo (SCGC) ; Courant d'Angola (CA).

Source : [8]

- Courant de marée

Les courants de marée ont lieu dans les débouchés et estuaires. A ces endroits la rencontre des eaux fluviales et de l'eau de mer engendre également des courants de densité.

- Courants engendrés par la houle

L'action de la houle engendre des courants, importants dans le transport des sédiments dans la zone littorale. Ce sont : le courant de dérive littorale, le courant de jet de rive, les Rips-currents (Courant de retour ou courant d'arrachement).

- **Courant de dérive littorale** (figure n°3)

La houle qui vient du large arrive rarement perpendiculairement à la côte du fait de l'orientation de cette dernière, induisant toujours un angle d'incidence ; elle perd son énergie par frottement sur le fond et est susceptible de créer un courant parallèle aux lignes bathymétriques (ou dérive littorale ou courant côtier ou encore "rivière littorale") par suite de sa réfraction sur le fond. Sa vitesse dépend de l'angle d'incidence sur le rivage, qui varie entre 4° et 9° avec une moyenne autour de 6° - 7° . Cette action est vraiment importante dans la zone de dissipation d'énergie maximum, c'est-à-dire la zone de déferlement et d'estran.

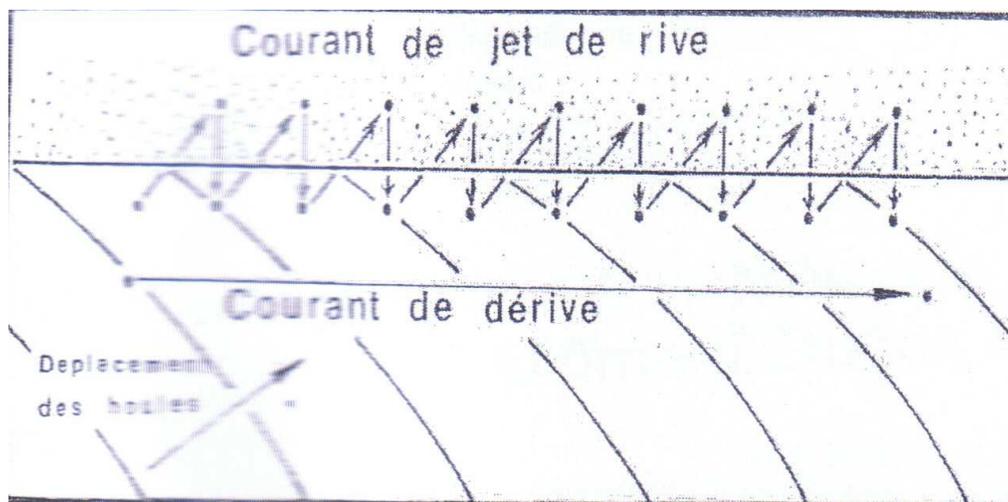


Figure n°3: Courant de dérive littorale et de jet de rive [12]

- **Courant de jet de rive** (figure n°3)

Ce courant, produit par déferlement de la houle sur l'estran, peut transporter parallèlement à la ligne de rivage le sable sur l'estran. En effet, lors de la projection de l'eau sur l'estran, les matériaux (sables) sont remontés dans la direction de la lame d'eau. L'eau en redescendant le long de la plage sous l'effet de la pesanteur re-entraîne les matériaux suivant la ligne de plus grande pente.

- **Rips-currents (courant de retour ou courant d'arrachement)**

Ces courants ou courants de régente sont des courants temporaires dirigés de la côte vers le large. Ils évacuent le surplus d'eau vers le large et peuvent transporter des quantités importantes de sédiments perpendiculairement à la ligne de rivage.

Chapitre 2 : Dynamique sédimentaire dans le Golfe de Guinée

I. Bilan Sédimentaire

1.1. Système côtier

Le système côtier est composé de deux parties distinctes, à savoir :

- Le rivage lui-même, qui s'ouvre vers l'océan et qui subit directement les effets de la mer, notamment ceux des vagues ; il comprend la face subaérienne du rivage (plage) ainsi que la partie active des petits fonds ; cette zone morphologiquement significative a une hauteur et une largeur bien délimitées ;
- La plaine côtière, constituée d'anciens cordons dunaires, de lagunes, de marais et d'estuaires, à l'intérieur des terres tout en demeurant hydrauliquement influencée par la mer.

Les débouchés et les estuaires relient la plaine côtière au rivage. Du point de vue géologique, la plaine côtière et le rivage datent de l'Holocène. Les promontoires rocheux soumis à érosion sont des exceptions.

Le système côtier s'est formé essentiellement pendant la période de 5000 à 6000 ans de stabilisation de la mer à un niveau quasiment constant, depuis le retrait rapide de la mer à l'époque flandrienne. Les sédiments comblent les espaces entre la surface de la terre au Pléistocène et la géométrie actuelle de la plaine et le fond des eaux. Cette définition claire du développement spatial du système permet des considérations générales sur l'équilibre des sédiments concernés par le phénomène.

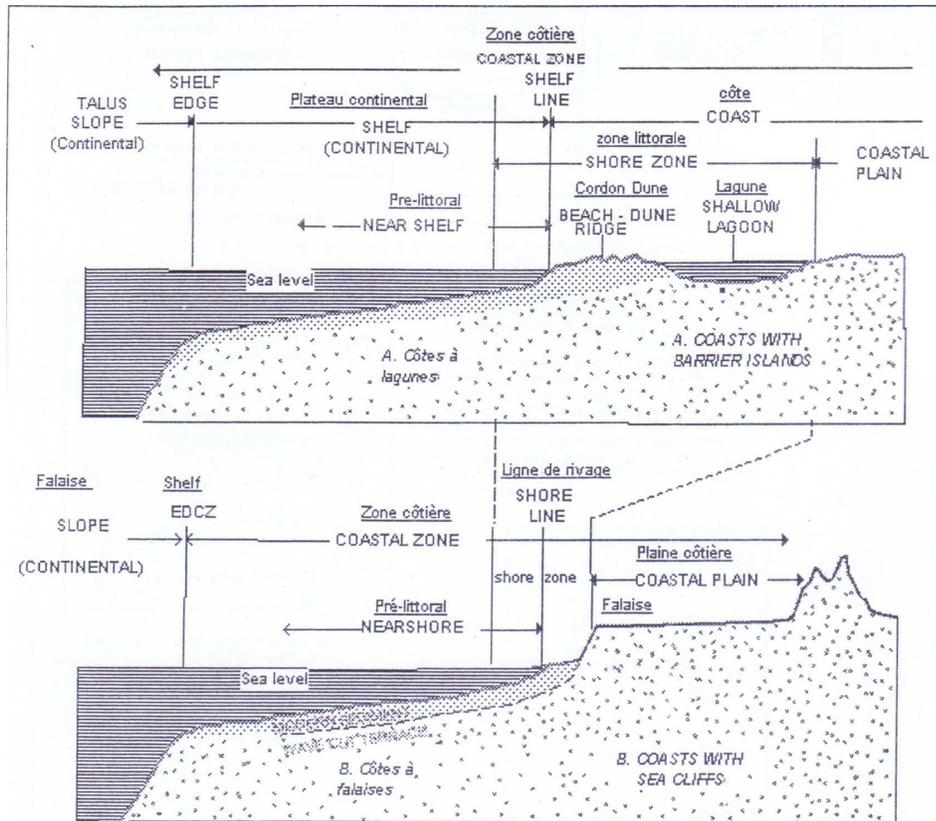


Figure n°4: Nomenclature du profil de plage [11]

Les principaux éléments de l'équilibre sédimentologique et les effets géomorphologiques sont énumérés dans le tableau n°2 pour l'ensemble du système et pour ses deux parties constituantes. Les principaux apports de sédiments proviennent soit des fleuves, soit de l'érosion côtière. Les principales pertes sont dues au transport littoral et à la remontée relative du niveau de la mer qui favorise l'érosion côtière.

- La largeur de l'estran est importante ;
- Les sables sont secs et non fixés par la végétation.

Comme les vents dans la région sont faibles, le transport éolien de sédiments est considéré comme étant peu important dans les processus sédimentologiques de la côte.

1.3.2. Transport littoral

Quand la houle se présente obliquement par rapport au rivage, l'essentiel du transport des sédiments se fait longitudinalement, en raison de la formation entre la zone du déferlement et le rivage, de la dérive littorale à forte capacité de transport solide par charriage et suspension lors des tempêtes.

Tandis que les cours d'eau fournissent la majeure partie des apports sédimentaires à la côte, c'est le transport littoral qui est le principal mode de déplacement des sables le long de la côte. Les sédiments fins sont transportés en suspension. Les matériaux plus grossiers constituent la plage et le fond de la mer dans la zone proche du littoral. Les vases se déposent dans les eaux moins turbulentes, plus au large et dans les lagunes et marais.

Le transport littoral de sable est provoqué essentiellement par l'action incessante des vagues, et surtout par celle de la houle atlantique. La persistance et l'énergie de cette houle conduisent aux taux de transport littoral les plus élevés du monde. L'engraissement et l'érosion corrélatifs du littoral constatés au niveau d'ouvrages construits par l'homme (canal de Vidri, port de Lomé, port de Cotonou, et entrée du port de Lagos) permettent une estimation fiable de ce transport littoral. Le tableau n°3 résume les données sur ces sites. Pour chaque site sont indiqués également la direction de la perpendiculaire à la côte, la direction de la houle au large et l'angle d'incidence de la houle (Φ) [10].

Tableau n°3: Transit littoral observé et direction de la houle et de la côte

Site	Transit (Mm ³ /an)	Direction normale à la côte (degré N)	Direction houle (degré N)	Incidence en degré
Canal de Vidri Ouest	0,8	172	200	28
Canal de Vidri Est	0,4	188	200	12
Côte d'Ivoire est	0	192	200	8
Port de Lomé	1,0 - 1,2	160	210	50
Port de Lagos	0,5 – 1,0	177	220	43

Delta Ouest du Niger	0	220	220	0
Sommet Delta du Niger	0	205	220	15

Source :[10]

Le rapport entre le transport des sédiments et l'action de la houle appelle les remarques suivantes, concernant le transit littoral de sable le long de cette côte [10]:

- Les parties rocheuses de la Côte d'Ivoire et de la côte du Ghana ont une capacité de transport d'environ 0,85 Mm³/an, ce qui dépasse de loin l'apport de sable à la côte. Le transport réel est en définitive à peu près équivalent aux apports, et il ne se produit aucune accumulation ;
- Les deux côtes sableuses longues et concaves situées entre le Cap Palmas et le Delta du Niger sont soumises à un transport littoral vers l'Est, dont le taux décroît progressivement en partant de l'Ouest vers l'Est. La Côte d'Ivoire est alimentée par la côte rocheuse et par quelques cours d'eau et la côte entre le Delta de la Volta et le Nigéria occidental reçoit son sable de la côte ghanéenne et de la Volta. Le décroissement progressif du taux de transport laisse supposer qu'un engraissement global se produit sur ces côtes. Les volumes de transport et des apports sont à peu près cohérents.
- Le sable s'écarte de l'embouchure principale du Niger, en longeant les deux flancs du vaste Delta. L'interruption de la côte par de nombreux débouchés soumis à la marée réduit probablement le transport à une valeur en dessous de 0,5 Mm³ dans chaque direction. Le total correspond bien à la partie du débit solide du Niger qui atteint la côte par la rivière Num. L'extrémité Est de la Côte d'Ivoire et les deux flancs du Delta du Niger connaissent un faible transport littoral et un engraissement minimal.

1.3.3. Transport à travers les débouchés

La plupart des débouchés en mer sont en fait des embouchures de cours d'eau, à travers lesquelles les débits liquides et solides résiduels (non retenus dans les lagunes, marais ou estuaires) se jettent à la mer ; ces débits étant significatifs surtout pendant la période de hautes-eaux. Le sens du transport de sédiments peut en revanche être inversé pendant les périodes d'étiage (saison sèche). C'est alors que la propagation des marées et les courants

de densité entraînent des échanges d'eau entre la mer et les plans d'eau intérieurs, favorisant les dépôts (surtout des sédiments plus fins) dans les zones les plus calmes des estuaires, lagunes et marais.

Les quantités de sédiments impliquées dans ces phénomènes d'échange dus aux effets conjugués de la marée et des variations saisonnières de débit sont considérables, et augmentent avec le prisme de marée du système. Le processus contribue à maintenir l'équilibre morphologique de la plaine et du littoral. Dans la plupart des cas, le transport résultant est vers la mer, mais il peut s'effectuer vers l'intérieur dans le cas de lagunes qui ne subissent pas, même pendant la saison des pluies, l'effet de chasse d'un cours d'eau. Dans ce cas, les dépôts sur la plaine proche de la mer sont plus importants que l'apport en sédiments des cours d'eau. Dans les autres cas, le débit à long terme vers la mer est égal au débit solide des cours d'eau, moins le volume retenu dans la plaine côtière.

1.3.4. Transport perpendiculairement à la côte

Les vagues et les courants associés provoquent un déplacement continu de sédiments de et vers le littoral dans la zone active, où l'énergie des vagues est suffisante pour entraîner les sédiments. Dans les conditions rencontrées le long de la côte d'Afrique de l'Ouest, le seuil au-delà duquel les vagues n'entraînent plus les sédiments se situe théoriquement autour de la courbe bathymétrique -30 m, mais les mouvements significatifs par rapport à la dynamique sédimentaire de la côte se situent dans les fonds de -10 à -15 m [10].

D'une manière générale, le profil de la côte est en équilibre dynamique avec le régime de la houle. Ceci signifie qu'il s'adapte continuellement aux variations de l'attaque de la houle. On peut estimer que les sédiments mis en jeu dans ce processus n'occasionnent qu'un léger transport résultant vers le large.

La situation est tout autre, en revanche, dans le cas d'une côte qui engraisse ou qui recule. Le profil se déplace alors perpendiculairement à la côte. Une telle modification est généralement due à un gradient dans le transport littoral qui se produit dans la zone de déferlement proche de la côte. Le transport perpendiculaire à la côte a pour effet de distribuer les sédiments sur les parties plus profondes de la plage active.

Une côte qui engraisse, surtout au niveau d'un port ou d'un delta, est généralement raide et atteint une grande hauteur (Cap Saint-Paul), tandis que les côtes qui reculent sont plus plates (Keta), la limite de l'érosion active étant située à une moindre profondeur. Il s'ensuit

qu'un engraissement d'un mètre par kilomètre de côte peut requérir 15 000 m³ de sédiments, alors que le retrait équivalant d'un mètre ne libère que 10 000 m³ [10].

Un type particulier de transport de sédiments dans le profil est provoqué par certaines fosses sous-marines situées à proximité du littoral.

Un exemple est le Trou Sans Fond, situé à moins d'un kilomètre de la côte au droit d'Abidjan. La forte courbure de la côte et le changement du transport littoral de quelque 400 000 m³ par an indiquent un déplacement des sédiments vers cette fosse. Il n'y a aucun de ce type, en revanche, au large du Delta du Volta, ni à la fosse d'Avon au Nigéria (12 km du littoral), ni au large du Delta du Niger [10].

1.4. Remontée du niveau de la mer

En toute rigueur, une variation du niveau de la mer ne devrait pas modifier la quantité de sédiments constituant le système côtier. Cependant, le système réagit en redistribuant les sédiments. Il tend à maintenir le profil en travers de la plage autour du niveau moyen de la mer, ce qui entraîne une remontée de la zone active égale à la remontée du niveau de la mer. Si aucun apport de sédiments ne se produit, ceci a pour impact le recul de la ligne de côte. La perte apparente de sédiments est proportionnelle à la largeur de la partie active de la côte.

Un autre impact de cette remontée du niveau de la mer est l'exhaussement de certaines zones de la plaine côtière, par la pénétration de sédiments dans les estuaires et les lagunes. Des estimations de pertes apparentes ont été faites pour la totalité de la côte en supposant une largeur active de 250 m le long des côtes rocheuses et 100 m sur les plages de sable. Le tableau n°4 donne le résultat pour une remontée de la mer de 1,5 mm, qui est actuellement à peu près le taux annuel de remontée [10].

Tableau n°4: Perte de sédiments pour une remontée du niveau marin de 1,5 mm

Côte	Plage		Plaine côtière	
	Longueur (km)	Volume (Mm ³)	Superficie (km ²)	Volume (Mm ³)
<u>Côte d'ivoire</u>				
Roches	250	0,09	20	0,03
Sable	<u>370</u>	<u>0,56</u>	<u>2 500</u>	<u>3,75</u>
Total	620	0,65	2 520	3,78
<u>Côte du Ghana</u>				
Roche	315	0,12	60	0,09
<u>Volta-Ouest Nigéria</u>				
Delta	70	0,10	600	0,9
Côte	<u>345</u>	<u>0,52</u>	<u>3 500</u>	<u>5,25</u>
Total	415	0,62	4 100	6,15
<u>Delta du Niger</u>				
Sable	500	0,75	5 000	7,5
<u>Estuaire Cross</u>				
Sable	70	0,1	1 200	1,8
Total	1920	2,24	12 880	19,3

Source : [10]

1.5. Autres phénomènes

1.5.1. Dépôts biogènes

La production de coquillage ou de corail, qui pourrait s'ajouter aux apports sédimentaires, est considérée comme étant très faible. Par ailleurs, des dépôts de tourbe ont pu se constituer au cours de la formation de la plaine à l'Holocène; les quantités sont inconnues, mais sont supposées faibles.

1.5.2. Dissolution, abrasion et précipitation

Les types de sédiments (fines, silicates) rencontrés le long de la côte d'Afrique de l'Ouest sont réputés résistants à la dissolution et à l'abrasion. La précipitation semble limitée à de faibles quantités de calcite dans les grès de plage (beach rock).

1.6. Bilans

La plaine côtière récente et le littoral correspondant se sont formés pendant les 5000 ans de l'Holocène. Une estimation du volume de dépôts a été faite. Les résultats sont résumés dans le tableau n°5.

Tableau n°5: Taux de sédimentation à partir du volume de la côte Holocène

Côte	Surface de la plaine (km ²)	Hauteur (m)	Volume (Mm ³)	Taux de dépôt (10 ³ t/an)
<u>Côte d'ivoire</u>				
Rocheuse	20	10	1	
Sableuse	2 500	40	50	
Total	2 520		51	20 000
<u>Côte ghanéenne</u>				
Rocheuse	60	20	0,6	2 400
<u>Volta-Ouest Nigéria</u>				
Delta	600	40	12	
Côte	3 500	20	35	
Total	4 100		47	19 000
<u>Delta du Niger</u>				
Sableuse	5 000	40	100	40 000
<u>Estuaire du Cross</u>				
Sableuse	1 200	30	18	7 200
Total	12 880	-	217	88 600

Source : [10]

Les superficies des plaines côtières sont estimées à partir des cartes topographiques. Leur hauteur est obtenue à partir des cartes bathymétriques et des données sur la composition des fonds.

II. Morphologie

2.1. Conditions générales de la côte

La partie de la côte d'Afrique de l'Ouest concernée se décompose en trois secteurs distincts :

- La Côte d'Ivoire avec sa forme concave entre le Cap Palmas et le Cap des Trois Points. Sa partie occidentale est rocheuse, mais à partir de Fresco une plage de sable s'étend pratiquement jusqu'à l'extrémité Est ;
- La côte depuis le Ghana jusqu'au Nigéria occidental, avec une forme concave semblable entre le Cap des Trois Points et le Delta du Niger. Cette côte est interrompue par le Delta de la Volta. Cette côte présente également une partie rocheuse à son extrémité Ouest, tandis que les plages prédominent depuis le Delta de la Volta vers l'Est ;
- La côte convexe du vaste Delta du Niger, présentant des plages et les embouchures des estuaires. Cette côte se termine à l'Est avec l'estuaire de la rivière Cross.

Cette décomposition conduit à retenir trois types de côte caractéristiques : les deux côtes rocheuses et les deux côtes sableuses et deux côtes au niveau des Deltas.

2.1.1. Côtes rocheuses

Les deux côtes rocheuses de Côte d'Ivoire et du Ghana sont orientées pratiquement parallèlement, WSW-ENE. Elles reçoivent toutes les deux un faible apport de sédiments, qui est moins important que la capacité de transport littoral. Très peu de sable s'est accumulé le long de ces côtes.

Les reliefs du Pléistocène, disposés perpendiculairement à la côte, apparaissent maintenant comme des promontoires rocheux. Les vallées intermédiaires sont fermées par des cordons de sable, constituant ainsi des lagunes dans la partie basse des vallées.

En raison du transport littoral important de sable vers l'Est, les plages se sont formées sur de faibles longueurs contre les bords Est des promontoires suivant un arc passant sous la pointe Ouest et légèrement en retrait. Ce processus a donné lieu à la configuration caractéristique "en marches d'escalier" de la côte.

Ces côtes sont essentiellement soumises à l'érosion. Les fortes vagues n'ont pratiquement pas d'impact sur les roches dures du Précambrien, mais un retrait plus important est

observé aux falaises de grès plus tendres entre Sassandra et Fresco et à quelques endroits le long de la côte du Ghana.

2.1.2. Côtes sableuses

Ces côtes ont essentiellement les mêmes origines que le type précédent, la différence étant que l'apport en sédiments prédomine, et que le volume de sédiments engraisant est beaucoup plus important. Une plaine côtière s'est formée avec des lagunes dans les vallées du Pléistocène et sur la plaine parallèle à la côte. L'orientation de ces côtes change progressivement de WSW-ENE à l'Ouest à WNW-ESE à l'Est.

Les cordons littoraux sont poussés par les vagues en haut des plages jusqu'à une hauteur de 2,5 m au-dessus de la marée haute moyenne de vives-eaux. Les marais derrière le littoral s'ensavent progressivement jusqu'à atteindre le niveau des marées les plus hautes. Le littoral est globalement plus plat que les côtes rocheuses.

L'engraissement pousse les plages de plus en plus vers le large, ce qui fait accroître la hauteur de leur front d'avancement, de sorte qu'il faut de plus en plus de sédiments pour faire avancer le trait de côte. Ce phénomène, conjugué à la remontée du niveau de la mer et aux pertes, explique que le littoral tend vers un équilibre ; le recul de la côte devient même possible.

2.1.3. Côtes deltaïques

Ces côtes se sont formées sur les bords des anciens deltas des fleuves Volta et Niger. Le Niger débouche actuellement à travers un grand nombre d'estuaires entre celui de Forcados et celui de Cross. Les autres estuaires sont ce qui reste des anciens défluent. Les sables qui atteignent la mer sont distribués le long des côtes par la dérive littorale, et constituent de larges bandes successives de cordons littoraux. Des lagunes et des mangroves comportant de nombreuses "creeks" soumises à la marée se sont formées derrière ce cordon de sable, et entre les estuaires.

Ces estuaires perturbent la côte de façon variable, selon leur importance. Il y a généralement un delta sous-marin au niveau de chaque embouchure, avec une barre à faible profondeur s'avançant depuis le littoral.

La Volta se jette dans l'Atlantique par une seule embouchure située du côté Ouest de son delta. La majeure partie du sable qu'elle apporte s'est accumulée entre l'embouchure et un point situé à l'Est du Cap Saint-Paul, où le transport littoral est pratiquement arrêté, étant

donné que la houle du Sud-ouest ne peut atteindre cette zone. Plus loin au Nord-est on observe une forte érosion, là où le transport reprend pour alimenter les côtes du Togo et du Bénin.

2.2. Lagunes et débouchés

Les lagunes le long de la côte du Golfe de Guinée varient en taille depuis les petites lagunes des vallées du Pléistocène sur les côtes rocheuses jusqu'à la grande lagune de Keta sur le delta de la Volta. Une catégorie particulière est constituée par les lagunes interconnectées qui s'étendent sur de grandes longueurs derrière les cordons littoraux des côtes sableuses.

Une autre distinction qui s'impose concerne l'apport en eau douce des cours d'eau, qui varie entre les débits des petits cours d'eau saisonnières, qui tarissent complètement pendant la saison sèche, et les débits des grands fleuves pérennes.

Les conditions océanographiques, les marées et la houle, sont relativement constantes sur toute la côte, la principale variation concernant l'orientation de la côte par rapport à l'orientation de la houle.

Le cordon littoral qui sépare une lagune de la mer est construit et maintenu essentiellement par les vagues. Le cordon littoral tend à fermer le débouché, tandis que les débits du fleuve, conjugués aux effets de la marée et de la houle incidente, tendent à maintenir le débouché.

Dans le cas où le débit du cours d'eau est faible et saisonnier, le débouché se ferme pendant la saison sèche. Les premières pluies de la saison humide font remonter le niveau de la lagune jusqu'au débordement du cordon, les débits creusent alors un nouveau débouché. Les inconvénients liés aux hautes-eaux dans les lagunes peuvent amener les habitants à aider la nature dans ce processus.

Les débouchés des lagunes qui sont alimentées par de grands fleuves restent ouverts toute l'année. Les marées et l'eau de mer pénètrent dans ces lagunes. Cependant, les débouchés ne sont pas stables. Ils ont tendance à se déplacer dans le sens du transport littoral. Un nouveau débouché peut former une brèche dans le cordon littoral, tandis qu'un vieux débouché peut se fermer dans le cas où les débits deviendraient trop faibles. Les débouchés d'un certain nombre de petites lagunes ont été stabilisés par des revêtements ; ceux des lagunes plus importantes nécessitent des jetés (Canal de Vidri, Lagos).

Le comportement des débouchés peut être très aléatoire. Certains ne se ferment que pendant les années exceptionnellement sèches ou sous des conditions de houle extrêmes. D'autres (lagune de Keta) ne s'ouvrent (et encore artificiellement) que pendant les années exceptionnellement humides. D'autres encore restent fermés en permanence au cours des années exceptionnellement sèches.

Les lagunes ont tendance à retenir les sédiments apportés par les cours d'eau, alors que par ailleurs des matériaux peuvent pénétrer depuis l'océan. Il s'ensuit un processus de comblement progressif des lagunes, avec la formation de marais et de mangroves et une réduction progressive du volume des lagunes. Ce processus est contrecarré par la remontée du niveau de la mer.

Un débouché interfère, localement et temporairement, avec le transport littoral de sable, ce qui entraîne l'engraissement de la plage du côté "amont" et son recul de l'autre côté, en même temps qu'un déplacement du débouché lui-même.

2.3. Estuaires

Les estuaires existent dans la partie Est de la côte, là où les grands fleuves débouchent dans la mer et où l'amplitude des marées est plus forte. Parmi tous les cours d'eau hormis le Niger, seule la Volta maintient un estuaire.

Les estuaires sont de longueur variable, entre 15 et 50 km ; ils sont allongés en forme d'entonnoir, et sont disposés pratiquement perpendiculairement à la côte. Leur forme est en équilibre avec les écoulements dus aux marées, les débits des cours d'eau (dans la zone proche du littoral) et l'action de la houle. Ils sont généralement plus profonds que les lagunes, exception faite de leur extrémité amont et de la barre formée au-dessus du delta sous-marin devant le débouché.

Le débit du cours d'eau, avec ses sédiments, traverse l'estuaire avant d'atteindre la mer. La marée et l'eau de mer salée pénètrent vers l'intérieur sur une distance qui dépend du débit du cours d'eau.

Derrière la côte, les estuaires sont ramifiés, formant de nombreuses creeks qui divaguent à travers les mangroves. La plupart des sédiments fins se déposent dans ces zones. Ces mangroves forment une zone ininterrompue sur toute la longueur de la côte du Delta du Niger, séparée de l'océan par une bande constituée de cordons littoraux.

Dans le cas de la Volta, les creeks établissent la liaison entre l'estuaire et les grandes lagunes qui s'étendent à l'Est de celui-ci.

2.4. Quelques profils de côte

Les profils en travers de la côte montrent une grande diversité de types de littoral liée à leur histoire morphologique. La figure n°5 présente trois profils caractéristiques de la formation de l'Holocène. Les effets de l'inclinaison de la formation du Pléistocène et l'abondance des sédiments sont mis en évidence. La figure n°5 montre également des sections de la côte Est du Delta de la Volta (distantes de 20 km). Elles indiquent clairement la différence entre une accrétion rapide et une forte érosion.

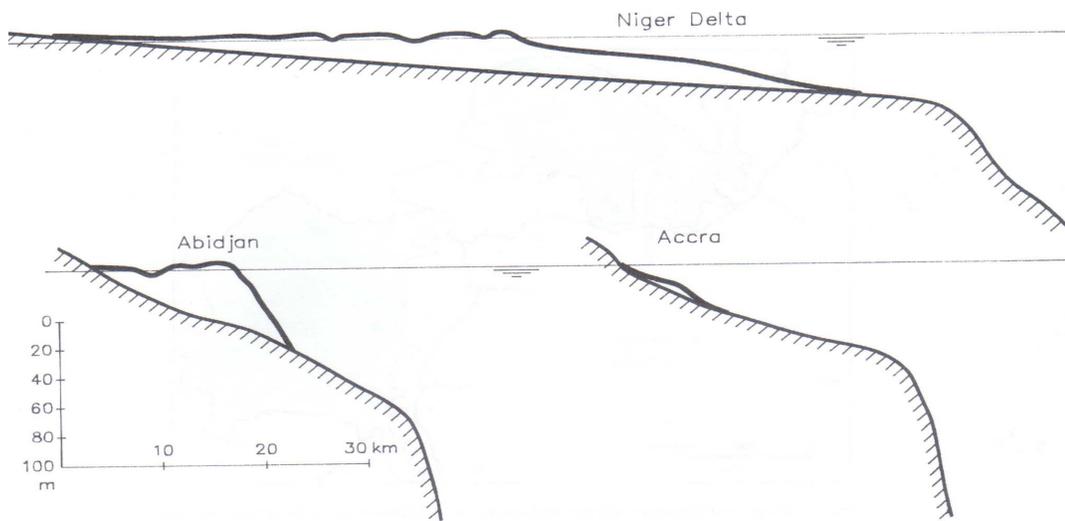
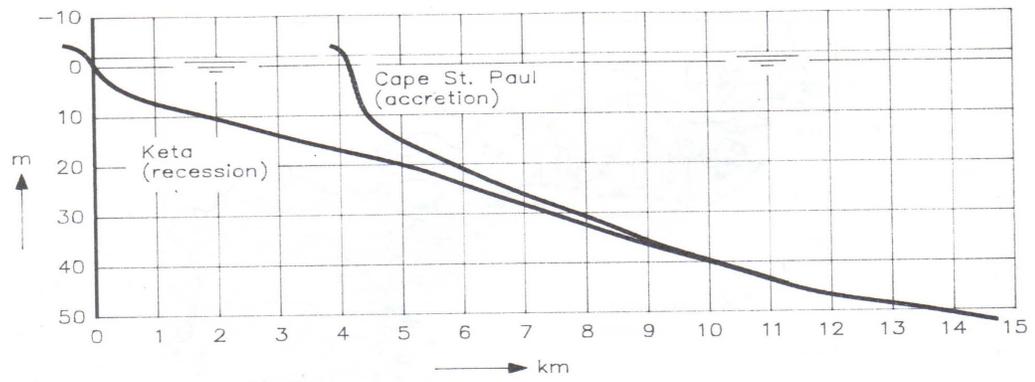


Figure n°5: Sections typiques de la plaine côtière [10]

Chapitre 3 : Erosion côtière dans le Golfe de Guinée

Introduction

Les côtes ouest africaines, à des degrés divers, sont menacées par l'érosion côtière. Comme indiqué plus haut, la côte ou ligne de rivage constitue l'interface entre le domaine marin dont les masses d'eau, animées de mouvements divers, façonnent la morphologie littorale. Mais cet antagonisme entre ces deux milieux n'est qu'apparent, car « le littoral est, en fait, la zone qui unit la terre et la mer, et la ligne de rivage n'est que la limite actuelle et temporaire des variations respectives de ces deux domaines » (Ottmann, 1965 dans [33]). Cet antagonisme apparent peut se traduire par la sédimentation où la terre "gagne" sur la

mer ou l'érosion lorsque la mer "gagne" sur la terre, le tout sous l'action des facteurs hydrodynamiques provenant de l'océan, géologiques et géomorphologiques et les influences de l'homme. Erosion et sédimentation ne sont ainsi que l'aspect le plus perceptible de la lente et continue évolution des frontières mouvante entre la terre et la mer.

Le phénomène de l'érosion côtière est lié aux processus sédimentaires dont le facteur principal est constitué par les agents hydrodynamiques. Suivant la nature du littoral lorsque la côte est rocheuse ou sableuse, les phénomènes d'érosion n'ont pas les mêmes intensités. Les côtes rocheuses s'érodent très peu tandis que les côtes sableuses sont prédisposées à l'érosion à cause de la nature meuble des sédiments qui le constituent.

I. Facteurs conditionnels de l'érosion côtière dans le Golfe de Guinée

Parmi les facteurs qui affectent la nature du littoral de la région, on distingue les facteurs naturels et anthropiques.

Parmi les facteurs naturels, on peut ranger l'action des différents facteurs hydrodynamiques (vents, vagues, marées, courants, modification du niveau de la mer), la nature géologique du trait de côte, ainsi que la nature du rivage (bas ou élevé, stable ou mobile), la largeur du plateau continental, la présence de canyons et de ravins sous-marins.

Les phénomènes dus à l'intervention de l'homme dans l'environnement naturel sont la conséquence des travaux de génie civil, de la destruction de la couverture végétale, de dragage et rejets miniers.

1.1. Phénomènes hydrodynamiques

1.1.1. Vents

Dans l'érosion des plages, le vent intervient directement, via la déflation éolienne, et indirectement en créant et propageant dans la mer des houles et des vagues.

La présence de systèmes de dunes côtières plus ou moins végétalisées en arrière de nombreux secteurs du littoral et de la région (Bénin, Côte d'Ivoire) atteste cependant la

présence de transports éoliens passés et actuels, en raison de la forte insolation qui y règne (Ibé et al., 1984, 1985 dans [12]).

Ibé et al. (1984) décrivent une situation en octobre 1983 où des vents anormalement forts coïncidant avec de fortes marées de printemps, ont provoqué une importante accumulation d'eaux côtière, à 1 m au dessus de leur niveau habituel, qui ont inondé de vastes régions tout au long du littoral bas du Nigéria. A Victoria Islands, la plage a reculé de 3 m en 3 jours. A Escravos, sur le Delta du Niger, une brèche a été ouverte dans une flèche de formation ancienne et très solide près du siège de la Compagnie Gulf Oil à Escravos, et depuis lors, l'érosion attaque aussi bien l'îlot ainsi formé que la flèche.

Sur la côte togolaise, les tempêtes ont fait reculer la plage de 25 m en une semaine entre PK 29 et 31, le recul atteignant 15 m sur deux jours en mai 1984 (Wharf de Kpémé). Cette tempête a provoqué un retrait côtier qui a dénudé partiellement les piles du wharf et qui s'est étendu jusqu'à Aného (Oliveros, Quélenec).

La ville de Grand-Popo au Bénin, située sur une barre de sable basse et très longue, a été soumise aux assauts de la mer, et a été inondée pendant les tempêtes d'août-septembre 1984 [12].

Le vent peut également provoquer des phénomènes comme le transport direct du sable au-delà de la zone de déferlement.

1.1.2. Vagues et houles

Les vagues et les houles générées par le vent, et les courants induits par les vagues, sont les deux forces les plus importantes qui influencent et déterminent le comportement dynamique des plages. Les vagues sont le résultat d'un transfert d'énergie cinétique du vent à la mer. Le mécanisme de ce transfert d'énergie a été décrit par Jeffrey (1923), Sverdrup et Munk (1947), Philips (1957) et Miles (1965-67) entre autres. Les caractéristiques (H,T) des vagues sont déterminées principalement par la vitesse du vent et sa durée, ainsi que par l'étendue d'eau sur lequel il souffle, que l'on appelle "fetch".

Les vagues jouent un double rôle dans le transport sédimentaire sur les plages : oscillation et suspension des sédiments de la plage, et génération de courants qui transportent et provoquent la dispersion de ces sédiments.

Le transit littoral des sédiments sous l'action de la houle est directement proportionnel à l'énergie de la houle (H^2T) et à sa cambrure (H/L).

La majorité des plages de l'Afrique de l'Ouest sont fortement battues par des houles de grande énergie, générées par des vents provenant de noyaux de tempête situés dans l'Atlantique, et qui peuvent souffler sur de longs fetchs. On observe dans la partie centrale une prédominance des houles provenant du Sud/Sud-est. Selon Ibé et al. (1984), l'énergie des vagues le long de la côte du Nigéria atteint parfois 80 kJ/m de crête, tandis que la cambrure des houles (H/L) varie de 0,023 à 0,070.

Par suite du faible marnage de la majeure partie de cette région, l'énergie des vagues libérée au déferlement est concentrée sur des estrans de plage à faible largeur.

Plus important est peut-être le fait que les houles, de courte période notamment, se présentent souvent obliquement par rapport aux rivages, créant ainsi des courants littoraux et des courants de retour qui transportent latéralement et vers le large d'énormes quantités de sédiments.

1.1.3. Courants littoraux

Les quantités de sédiments (transit littoral) transportées longitudinalement le long du rivage par les courants induits par la houle dépendent notamment et de l'angle fait par la crête de la vague avec la côte, ainsi que de la hauteur au déferlement. Dans la région du Cap des Trois Points, le transit littoral provoqué par le courant littoral est d'environ 0,8 Mm³/an. Entre le Cap des Trois Points et Lagos, les estimations de transport de sédiments par le courant littoral varient de 0,25 Mm³/an au Ghana à 1,5 Mm³/an au Nigéria.

L'interruption du transit littoral par les graus, estuaires, canyons sous-marins ou par des structures artificielles (digues, épis) implantées sur les estrans de plages, joue un rôle important dans le budget et l'équilibre sédimentaire des unités littorales [27].

1.1.4. Courant de retour

Les vagues déferlantes au voisinage des côtes produisent également un autre effet : il se forme des courants de retour, où l'eau accumulée au rivage retransverse la zone de déferlement dans des secteurs pouvant avoir jusqu'à 30 m de large, à des vitesses allant jusqu'à 2 m/s, avant de se disperser vers le large. Ces nappes d'eau en forme de chou-fleur peuvent transporter vers le large d'énormes quantités de sédiments, et de jouer un rôle très important dans les phénomènes de transfert des sédiments vers le large, et d'érosion littorale.

Selon des expériences préliminaires effectuées par Ibé (1985) le long des côtes du Nigéria avec des colorants, des vitesses atteignant 1 m/s ont été mesurées dans des courants de retour.

Il existe très peu d'informations sur la capacité de transport sédimentaire des courants de retour dans d'autres endroits de la région.

1.1.5. Courants de marée

Au large de la côte de l'Afrique de l'Ouest, la marée est principalement semi-diurne, avec deux hauteurs maximales et minimales par jour.

Le marnage varie à l'intérieur de la région, mais il reste généralement inférieur à 2 m (voir tableau n°1). Par suite de ce faible marnage, on pense que les courants de marée sont en général faibles. Ceci se vérifie en général pour les littoraux rectilignes faiblement indentés, mais la situation est différente pour des zones littorales avec présence de baies profondes, d'estuaires et de chenaux de marée.

Des études faites par exemple le long du delta du Niger au Nigéria, ont montré que les marées semi-diurnes qui arrivent sur la côte en provenance du Sud-ouest provoquent la formation de courants réversibles semi-permanents formant un angle important avec la côte. Ces courants transportent ainsi des sédiments vers le large en panaches bordés d'écume d'eau turbulente que l'on aperçoit au large jusqu'à des distances de 15 km (Nedeco, 1961 ; Allen, 1965 ; Ibé et al., 1984 dans [12]).

Les marées génèrent dans les graus et estuaires de forts courants de 0,6 à 1,8 m/s qui sont assez puissants pour déplacer le sable et même les graviers, mais les vitesses maximales allant de 0,6 à 2,8 m/s sont atteintes dans la barre des estuaires à marée descendante. Les marées montantes, de plus courte durée, ont des vitesses allant de 0,3 à 1,5 m/s. Selon Allen (1964), les vitesses maximales de courant calculées par la formule de Fleming (1938) et qui diminue progressivement au fur et à mesure qu'augmente la profondeur et la distance au rivage, sont capables d'éroder et de transporter de limons les plus grossiers et les sables les plus fins sur d'importantes zones du plateau continental.

1.1.6. Elévation eustatique du niveau de la mer

S'il est un phénomène à long terme qui possède son importance dans l'érosion du littoral, c'est l'élévation eustatique post-glaciaire du niveau marin, accélérée aujourd'hui par un effet de serre qui ne cesse de s'intensifier. Cette hausse globale du niveau marin a déclenché

une élévation lente mais continue de la mer, dont les effets sont très nets sur l'érosion du littoral du Golfe de Guinée (figure n°6)

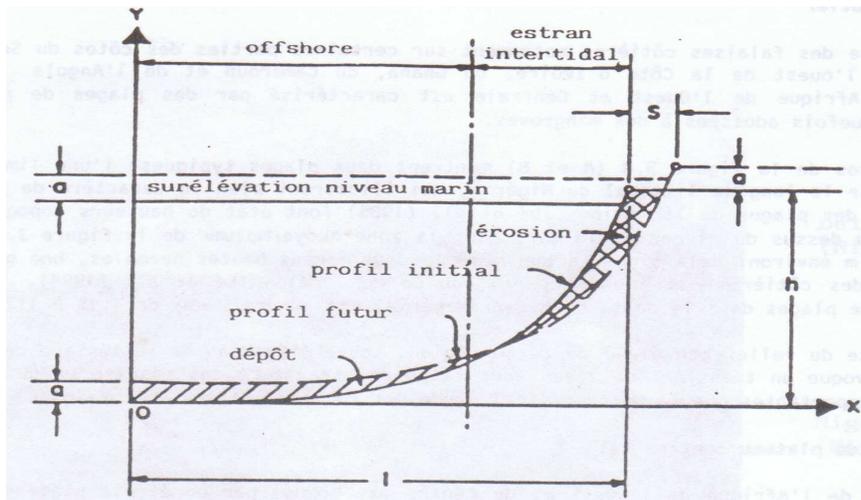


Figure n° 6: Evolution du profil de plage sous l'effet de la surélévation du niveau de la mer. [12]

Les conséquences graves qu'entraîne pour l'érosion cette hausse du niveau de la mer peuvent être déduites des travaux de Brun (1977) qui ont montré qu'une élévation de 0,3 m peut entraîner des reculs côtiers de plus de 33 m, avec des possibilités de recul encore plus important (allant quelquefois jusqu'à des centaines et même des milliers de fois la distance verticale) dans les zones marécageuses à faible pente qui sont fréquentes dans la région.

Selon Burke (1972), la subsidence observée (environ 80 m tous les 15 000 ans) dans le Delta du Niger est provoquée par l'élévation eustatique du niveau de la mer et par les adaptations isostatiques correspondantes de la charge liquide.

La figure n°7 montre les valeurs mensuelles du niveau moyen de la mer mesuré à Takoradi au Ghana sur la période 1929-2007. Le manque de données observé sur la figure est du au mauvais état du marégraphe et qui a été remplacé par un autre en 2006 dans le cadre du programme ODINAFRICA de la COI/UNESCO. Nous observons une évolution à la hausse du niveau marin. Selon les calculs, cette hausse est de l'ordre de 30 cm sur cette période ; soit un taux de 0,38 cm/an. Cette élévation pourrait avoir une influence sur l'évolution du trait de côte dans cette zone. Ce qui est difficile à prouver, faute de données régulières dans la zone surtout concernant l'évolution du trait de côte sur une longue période. D'où la nécessité de mener des recherches dans ce domaine.

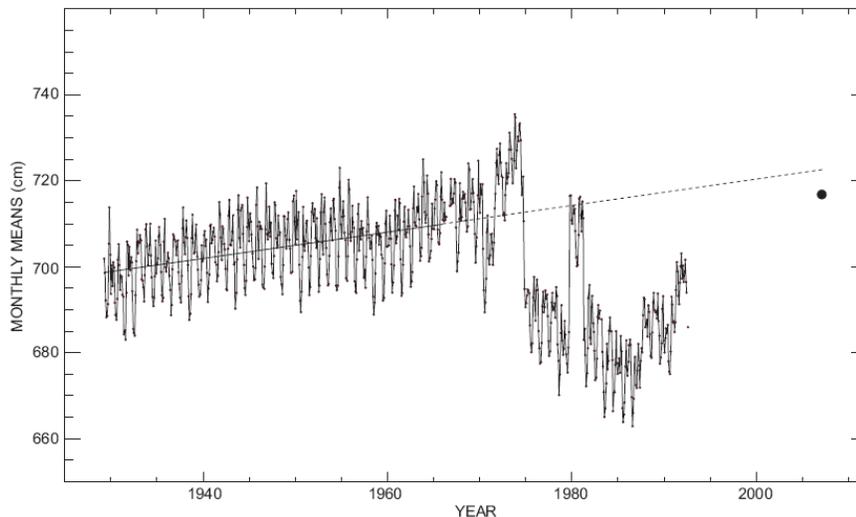


Figure n°7 : valeurs mensuelles du niveau moyen de la mer mesuré à Takoradi au Ghana sur la période 1929-2007 [5]

1.2. Facteurs géologiques et géomorphologiques

Certaines caractéristiques géologiques et morphologiques à grande échelle comme le relief côtier, les dimensions du plateau continental, la présence de canyons sous-marins, ainsi que les possibilités de subsidence et de remaniement des stocks sédimentaires, jouent un rôle important dans l'occurrence des risques littoraux.

1.2.1. Relief côtier

On trouve des falaises côtières notamment sur certaines parties des côtes de la Côte d'Ivoire et du Ghana. Le reste du littoral du Golfe de Guinée est caractérisé par des plages de plaine basse sableuses quelquefois adossées à des mangroves.

Par suite du relief peu élevé de cette région, toute élévation de la surface de la mer près de la côte provoque un transfert de l'eau vers la terre, transfert qui résulte en des submersions d'autant plus importantes que la pente et l'altitude des reliefs côtiers sont faibles.

1.2.2. Largeur du plateau continental

Il est établi qu'en général, le plateau continental au large du Golfe de Guinée est relativement étroit en comparaison avec d'autres plateaux continentaux du monde. Dans la région, la largeur du plateau continental atteint rarement les 80 km, et se situe le plus souvent entre 30 et 40 km.

La plate-forme ivoirienne est relativement étroite et sa largeur varie de 20 à 35 km. Le plateau continental ivoirien n'est pas très important (une vingtaine de km de large, mais s'élargie progressivement pour atteindre un maximum de 35 km au droit de Sassandra. Plus à l'Est, son ampleur diminue légèrement jusque vers Abidjan, puis croît à nouveau faiblement jusqu'à la hauteur du Ghana (35 km).

Le plateau continental, qui a 35 km de largeur devant le Cap des Trois Points, s'élargit peu après vers l'Est, au large de Sekondi à une centaine de kilomètres, puis il se rétrécit sur tout le reste du secteur, à l'Est, jusqu'à Lagos avec 20 à 30 km de largeur en moyenne. Sa largeur est de 35 km dans la région de Lagos, de 75 km à l'Est devant Calabar, de 64 km devant le Cape Formoso, dans l'axe du Delta.

Un plateau continental étroit fait que les crêtes des houles générées en haute mer peuvent se présenter très obliquement par rapport au rivage lors du déferlement, du fait qu'elles sont moins réfractées en passant sur les hauts-fonds, ce qui augmente leur capacité de transport sédimentaire.

Une autre conséquence de l'étroitesse du plateau continental de la région est que les sédiments arrachés au rivage sont transférés plus facilement par les courants dans les eaux plus profondes, principalement dans les périodes de tempête.

1.2.3. Canyon sous-marin

Le plateau et le talus continental de la région sont souvent entaillés de vallées ou des canyons sous-marins, dont les plus importants sont :

- Le Trou-Sans-Fond en Côte d'Ivoire ;
- L'Avon, le Mahin, le Calabar au Nigéria.

La plupart de ces canyons, ou vallées qui y mènent, débutent au voisinage du littoral et agissent donc comme des drains dans lesquels s'engouffrent les sédiments entraînés par les courants littoraux ou les courants de retour pourraient être définitivement amenés vers les grands fonds.

En Côte d'Ivoire, le canyon du Trou-Sans-Fond au large du canal de Vidri agit comme un piège à sédiments. Sur la base des évaluations faites par Varlet en 1958, on sait qu'environ 800 000 m³ de sable passent annuellement devant Vidri, ce qui veut dire que sur 35 ans, 30

millions environ de matériaux se sont engouffrés dans le canyon au lieu de continuer leur route le long des plages vers Port Bouet et les plages Est.

Au Nigéria, plus d'un million de m³ de sable transporté annuellement par le courant littoral à partir de deux directions différentes vers la côte vaseuse se perdent en tombant respectivement dans les canyons Avon et Mahin, et ce phénomène est considéré comme responsable du déficit en sable et du caractère vaseux du littoral dans ce secteur de la côte du Nigéria. De même, les vases qui caractérisent le littoral du Nigéria ont été attribués au fait que le sable transporté par le courant littoral est drainé par le canyon du Calabar au large de cette côte [12].

1.2.4. Tectonique, subsidence

La région du Golfe de Guinée est caractérisée par la formation de bassins sédimentaires. Dans tous les cas, le contour du soubassement de ces bassins est concave et leur axe principal coïncide toujours avec la présence d'un cours d'eau important, ce qui provoque souvent la formation de deltas, dont certains, comme celui du Niger et de la Volta, sont très développés.

Le géosynclinal côtier s'affaisse dans la plupart de ces deltas, non seulement parce qu'ils ont été formés dans un milieu tectonique, mais à cause de phénomènes naturels d'élimination de l'eau interstitielle et de tassement des sédiments. Cette tendance est caractéristique de la plupart des grands deltas qui se sont formés rapidement dans un cadre tectonique.

Dans le bassin de la Côte d'Ivoire, on a constaté une subsidence de la partie Est du bassin (PNUE, 1985 dans [12]). Dans le géosynclinal côtier du Nigéria, un ensemble de bancs de coraux morts sur des hauts-fonds près de la côte donne une indication des étapes de subsidence et/ou de surélévation du niveau des eaux pendant les quatre derniers millénaires (Allen et Wells, 1962 dans [12]). Les mesures faites actuellement dans le Delta du Niger montrent que cette subsidence peut atteindre 2,5 cm par an. (Ibe, 1984) suggère qu'aujourd'hui l'extraction de gaz et de pétrole dans les réservoirs poreux du Delta du Niger accélère peut-être cette subsidence.

1.2.5. Caractéristiques des sédiments

A l'exception des côtes à falaises de la partie occidentale de la Côte d'Ivoire, les principaux secteurs du littoral du Golfe de Guinée sont faits de sables et de limon meuble. Un grand

nombre de plages sableuses sont en général composées de sable quartzeux bien triés à grains fins avec des minéraux lourds caractéristiques : zircon, épidote, sillimanite, kyanite, hornblende, etc. [12].

1.3. Influences de l'homme

L'intervention de l'homme sur l'environnement naturel peut générer des impacts sur l'équilibre du littoral dans la région. Parmi ces actions anthropiques, on peut citer la construction de ports, l'extraction de sables et de graviers, la construction des barrages sur les fleuves, les aménagements de la zone littorale, la destruction de la couverture végétale dans les bassins versants et sur le littoral (mangroves), les dragages, et l'exploitation pétrolière off-shore.

1.3.1. Construction des ports

La construction de ports sur le littoral est une cause majeure d'érosion en divers endroits de la côte du Golfe de Guinée. La plupart des structures portuaires sont quasi-perpendiculaires au littoral, et jouent donc le rôle de barrières littorales pour la dérive littorale des sédiments, qui est comprise entre 0,2 et 1,5 Mm³ [12].

Ainsi se produit une sédimentation en amont des ouvrages par rapport au transit littoral, alors qu'en aval se produit une érosion spectaculaire. L'érosion à l'Est des ports de Lomé, Cotonou et Lagos est due à ce phénomène.

La construction de brise-lames pour le port de Lomé a commencé en 1964, et déjà pendant la construction, la sédimentation a commencé à se manifester à l'Ouest du port, alors que l'érosion attaquait le côté Est. Selon Nedeco (1975, 1978), l'avancée du rivage à 2 km de la jetée était de 60 m/an de 1964 à 1969, 28 m/an de 1969 à 1973 et de 18 m/an de 1973 à 1975. En revanche, toute la partie Est de Lomé est érodée sur une longueur de plus de 15 km, les vitesses d'érosion diminuant à mesure que l'on s'éloigne du port. A 5 km à l'Est du port, le recul moyen de la plage est de 20 m/an près de l'Hôte Tropicana (Oliveros et Quélennec, PNUE 1985 dans [12]).

A Cotonou, la jetée du port, construite en 1960, a créé une zone d'accumulation de sable à l'Ouest du port avec une croissance de 700 m en 1976 (Sireyjol, 1977 dans [12]) et une zone d'érosion à l'Est. En 1976, un recul du rivage d'environ 250 m a été mesuré en aval de la jetée.

A Lagos, la construction des brise-lames entre 1907 et 1912 a, depuis 1913, provoqué une sédimentation sur la plage du phare, ainsi qu'un retrait considérable de Victoria Beach du côté de l'aval. La vitesse de l'érosion à Victoria Beach se situe entre 20 et 30 m/an (Ibe, 1985 dans [12]).

On constate aussi une érosion importante à Keta au Ghana en aval du port de Tema ainsi qu'à l'Est du Canal de Vidri, à l'entrée du port d'Abidjan en Côte d'Ivoire.

Un autre effet de la construction des ports le long de la côte provient du dragage des chenaux d'accès de ces ports entre le rivage et la pleine mer. Le creusement des chenaux permet aux vagues de pénétrer plus loin dans les graus, ce qui accroît le risque d'érosion. Pour le sable entraîné par les courants littoraux, l'approfondissement des chenaux a le même effet hydro-sédimentologique que les structures perpendiculaires au rivage : la modification du schéma de réfraction des vagues, et reconcentration de l'énergie qui accélère par endroits le processus d'érosion.

1.3.2. Construction de barrages sur les fleuves

L'apport sédimentaire des fleuves constitue pour les plages l'une des principales sources d'alimentation naturelles en sable. Il s'ensuit que si l'on modifie les caractéristiques hydrologiques d'un fleuve, notamment par la construction de barrages, le volume de sédiments terrigènes atteignant la côte peut se trouver notablement réduit.

La côte du Golfe de Guinée est dotée de nombreux cours d'eau par ces drainages. Cependant, la plupart des cours d'eau importants ainsi que leurs principaux affluents, sont équipés de barrages pour l'hydro-électricité, l'irrigation nécessaire à l'agriculture et les pêcheries. La construction de barrages dans cette région a drastiquement réduit le rôle que jouent les bassins hydrographiques en tant que sources d'apport de sédiments ; une quantité appréciable de sédiments fluviaux qui autrement, aurait été transportée vers les zones côtières se trouve maintenant piégée derrière les barrages, ce qui provoque un déficit sédimentaire du littoral et favorise l'érosion côtière.

Ibe et Antia (1983) et Mac Dowell et al. ont fait état d'une érosion côtière due à la construction de barrages dans le Delta du Niger au Nigéria. Ibe (1985) a également indiqué que le problème croissant de l'érosion sur la côte à cordon littoral et lagunes du Nigéria occidental était dû en partie à la construction de barrages agricoles sur des fleuves comme l'Ogun et l'Oshun qui précédemment apportaient du sable à la côte. Ly (1980) a également

précisé que le barrage d'Akosombo sur la Volta au Ghana provoque ou accélère l'érosion générale du Ghana du Centre à l'Est, à l'Est de l'embouchure du fleuve.

D'après les calculs, par le jeu du transport vers l'aval par suspension-charriage et de phénomène dépôt-érosion, les 900 000 tonnes d'apport solide par an du bassin-versant du fleuve Mono se transforment en un apport de l'ordre de 100 000 m³ de sable à la côte, le reste étant déposé en bancs dans le lit ou sur la plaine régulièrement inondée. La mise en service du barrage de Nangbéto sur le fleuve Mono a entraîné une modification du régime hydrologique et sédimentologique sur la partie aval du fleuve. A l'embouchure du Mono, on assistera à un déficit d'alimentation en sable de l'ordre de 100 000 m³/an, sans diminution corrélative des capacités de transport solide.

Les apports du Mono exerçant une influence quantitative importante sur l'équilibre sédimentaire de la côte à l'Est de la Bouche du Roi en réalimentant en sables la dérive littorale, il est tout à fait clair que des désordres surviennent : agressivité accrue du Mono près de Grand-Popo, sensibilité du cordon aux érosions fluviales pouvant conduire à des ruptures, modification des conditions d'alimentation de la dérive littorale dont la sous-saturation potentielle sera accrue, sans que l'on puisse en prévoir, actuellement, les conséquences exactes sur l'érosion du littoral à l'Est de l'embouchure, d'autant que ce déficit s'ajoutera à celui provoqué par la stabilisation de la côte togolaise.

1.3.3. Extraction de sable

Dans la zone côtière, l'extraction de sable et de gravier pour la construction est une pratique courante. Ces matériaux de construction proviennent soit des estuaires, soit de la plage elle-même, soit du plateau continental proche de la côte.

L'extraction de sable et de gravier dans les cours d'eau côtiers et particulièrement dans les estuaires tend à réduire considérablement la quantité de sédiments fluviaux apportés sur la côte, ce qui accélère le recul de la plage. Au Nigéria, le dragage de sable dans les cours d'eau côtiers et les estuaires est tenu pour un des facteurs responsables de l'érosion des rivages de l'estuaire (Ibe, 1986 dans [12]).

L'extraction de sable faite directement sur les plages entame sérieusement la réserve de sédiments qui s'y trouve, et provoque ou accélère le recul de la plage. Des observations faites près de Cotonou ont permis d'estimer les quantités de sable extraites à 150 000 m³

par an en un endroit, et cette activité, si on la compare au transit littoral annuel de sable de 1 million de m³, pourrait provoquer le recul de la plage (Nedeco, 1984 dans [12]). Ibe et al. (1984) ont fait état d'opérations d'extraction de sable sur diverses plages le long de la côte du Nigéria, particulièrement à Brass, Forcados et Ibéno-Eket ; En Côte d'Ivoire, on pense que l'érosion à l'Est du village Jacksonville est en rapport direct avec l'extraction de sable sur la plage. Egalement en Côte d'Ivoire, les extractions intensives de sable sur la plage et sur la barre côtière dans la région de Janfoli-Gonzagueville-Dieudonné pendant plusieurs années ont provoqué un important recul de la plage (Quélénnec, 1984 dans [12]).

Le dragage du sable sur le plateau continental près du rivage est une cause évidente d'érosion des plages dans la région. Les gigantesques chantiers de construction, comportant des programmes de récupération des terres, qui ont été entrepris au Nigéria, particulièrement autour de Lagos dans l'ivresse du boom pétrolier des années 1970, auraient été presque impossibles sans plateau proche de la côte (Ibe, 1982 dans [12]). Ces dragages seraient en partie responsables de l'accélération de l'érosion (25-30 m/an) sur les plages de la région de Lagos (Ibe, 1987 dans [12]).

Les responsables de ces travaux de dragage ont commis la grave erreur de ne pas considérer le système littoral dans son contexte régional. Sur un rivage de plaine côtière comme celui qui caractérise cette région, la plage et le plateau continental se trouvent en situation d'équilibre. Il s'ensuit que le fait de prélever du sable sur les estrans de plage ou à tout autre endroit du système dynamique affecte inévitablement cet équilibre et intensifie le recul côtier.

1.3.4. Destruction de la couverture végétale

La couverture végétale joue un rôle important dans la protection des sédiments côtiers, en les colonisant et en les fixant. La suppression accélérée de cette végétation côtière, poursuivie pour faire place à des constructions, des exploitations minières, des immeubles ou des entreprises agricoles, intensifie le ruissellement de surface et rend la zone ainsi dénudée plus vulnérable à l'infiltration et aux glissements de terrain, ainsi qu'à l'action des vagues, des vents et des courants.

L'extraction de sel marin dans les zones de mangroves a provoqué l'érosion, car elle a pour conséquence une destruction à grande échelle de la couverture végétale. Selon Paradis (1979), cette extraction de sel a commencé dans la partie Est du Ghana au 17^e siècle, et se poursuit aujourd'hui. Dans la végétation côtière, la mangrove fournit une protection très

efficace contre l'érosion des sédiments dans lesquels elle pousse ; la raison en est que la mangrove se fabrique un rideau de stabilisation, pour s'adapter à la faiblesse mécanique du limon dans lequel elle se trouve ; le réseau de racines aériennes est particulièrement efficace pour stabiliser les sédiments non consolidés, pour amortir les courants de marée et les courants littoraux, et retenir les sédiments en les empêchant ainsi d'être entraînés vers le large.

Cependant, la forêt de mangroves est mise à contribution. Les arbres sont abattus pour le bois de construction et divers autres usages : construction de repères pour les nasses des pêcheurs, bois de chauffage pour la cuisine, construction de fours traditionnels. C'est pourquoi l'érosion littorale sévit partout où les mangroves ont été décimées.

Au Togo, les exploitations de tourbes littorales à ciel ouvert contribuent également à la destruction de la végétation et à l'érosion côtière qui l'accompagne.

1.3.5. Exploitation du pétrole et du gaz

L'extraction du pétrole provoque l'amorce ou l'accélération de la subsidence dans une zone fragile du système sédimentaire côtier. L'effet principal de l'extraction des fluides est la réduction de la pression dans les gisements, ce qui amène immédiatement une augmentation de la contrainte effective (ou contrainte grain à grain) du système.

Un tassement se produit et le bassin sédimentaire s'affaisse. Il s'ensuit une submersion progressive des zones côtières avec accroissement des risques d'érosion littorale.

Dans une étude faite sur cet impact au Nigéria (Ibe, 1985, 1986 et Ebisemiju), les auteurs considèrent que l'extraction de gaz et de pétrole dans les gisements poreux et faiblement consolidés du Delta du Niger est en partie responsable de l'accélération de la subsidence naturelle de ce Delta et des phénomènes significatifs d'érosion que l'on y constate.

II. Manifestations et conséquences de l'érosion côtière dans chaque pays

Le rythme d'évolution actuelle des côtes sableuses dans le golfe de Guinée, entre la Côte d'Ivoire et le Nigéria, à l'échelle temporelle de 30 ans, a suscité des études d'application dont les mesures ont favorisé la maîtrise du problème de morphodynamique côtière causé essentiellement par les grands ouvrages maritimes construits dans le cadre du programme de développement économique des pays. Les incidences du processus sont marquées par un bilan sédimentaire réparti, définissant des segments d'accumulation et d'érosion de

plage, lesquels se développent dans le temps et l'espace en fonction des caractérisations hydrodynamiques et sédimentaires. Le recul du trait de côte est très significatif avec des vitesses de l'ordre de 1 à 15m/an, voire 30 m/an et est à l'origine de la destruction des infrastructures, notamment les routes côtières, les habitats et de la perte de l'activité économique traditionnelle : la pêche.

Les manifestations et les conséquences de l'érosion côtière dans les pays concernés sont présentées dans cette partie.

2.1. Côte d'Ivoire

2.1.1. Zones sensibles touchées par l'érosion

Les zones économiques sensibles touchées par l'érosion côtière en Côte d'Ivoire se présentent comme suit :

- Grand Lahou : le cordon littoral dans la zone s'érode d'environ 2,5 m/an. Des érosions dont l'intensité n'est souvent pas précisée sont également signalées dans la zone du port de San Pedro ;
- Baie de Port Bouet à Abidjan : dans ce site une érosion de 3 m/an a été observée selon le suivi effectué entre 1957-1984, mais le phénomène n'est pas continu sur toute la baie. Il existe des points stables entre lesquels on distingue des secteurs en érosion dont le taux varie entre 0,5 m/an et 3 m/an ;
- La ville de Grand-Bassam : la ville de Grand-Bassam subit souvent des assauts des grandes tempêtes ; il semble que la zone la plus critique est celle où il existait une ancienne embouchure fermée mais sur laquelle les populations se sont installées. Au niveau de Grand-Bassam il faut signaler les problèmes liés à l'embouchure du fleuve Komoé dont la fermeture et l'ouverture intermittentes causent des impacts négatifs sur l'écosystème lagunaire ;
- Segment Assouindé-Assiené : Il s'agit d'un site touristique d'intérêt national et international où sont implantés des villages-hôtels ; ces villages sont construits sur le mince cordon littoral qui s'érode à un taux d'environ 0,5 m/an.

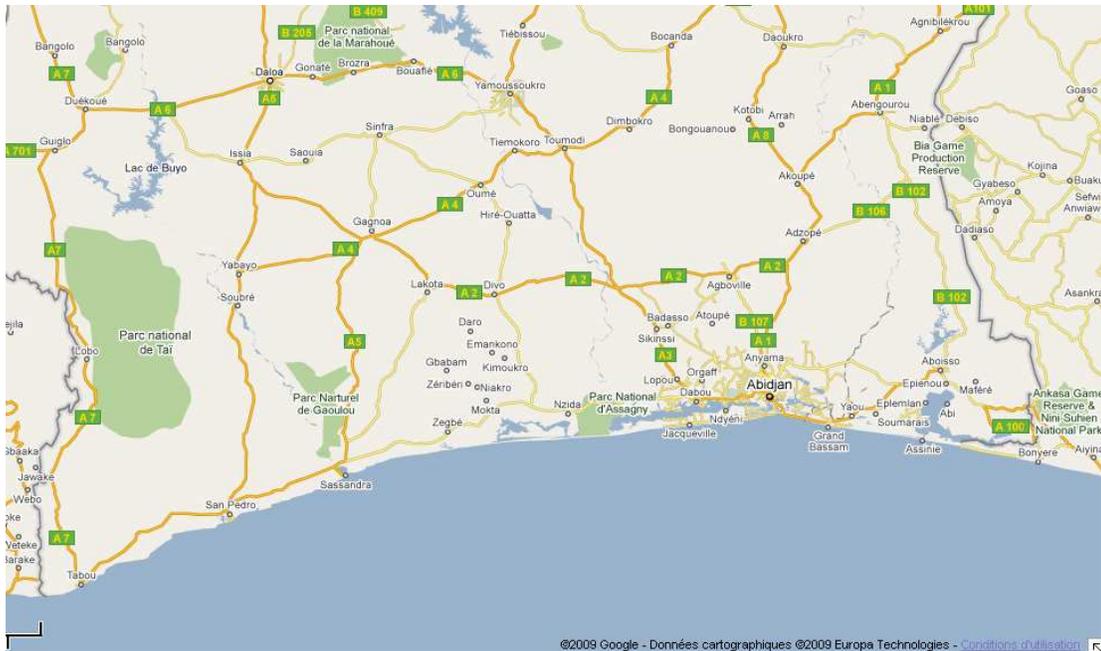


Figure n°8: Dynamique du littoral de la Côte d'Ivoire [37]

2.1.2. Les causes de l'érosion côtière

Les causes de l'érosion côtière sont assez bien cernées bien qu'il reste des compléments d'information à avoir sur certaines zones comme le segment Grand-Bassam-Assiéné.

- **Causes naturelles**
 - o La nature sableuse des fonctions sédimentaires du littoral ;
 - o L'action des houles et en particulier de la dérive littorale et des tempêtes ;

- Le changement de direction du trait de côte à l'Est du Trou Sans Fond à Abidjan ;
 - Dans une faible mesure, l'élévation du niveau moyen de la mer.
- **Causes liées à l'activité humaine**
- L'ouverture du Canal de Vidri et la construction de la jetée Ouest du port a entraîné le blocage des sédiments en provenance de l'Ouest et accéléré l'érosion dans la baie de Port-Bouet ; le changement de direction du trait de côte à l'Est du Trou-Sans-Fond et l'orientation générale du rivage dans la baie de Port-Bouet favorisent certainement l'attaque des vagues au cours des tempêtes d'où les phénomènes cycliques d'érosion observés à cet endroit ;
 - L'exploitation des carrières de sable sur le littoral, mais cette activité est actuellement interdite à Abidjan.

2.1.3. Conséquences de l'érosion côtière

L'érosion côtière a de graves conséquences socio-économiques en Côte d'Ivoire.

La zone du littoral ivoirien, comme dans la plupart des autres pays côtiers de l'Afrique de l'Ouest, est le siège d'importantes activités économiques comme la pêche et les activités touristiques. Ce sont ces activités que menace l'érosion en plus de la destruction des infrastructures de base : routes, écoles, habitations.

L'érosion a entraîné le déplacement de la ville de Grand Lahou à 15 km de l'autre côté de la lagune et a détruit des monuments coloniaux et historiques. Elle a détruit des habitations et des voies de communications à Port-Bouet.

A Grand-Bassam, c'est des installations touristiques, des monuments historiques et des habitations qui sont menacées où déjà détruites.

Lorsqu'elle provoque l'ouverture des débouchés des fleuves et des lagunes, c'est des modifications complexes de l'écosystème de ces milieux qu'elle provoque, la salinisation augmente et la production halieutique s'en ressent.

Le site balnéaire d'Assinie est très fortement attaqué ces dernières années et sa protection revêt une grande importance.

2.2. Ghana

2.2.1. Zones sensibles à l'érosion

Toutes les parties du littoral du Ghana connaissent des problèmes d'érosion. Pas moins de 25 segments de littoral en érosion ont été identifiés [26]. Ainsi, les zones sensibles à l'érosion se présentent comme suit de l'Ouest vers l'Est :

- La route côtière d'Axim sur la côte Ouest ;
- Elmina, une ville touristique d'une grande importance ;
- Labadi à l'Est d'Accra avec ses installations touristiques ;
- Tema où la route Tema-Accra a été détruite en partie ;
- Ada, importante ville de l'Est du pays en grande partie détruite par l'avancée de la mer ;
- La ville de Keta, ville bâtie sur un cordon littoral, dont la plus grande partie est aujourd'hui en mer. Les taux d'érosion enregistrés varient en moyenne entre 2 m/an et 6 m/an. Les taux les plus élevés sont observés sur le littoral de la côte Est et Ada et Keta.



Figure n°9: Système côtier du Ghana [37]

2.2.2. Causes de l'érosion côtière

- Causes naturelles

A part la remontée générale du niveau moyen de la mer qui n'explique certainement pas les phénomènes catastrophiques observés sur le littoral du Ghana, les autres causes naturelles peuvent être énumérées comme suit :

- L'action des houles et en particulier l'existence d'une dérive littorale le long du littoral ; ce courant côtier est le siège d'un important transit littoral ;
- La nature des formations sédimentaires (littoral sableux ou à falaises friables) ;

- L'insuffisance des apports sédimentaires des cours d'eau pour alimenter le transit littoral : le déficit ainsi créé dans la capacité de transport des vagues est compensée par des démaigrissements des plages ;
- La réfraction des vagues autour des caps et concentrant leur énergie sur certains segments du littoral.

- **Causes liées à l'activité humaine**

Parmi les causes liées à l'activité humaine, on peut citer :

- L'exploitation du sable et de graviers sur le littoral pour la construction des maisons et d'autres ouvrages d'art : c'est une activité illégale mais qui est une pratique largement présente sur le littoral ;
- La construction sur le cours des fleuves à grand débit des barrages qui non seulement piègent les sédiments mais qui ont également eu pour conséquence de favoriser la disparition des barres de sable aux embouchures de ces fleuves (cas d'Ada) ;
- La construction d'ouvrages portuaires et côtiers modifiant les conditions de propagation des houles (provoquant diffraction et réfraction) ou bloquant en partie le transit littoral ; l'érosion à Elmina suite au prolongement de la jetée abritant le port de pêche en est un exemple.

2.2.3. Conséquences de l'érosion côtière

L'ampleur du phénomène de l'érosion côtière sur le littoral du Ghana a entraîné d'énormes conséquences socio-économiques. L'érosion affecte les activités de pêche, de tourisme. Elle détruit des bâtiments, des voies routières. Elle engloutit des villages entiers et des parties de villes ; les principales conséquences sur le littoral ghanéen peuvent être énumérées comme suit :

- **Côte centrale**

- Cette côte abrite de nombreux villages de pêcheurs qui se sont développés sous le vent des affleurements rocheux, là où les baies abritées et les plages offrent un abri sûr pour les petites embarcations de pêche. Une des conséquences de l'érosion côtière sur cette partie du littoral est la difficulté que rencontrent les groupements de pêcheurs pour échouer leurs bateaux. Ces difficultés sont liées au manque de places suite à la disparition de la plage elle-même et à la mise à nu progressive du substratum rocheux sur l'estran qui gêne les opérations d'échouage ;
- La route côtière d'Axim a été abandonnée comme liaison principale ;
- La zone du Motel d'Elmina, site touristique d'une grande importance, est menacée au point où le Gouvernement ghanéen a entamé des travaux de protection ;
- A Accra les installations touristiques de Labadi Beach et des bâtiments de Saint James ont été détruits ; le Gouvernement ghanéen a également entrepris des travaux de protection ;

- **Côte Est**

- La ville d'Ada située à l'Ouest de l'embouchure de la Volta est largement détruite ; écoles, hôpitaux, églises, habitations ont été engloutis par la mer ;
- Il en est de même au niveau de Keta où beaucoup de sinistrés ont quitté Keta et se sont établis dans des villages voisins, mais d'autres, décidés à ne pas laisser la terre de leurs ancêtres, s'accrochent et reconstruisent sur la berge de la lagune ; tout le tissu économique de Keta a été détruit.

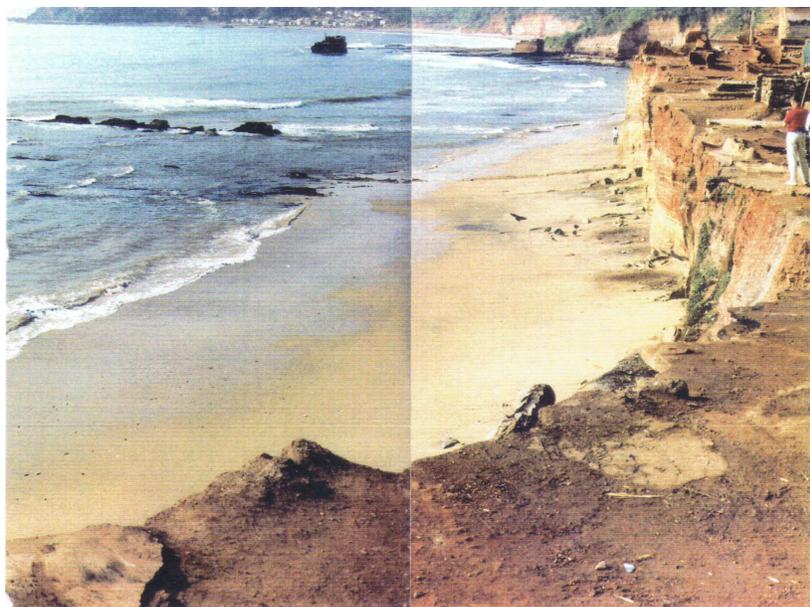


Photo n°1: Erosion des falaises à Takoradi [26]

2.3. Togo

2.3.1. Zones sensibles à l'érosion côtière

Depuis 1983, la côte togolaise est donc caractérisée par une morphologie bien différenciée autour du port. Elle se distingue par une côte en érosion sur 30 km et une côte d'accumulation de 10 km à l'Ouest de la jetée du port. La dynamique côtière actuelle est surtout marquée par le recul moyen du trait de côte de l'ordre de 5 m/an.

L'occupation de la côte togolaise est relativement dense par les villes de Lomé et d'Aného et leurs espaces péri-urbains, les villages et espaces ruraux, les zones industrielles, le port, les wharfs, la route internationale côtière, le pont d'Aného et les hôtels.

Les zones touchées par l'érosion côtière au Togo sont situées à l'Est du port de Lomé. Deux zones prioritaires touchées par l'érosion méritent une attention particulière :

- Le secteur d'Agbodranfo (PK32-PK35) ;

- La rive lagunaire Nord face à l'embouchure d'Aného sur une distance de 500 m.

La côte togolaise a une longueur de 50 km. Le port se situe à 10 km du PK0 (la frontière entre le Togo et le Ghana).

L'état de sensibilité de la côte togolaise à l'érosion côtière se présente comme suit :

- Du PK 11 au PK 35 : Zone d'érosion : le recul du trait de côte est très variable ; ce qui donne une configuration de côte avec des rentrants de courbes de géométrie bien différenciée. La vitesse de l'érosion qui était, à l'Est immédiat du port, de plus de 15 m/an entre 1964 et 1975, est descendue à une moyenne de 5 m/an dans cette zone (entre 1 et 2 m à certains endroits et 10 m à d'autres) entre 1975 et 1985 après la mise à nu du Beach rock qui a joué un rôle stabilisateur à certains endroits compte tenu de sa côte d'arase. Depuis 2000, l'effet stabilisateur du Beach rock s'est atténué sur des segments de côte où cette formation ralentissait l'érosion au point où d'importantes installations hôtelières qu'on croyait sauver dans les années 85, sont aujourd'hui menacées. La situation des différents segments de ce tronçon du littoral se présentent comme ci-après aujourd'hui :
 - Du PK11 au PK14 : segment d'érosion de 1 à 2 m/an jusqu'en 2000 mais qui à la suite du ralentissement du rôle stabilisateur du Beach rock, a aujourd'hui un taux évalué à plus de 10 m/an. L'érosion de la plage est manifeste pendant les périodes de tempête, d'août à octobre correspondant à la saison de vents forts côtiers. Les motels et restaurations sont très menacés. Entre PK11 et PK11,5, les installations de la SAGA et de l'huilerie (NIOTO) sont protégées par un ouvrage en enrochement, du type brise-lames, sur le Beach-rock. Les maisons sont à 200 m du trait de côte.
 - Du PK14 au PK32 : segment d'érosion de 5 à 10 m/an. Le Beach rock n'a pas une grande influence sur les vagues parce qu'il est en continuité topographique avec l'estran. L'ancien complexe hôtelier Tropicana au PK18 est protégé par un épi, mais il se trouve dans une zone toujours en érosion et est aujourd'hui abandonné. Les terrains des populations sont emportés par les vagues.
 - Du PK32 au PK35 : segment d'érosion de 5 à 10 m/an. Le Beach rock est sous le niveau de marée basse. Le rechargement de plage par les argiles sableuses issues du traitement des phosphates compense faiblement la perte

et assure une passive stabilisation. Le trait de côte se localise sur la crête de la dernière flèche en raccordement avec la surface vers la lagune.

- Du PK35 au PK39 : Secteur de côte protégée par une batterie de 6 épis et un revêtement de haut de plage sous le wharf de phosphates stabilisent le trait de côte sur 4 km. Le wharf, l'usine de traitement de phosphates et le village de Gunukopé sont protégés. Le système d'épis fonctionne parfaitement bien. L'orientation de côte entre les deux derniers épis vers Aného entraîne une rapide perte de sédiments dans le casier en période de tempête ; le trait de côte y fluctue avec des dommages moyens causés sur la façade Est de l'avant dernier ouvrage ;
- Du PK39 au PK39,5 : zone d'érosion où sur environ 500 m, l'érosion consécutive à l'implantation du système d'épis de Kpémé-Gunukopé a reporté le trait de côte de 100 m de la base du dernier ouvrage. Le rechargement de plage par les argiles sableuses a permis de rétablir et de stabiliser passivement le trait de côte.
- Du PK39,5 au PK47 : secteur de côte protégée par un brise-lames et 5 épis qui ont été implantés depuis 1988 pour protéger le secteur ; le système favorise la stabilisation du trait de côte avec des plages progradantes. En période de fortes vagues, la fluctuation est faible dans les casiers et ne constitue aucune menace pour le secteur ;
- Du PK47 au PK50 : zone d'érosion où l'influence des ouvrages sur le système hydro-sédimentaire se manifeste sur environ 3 km par l'érosion et par le basculement de la flèche à l'intérieur de la lagune. Ce secteur constitue le début d'une cellule de dérive littorale ; une zone de départ de sédiments. La disposition de la flèche dans la lagune constitue un moyen limitant, dissipant et orientant l'énergie des vagues qui passent à travers l'embouchure ; ce qui constitue une solution temporaire de protection de la berge Nord de la lagune sur laquelle passe la route internationale côtière.

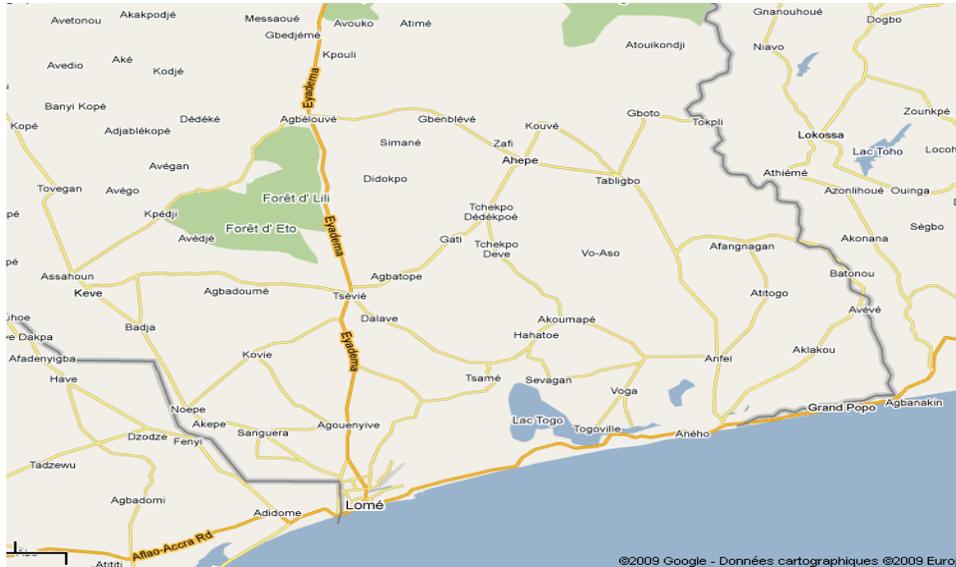


Figure n°10: Littoral togolais [37]

2.3.2. Causes de l'érosion côtière

- Causes naturelles

Les causes naturelles de l'érosion côtière sur le littoral togolais sont de même nature que celles citées plus haut à savoir :

- La remontée générale du niveau moyen des mers ; mais comme déjà signalé plus haut, cette remontée n'explique pas l'ampleur du phénomène à l'est du port de Lomé actuellement ;
- La nature des sédiments du littoral : sables moyens et grossiers ;
- Les caractéristiques de la houle qui aborde les côtes togolaises : à l'approche des petits fonds, la houle déferle libérant la plus grande partie de son énergie en créant une zone de fortes turbulences, lesquelles vont agir sur les fonds sableux mettant en suspension les sédiments meubles ; les crêtes des houles arrivant obliquement au rivage, elles induisent un courant littoral qui transporte les sédiments mis en suspension, c'est le transit littoral ;
- L'évolution rapide de l'érosion côtière à l'Est du port a été accentuée par la résurgence du Beach rock qui a été mis à nu suite à l'érosion de la côte ; la

résurgence du Beach rock, une formation dure, a ralenti l'érosion à l'Est immédiat du port permettant ainsi son évolution de plus en plus vers l'Est.

- **Causes dues à l'action humaine**

- Les perturbations hydro-sédimentaires suivies de l'érosion de côte avec des reculs impressionnants sont dues à la construction du port en eau profonde de Lomé. La jetée de la rade a été construite à partir de 1963. Elle a une longueur de 1700 m et intercepte le transit sédimentaire qui évolue dans un chenal de 300 à 400 m de largeur le long de la côte. Le taux de transit littoral estimé sur la côte togolaise est compris entre 1 200 000 m³ et 1 500 000 m³. Etant donné qu'entre le port et le littoral, il n'y a pas d'autres sources d'apport sédimentaire, c'est à partir du littoral que le transit doit se reconstituer ; c'est la cause principale de l'érosion observée à l'Est du port après la construction de la jetée principale ;
- L'exploitation de carrière de graviers sur la côte Est du port accentue le phénomène d'érosion côtière.

2.3.3. Conséquences socio-économiques

L'impact de l'érosion côtière a été mis en évidence par le recul du rivage occupé par l'homme et ses activités. Les conséquences consécutives sont :

- La route internationale côtière a été à plusieurs reprises sectionnée. L'ancien tracé, parallèle au trait de côte, a été donc abandonné au profit d'une autre voie construite beaucoup plus à l'intérieur des cordons ;
- De nombreux villages et espaces ruraux de la frange côtière ont été emportés sur une distance latérale de 300 à 400 m et sont toujours exposés aux attaques des vagues : des cocoteraies tombent en mer avec la perte des terres assez importante. Le segment de côte PK32 à PK35, dans la localité d'Agbodranfo, est un des points

sérieusement érodé du fait de la structure de la flèche sableuse en relation avec la surface lagunaire et d'autre part de l'importance socio-économique du village ;

- La perte des terres et des plantations de cocotiers, des villages suivis de déplacement des populations ;
- La perte de la pêche maritime traditionnelle et du commerce de plage ;
- La perte d'emploi de pêcheur, de réparateur de filet et de pirogue.

Par ailleurs, le chômage, la croissance du nombre d'enfants en zone côtière, la paupérisation, la malnutrition, le manque d'infrastructures sociales (pas d'école) sont manifestes. L'exploitation des graviers par des femmes est devenue une activité se substituant à celles qui prévalaient. Beaucoup de femmes exercent donc cette nouvelle activité ; malheureusement, leur santé se dégrade parce que l'activité exige le déploiement d'énergie et de force.



Photo n° 2: Recul du rivage avec destruction de la route côtière à l'Ouest de Kpémé

2.4. Bénin

2.4.1. Zones sensibles à l'érosion côtière

D'Ouest en Est six (06) segments littoraux significatifs peuvent être identifiés sur le littoral béninois :

- Grand-Popo : segment du littoral ayant connu une forte érosion par le passé, puis une tendance à l'engraissement entre 1985 et 1990 et ensuite une tendance à un équilibre dynamique depuis cette période ;
- Embouchure du fleuve Mono « Les Bouches du Roy » : ce segment subit des évolutions morphologiques complexes ; le débouché se déplace sur plus d'une dizaine de kilomètre entre Avlo et Djondji ; la situation s'est beaucoup dégradée depuis 1990 avec la mise en exploitation du barrage de Nangbéto ; de fortes érosions se sont développées pendant la période des crues emportant plusieurs habitations et installations ; en août 1999 le village de Djondji a été touché après Docloboé les années antérieures ; depuis 2000, il n'y a pas eu d'évolutions sensibles ;
- Segment du littoral situé entre Djondji et Adounko-Plage : zone en équilibre dynamique subissant des fluctuations saisonnières moyennes d'environ 25 m pouvant atteindre en cas de tempête exceptionnelle 60 m ; des tendances réelles à l'érosion se font sentir à certains endroits ;
- Segment du littoral situé entre Adounko-Plage et le port de Cotonou : zone en engraissement sous l'influence des ouvrages portuaires ; à l'Ouest immédiat du port on gagne 20 à 25 m/an ;
- Segment du littoral situé entre le port et le débouché du chenal de Cotonou : zone protégée par un épi en enrochement (communément appelé épi Ouest) et qui de fait se trouve actuellement en équilibre dynamique ;
- Segment du littoral constitué par le débouché lagunaire : zone à morphologie variable ayant subi d'importantes modifications depuis la construction du port de Cotonou ;
- Segment du littoral situé entre le débouché lagunaire et un second ouvrage de protection construit en même temps que le port : zone en équilibre dynamique sous l'influence de l'épi de protection communément appelé "épi Est" ;
- Segment du littoral situé à l'Est de l'épi Est : zone en érosion avec un taux d'érosion d'environ 20 m/an à l'Est immédiat de l'épi Est, décroissant vers l'Est et ne dépassant pas 1 m/an vers Kraké à la frontière avec le Nigéria ; c'est également sur le littoral béninois que se trouve le plus important site abritant des carrières de sable

est concentrée. Ces points connaissent des phénomènes d'érosion intense surtout au cours des tempêtes. C'est le cas de certains segments du littoral béninois comme Togbin à l'Ouest de Cotonou.

Des phénomènes cycliques plus complexes dus à la bathymétrie et à la nature des fonds en haute mer devant certaines embouchures peuvent également provoquer des modifications importantes à la propagation des vagues, provoquant des points de concentrations exceptionnelles d'énergie. Les érosions cycliques devant la ville de Grand-Popo sont expliquées par ces phénomènes.

Par ailleurs, la remontée générale du niveau de la mer due à la fonte des glaciers du quaternaire est classée comme une cause naturelle de l'érosion côtière.

- **Causes liées aux activités humaines**

Comme indiqué plus haut le littoral béninois, comme celui de l'ensemble du Golfe de Guinée, est caractérisé par l'existence d'un important transit littoral de sable d'Ouest en Est. L'existence de ce transit et les perturbations que lui font subir les activités humaines constitue une des principales causes de l'érosion côtière au Bénin. Parmi les causes les plus importantes de l'érosion côtière au Bénin, on peut citer :

- La diminution des apports sédimentaires en provenance du Togo suite aux travaux de protection entrepris sur le littoral de ce pays ;
- Les perturbations hydrologiques et sédimentologiques créées par le barrage de Nangbéto ;
- Le blocage du transit littoral par les ouvrages portuaires de Cotonou et la stabilisation du littoral entre le port et l'hôtel PLM à l'Est de Cotonou ; c'est le dernier ouvrage du dispositif de protection mis en place en même temps que les ouvrages portuaires qui est appelé « épi Est » ;
- Les carrières de sable ouvertes le long du littoral, mais qui sont fermées depuis juin 2009.

2.4.3. Conséquences de l'érosion côtière

L'érosion touche de manière très sévère le littoral de Cotonou. Des hôtels et des habitants ont été engloutis par la mer. Un quartier résidentiel est aujourd'hui menacé.

Par ailleurs, l'érosion a causé de graves dégâts au système lagunaire du lac Nokoué.

Rappelons que la lagune de Cotonou a été ouverte en 1885 pour évacuer vers la mer les eaux du Lac Nokoué pendant les périodes de crue des deux fleuves qui s'y jettent : l'Ouémé et la Sô. Depuis sa réalisation jusqu'à la construction du port, le débouché lagunaire présentait des alternances d'ouverture et de fermeture. Sous l'influence du transit littoral le débouché se fermait pendant la saison sèche. Pendant la saison des pluies, le niveau du Lac Nokoué s'élevant, le débouché lagunaire s'ouvre pour déverser ses eaux dans l'Océan.

Mais à partir de 1960, après la construction de la digue Ouest du port, le débouché est resté ouvert de façon permanente.

Si cette situation permettait de réduire les inondations à Cotonou, elle causait au contraire des graves dégâts à l'écosystème lagunaire. En effet, les débits de flux et de reflux dans la lagune devenaient, à l'année longue, suffisamment importants pour causer des problèmes d'érosion des berges et des fonds et de salinisation accrue du Lac Nokoué.

En effet, l'ouverture permanente favorise l'intrusion de l'eau salée dans le chenal de Cotonou et le Lac Nokoué modifiant du coup le peuplement et la production piscicole dans le lac. On a en particulier assisté à l'envahissement du lac par les mollusques, les tarets, qui, en forant des galeries, ont entraîné la dégradation rapide des "acadjas" (Les implantations artificielles de branchages utilisées par les populations comme forme de pisciculture traditionnelles). Des dégâts furent également causés aux habitations construites sur pilotis dans le lac, ainsi qu'aux pirogues des pêcheurs. Il en est résulté une réduction des prises des pêcheurs.

Enfin des villages entiers ont disparu à l'embouchure du fleuve Mono suite à la mise à l'eau du barrage de Nangbéto et aux lâchages de ce barrage pendant la période des crues.



Photo n°3 : Démolition de l'hôtel PLM au PK10 due à l'érosion côtière

2.5. Nigéria

2.5.1. Zones sensibles à l'érosion côtière

Le littoral nigérian (850 km) peut être subdivisé en cinq ensembles géomorphologiques, à savoir :

- Cotonou-Lagos (105 km) : le port et les jetées bloquent complètement le transit littoral qui prédomine suivant l'Est. On trouve dans la documentation (Ibe, 1988 dans [12]) des taux d'érosion entre Badagri et Lagos de 2 à 6 m/an. A Cotonou, la capacité de transport littoral est de 1,2 million de m³/an vers l'Est. A Badagri, le transit littoral commence à ralentir, à cause d'une rotation de la côte de 8° dans le sens des aiguilles d'une montre, à raison d'une capacité de 0,750 million de m³/an seulement. Cette diminution de gradient devrait entraîner des dépôts.

Avant 1908, l'érosion des zones côtières de Lagos n'était pas un problème préoccupant. L'année 1908 est particulièrement significative lorsqu'on étudie l'érosion de la plage Victoria, étant donné que c'est à cette date que débuta la construction des digues du port de Lagos. Les digues ont déclenché un problème d'érosion des plages phénoménales à l'Est de la communication avec Victoria Island.

Depuis cette époque, on a enregistré une érosion côtière supérieure à 1500 m à proximité de la digue Est, réduite à 800 m à une distance d'environ 1,5 km de la digue [26].

On a évalué qu'entre 1912 et 1957, la partie située juste à l'Ouest de la digue du phare (digue Ouest) avait avancé d'environ 600 m vers la mer, alors que la plage Victoria, adjacente à la digue Est, avait reculé d'environ 1200 m vers l'intérieur des terres.

Les autres zones du littoral de l'Etat de Lagos soumises à des risques d'érosion sont les suivantes :

- Littoral de Makoko (15 km de long)
- Littoral d'Ibese (15 km de long)
- Littoral d'Awoyaya/Lambgase (15 km de long)
- Littoral d'Oreta/Igbin/Baiyekun/Ijede
- Littoral d'Ikorodu
- Littoral de Queens Drive
- Littoral d'Agboyi/Oworonshoki (25 km de long)

Le littoral de l'Etat de Lagos s'étendant de la frontière du Bénin à Lagos est stable. Ou ne subit qu'une légère érosion.

- A l'Est de Lagos, vers la côte d'Ondo (115 km) : la capacité de transport se stabilise à un niveau de 0,7 million de m³/an. Etant donné qu'il n'y a aucun apport de sédiments, l'érosion se produit sur environ 15 à 25 km. Au Sud d'Epe, la côte subit encore une rotation dans le sens des aiguilles d'une montre, qui cette fois est de 14° ; la dérive littorale s'achève finalement au niveau de l'Etat d'Ondo. En effet, on constate que les sédiments enlevés par érosion à Bar Beach permettent de maintenir l'équilibre vers l'Est. Ce phénomène, associé à la diminution du gradient de dérive littorale explique pourquoi les phénomènes d'érosion ne sont apparemment pas très prononcés dans la partie orientale de cet ensemble géomorphologique.

- La côte d'Ondo (80 km) appelée également "Mud Coast" : cette côte dont la majeure partie est soumise à une forte érosion est formée de vase, et probablement en majorité de "Chicoco", qui est de terre meuble à teneur élevée en matières organiques, qui s'effrite au toucher et se dissout dans l'eau pour former une suspension noirâtre. On sait toutefois que la rivière Bénin toute proche a toujours eu la réputation de charrier du limon, preuve en est que cette partie de la côte a tendance à connaître des phénomènes d'eaux stagnantes.
- Le Delta du Niger (450 km) est l'un des plus grands deltas du monde. Le Niger qui draine la majeure partie de l'Afrique de l'Ouest à travers des zones de micro-climats, est la source principale des sédiments charriés vers la zone du delta. Les apports de sédiments charriés par les nombreux chenaux sont dispersés par les courants de marée qui forment des mangroves et par les courants côtiers engendrés par la houle. C'est en septembre-octobre que l'apport sédimentaire est le plus important et de décembre à mai qu'il est le plus faible.
- Les côtes d'Akwa Ibom et de Cross (80 km) : la côte océanique relie le flanc oriental du Delta du Niger à l'immense estuaire de Calabar. Elle présente les caractéristiques classiques d'une côte à transit littoral sableux, et même au niveau de la rivière Kwa Ibo, il n'y a pas de barre significative à l'embouchure du fleuve. Ceci explique que le transit littoral vers l'Est, le long de ce tronçon, peut s'élever à 0,5 million de m³/an, ce qui peut être supérieur à l'alimentation en provenance de l'Ouest. Ceci a pour conséquence la possibilité d'une érosion lente et graduelle le long de cette côte.

L'érosion représente un inconvénient généralisé le long des 850 km de côte. Dans le Delta pétrolifère du Niger, en beaucoup d'endroits, le recul de la côte atteint quelques dizaines de mètres par an, et les risques de submersion des zones humides côtières sont importants. A Lagos et Escravos prédomine l'érosion provoquée par l'homme, due au développement du port, et l'on y a relevé des vitesses d'érosion de 20-30 m/an.



Figure n°12 : Littoral nigérian [37]

2.5.2. Causes de l'érosion côtière

- Causes naturelles

Le littoral nigérian ne comporte en principe que deux grands systèmes côtiers :

- L'extrémité du grand système de dérive littorale qui débute au Ghana à Cap des Trois Points et s'achève vers la frontière de l'Etat d'Ondo. Ce système, qui s'étend au Nigéria sur une longueur de plus de 200 km est, du point de vue de l'érosion côtière, le plus difficile à contrôler en raison de la pression démographique qui se manifeste sur le littoral ;
- Le delta du Niger dans lequel nous incluons la côte Est en direction de la frontière du Cameroun, est l'un des plus grands deltas du monde. Du point de vue de l'aménagement côtier, sa population côtière n'est pas importante, et la majorité des problèmes côtiers semblent plus liés aux problèmes dynamiques des méandres du fleuve à l'intérieur de la zone côtière dans son ensemble.

- Causes liées aux activités humaines

L'intervention de l'homme sur l'environnement naturel nigérian a généré des impacts négatifs sur l'équilibre du littoral nigérian. Parmi ces actions anthropiques on peut citer :

- La construction du port de Lagos et des jetées depuis 1908 bloque complètement le transit littoral qui prédomine suivant l'Est ;
- La construction des brise-lames à Lagos entre 1907 et 1912 a, depuis 1913, provoqué une sédimentation sur la plage du phare, ainsi qu'un retrait considérable de Victoria Beach du côté de l'aval ;
- La construction de barrages dans le Delta du Niger qui provoque un déficit sédimentaire du littoral et favorise l'érosion côtière ;
- Le dragage de sable dans les cours d'eau côtiers et les estuaires le long de la côte, particulièrement à Brass, Forcados et Ibéno-Eket
- La construction sur la côte des installations d'exportation du pétrole (réservoirs, oléoducs) représente des perturbations artificielles dans un système naturel dynamique ;
- La dissémination progressive de la forêt vierge de mangroves dans les régions Awoyé et Molume le long des côtes, ainsi que le surpâturage des prairies qui l'avaient remplacée a accéléré l'érosion côtière dans ces régions.

2.5.3. Conséquences de l'érosion côtière

L'érosion côtière a de conséquences socio-économiques au Nigéria. La zone du littoral nigérian, comme dans la plupart des autres pays côtiers de l'Afrique de l'Ouest, est le siège d'importantes activités économiques comme la pêche, l'exploitation pétrolière et les activités touristiques. Ces activités sont menacées par l'érosion en plus de la destruction des infrastructures de base : routes, habitations, hôtels, etc.

A cause de la progression de l'océan sur la plaine côtière, les villages sont déplacés d'un endroit à l'autre de peur d'être submergés par la mer. Les villages d'Odonla et d'Awoyé en sont à leur cinquième site différent.



Photo n°4: Erosion côtière à Victoria Island après trois jours de tempête [26]

III. Etude de cas : Description du phénomène de l'érosion côtière à l'Est de Cotonou au Bénin

3.1. Présentation de la zone

3.1.1. Localisation de la zone

La côte béninoise longue de 125 km se divise en zones à différentes sensibilités érosives faisant l'objet chacune l'objet d'un suivi régulier. La zone la plus menacée se situe à l'Est de l'épi Est (Akpakpa-Cotonou). Les zones concernées sont (fig n°12):

- Le port de Cotonou ;
- La zone de plage entre la traverse et l'épi Ouest ;
- La zone située entre l'épi Est et l'épi Ouest (port de Cotonou-PLM Alédjo) ;
- La zone située à l'Est de l'épi Est (PLM Alédjo-Kraké).



Figure n°12: Vue générale de la zone (Google Earth 2005)

3.1.2. Climat

- Conditions générales

La côte béninoise présente un climat typique des régions équatoriales, constamment chaud et humide. Quatre saisons peuvent être définies dans cette région :

- Une longue saison sèche de mi-novembre à mi-avril ;
- Une longue saison des pluies de mi-avril à mi-juillet ;
- Une courte saison sèche de mi-juillet à mi-septembre ;
- Une courte saison des pluies de mi-septembre à mi-novembre.

- Températures et précipitations

A Cotonou, les températures peuvent atteindre 33°C durant les saisons sèches alors que les températures les plus froides, entre 22 et 25°C, sont plutôt observées en saison des pluies [21]. La température moyenne varie très peu dans la zone côtière du Bénin (environ 27°C à Cotonou). Les variations thermiques sur la côte sont liées à la durée de l'insolation et à l'influence maritime. La période la plus fraîche (juillet-août) correspond, en mer, à la remontée d'eaux froides (upwellings) venant du Sud et rafraîchissent la région côtière.

La zone d'étude reçoit entre 1300 et 1400 mm de précipitations à chaque année. Le régime des précipitations se présente sous forme d'une courbe bimodale avec une pointe en juin

(moyenne de 359 mm) pendant la longue saison des pluies, et une autre pointe en octobre (moyenne de 140 mm) pendant la courte saison des pluies [21].

- **Régime des vents**

Le régime des vents dominants est principalement déterminé par l'anticyclone de l'Atlantique Sud qui est centré entre 25 et 30° Sud et 5 et 15° Ouest, et qui donne naissance au Nord du parallèle 35° à l'alizé du Sud-est et, au Sud de ce parallèle, à des vents d'orientation Ouest. Des informations tirées de diverses études, il a été établi que la direction prédominante du vent est le Sud-ouest (225°) pendant toute l'année. L'influence des vents de cette direction semble toutefois plus importante entre les mois de juillet et de septembre. La vitesse moyenne du vent varie de 3 à 8 m/s, atteignant des vitesses maximales entre juillet et septembre et des vitesses plus faibles entre décembre et janvier [21].

Des phénomènes météorologiques locaux (orages et grains en ligne) peuvent survenir à tout moment de l'année. Ils peuvent générer de forts vents de courte durée, typiquement en provenance de directions comprises entre le Nord et l'Est.

3.1.3. Hydrologie continentale

Les cours d'eau ont une dynamique hydrologique liée d'une part aux précipitations dans le bas-Bénin et, d'autre part, à celles des bassins versants des fleuves Ouémé et Mono qui prennent leurs sources, au Nord, dans une zone climatique avec une seule saison des pluies centrée sur août. Aussi, dans la zone côtière du Bénin, les premières hautes eaux de juin-juillet sont dues aux pluies de la première saison dans les basses vallées des fleuves ; la seconde, en septembre-octobre, est sous l'influence des apports d'eaux des principaux fleuves. Les basses eaux se retrouvent de décembre à mai. Les dénivellations entre les hautes eaux et les basses eaux varient de 1 à 2 m [23].

Le Mono, après la mise en service en 1988 du barrage de Nangbéto à 180 km au Nord de son embouchure, connaît des modifications de son régime hydrologique et sédimentaire, notamment la régulation de son débit liquide et la diminution de ses apports solides. Ceci ne fait qu'aggraver la sous-saturation de la dérive littorale et donc l'instabilité de ce milieu où le cordon subactuel est déjà particulièrement étroit.

3.1.4. Géologie et pédologie

Les sols sableux rencontrés surtout sur le littoral sont fortement carencés en potasse, avec des caractéristiques physiques médiocres.

Les sondages géotechniques effectués dans le cadre des travaux d'aménagement portuaires et côtiers donnent, en moyenne, la stratification suivante pour la coupe géologique des terrains rencontrés [21]:

- De 0 à 5 m de profondeur : sables moyens et grossiers (D_{50} compris entre 300 et 600 μm) ;
- De 5 à 14 m de profondeur : sables fins limoneux gris avec des coquillages à certaines profondeurs (D_{50} de l'ordre de 150 μm) ;
- Entre 14 et 20 m de profondeur : sable grossier (D_{50} supérieur à 500 μm) ;
- Au-delà des 20 m, on rencontre parfois du sable moyen et grossier, soit parfois du limon sableux gris ;
- Ces sables se reposent sur un substrat argileux rencontré entre 35 et 50 m.

3.1.5. Océanographie

- Régime des vagues/houle

Le climat de vague le long de la côte du Bénin est dominé par des vagues "de houle" du S-SSW, spécifiquement une longue période, des vagues à longue-crête avec une propagation directionnelle étroite produite par des orages distantes dans l'Océan Atlantique du Sud. En raison d'un processus de "triage" naturel associé à un processus de propagation de vague sur de grandes distances, ces vagues ont un aspect relativement "uniforme", avec de

vagues à long crêtes et des amplitudes de vagues, des périodes et des directions relativement uniformes. Les conditions persistantes de houle du S-SSW, combiné avec l'orientation de la côte du Bénin, résultent dans un très grand transport de sédiment le long du rivage de l'Ouest à l'Est.

Les vents locaux produisent également des vagues de "mer"; qui sont de période plus courte, des vagues à courte crête, avec de grande propagation. Ces vagues, qui sont superposées au-dessus des vagues de houle, ont un aspect fortement irrégulier et complexe, avec un éventail d'amplitudes, de périodes et de directions de vagues. En général, les vagues de 'mers' sont beaucoup moins importantes que les vagues "de houle".

La figure n°13 présente une rose de vague qui illustre la distribution des vagues au large selon les différentes directions.

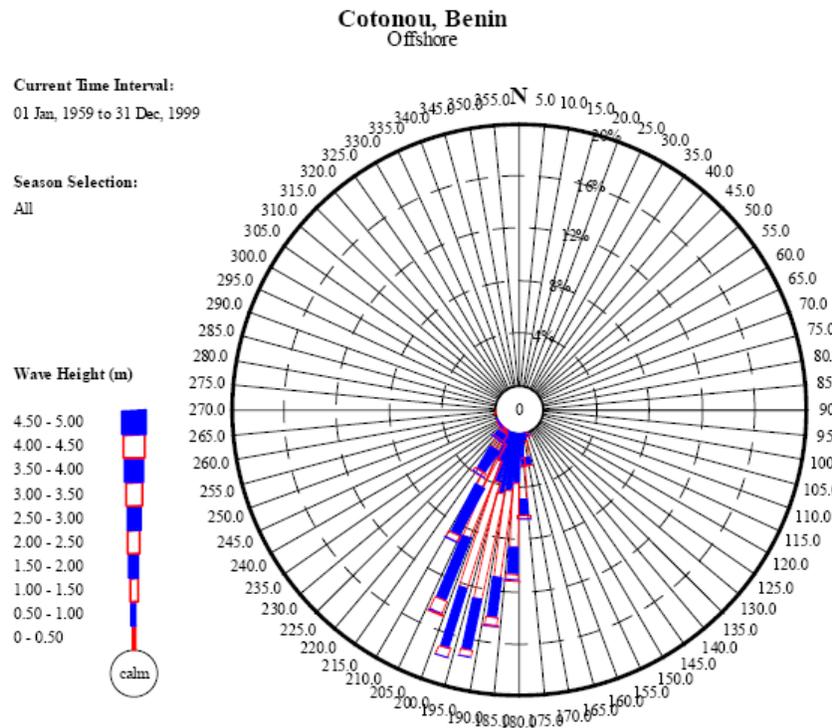


Figure n°13: Rose des vagues au large [19]

La rose des vagues illustre clairement la prédominance de la direction SSW. La hauteur des vagues (H_s) au large se situe entre 0,7 et 1,5 m (environ 90% du temps), avec une période (T_p) de 8 à 16 s (environ 90% du temps). La hauteur maximale des vagues pour la période de 25 ans a été $H_s = 3,1$ m (avec une période de vagues $T_p = 7,3$ s), alors que la période maximale a été $T_p = 22$ s (avec une hauteur $H_s < 1,75$ m). Ces résultats n'incluent pas les

vagues générées localement ; cependant, ces vagues de courtes périodes sont d'une importance secondaire par rapport aux vagues plus longues et plus grosses qui dominent le climat de vagues au Bénin. En général, le climat de vagues est le plus doux dans la période de novembre à février, et le plus sévère en juillet-août.

Une analyse des valeurs extrêmes a montré que les conditions de vagues au large pouvaient atteindre $H_s = 3,5$ m, avec $T_p = 14-18$ s. La hauteur des vagues augmente lorsque celles-ci progressent vers des eaux moins profondes ; la hauteur maximale qu'elles peuvent atteindre est limitée par la profondeur d'eau.

- Marées

Les marées le long de la côte du Bénin sont de type de semi-diurne. Elles sont caractérisées par la présence de deux eaux hautes et de deux eaux basses chaque jour avec des amplitudes presque égales se succédant à des intervalles de 12.5 heures. Nedeco/Delft (1983) fournit un résumé des conditions de marée le long de la côte béninoise, basé sur les tables de marée de l'amirauté britannique. BCEOM (2002) et DANIDA/Ramboll (2003) donnent tous deux un résumé des niveaux de marée à Cotonou, tel que présenté au tableau n°6. Les élévations de référence sont basées sur le zéro hydrographique (ZH) et sur le zéro de l'Institut Géographique National (IGN). La correspondance entre ces deux niveaux est [23]:

$$\text{IGN} = \text{ZH} + 0,535 \text{ m.}$$

Tableau n°6: Elévations de la marée à Cotonou, Bénin

Description	Elévation (m ZH)
Marée haute moyenne de vives-eaux (MHMVE)	1,8
Marée haute moyenne de mortes-eaux (MHMME)	1,0
Niveau d'eau moyen (NM)	0,75
Marée basse moyenne de mortes-eaux (MBMME)	0,4
Marée basse moyenne de vives-eaux (MBMVE)	-0,2

Source : [21]

L'amplitude des marées de vives eaux est donc de 2 m environ (MHMVE = + 1,8 m ZH, MBMVE = -0,2 m ZH).

Des phénomènes météorologiques locaux, comme la surélévation du plan d'eau associée à un vent et/ou des hautes et basses pressions, peuvent conduire à des fluctuations locales de niveaux d'eau à court terme.

- Courants

Plusieurs mécanismes différents peuvent générer des courants dans la zone côtière. Dans la région côtière de l'Afrique de l'Ouest en général, et plus particulièrement celle du Bénin, ils comprennent :

- Les courants océaniques généraux ;
- Les courants de marée (i.e., flot et jusant) dus au débit d'eau douce provenant de la lagune ;
- Les courants de surface générés par les vents ;
- Les courants générés par les vagues, perpendiculaires ou parallèles à la côte.

En ce qui concerne les courants océaniques, les circulations giratoires du Nord et du Sud de l'Océan Atlantique résultent en un courant vers l'Est le long de la côte d'Afrique de l'Ouest. Cet écoulement, appelé le Courant de Guinée, a une vitesse de moins de 0,3 m/s.

Le courant littoral généré par les vagues est considéré de grand intérêt, étant donné qu'il s'agit du courant le plus fort et qu'il constitue la force principale de transport de sédiments dans la zone côtière. Des courants plus faibles, à plus grande profondeur, tels que le courant de Guinée, sont également d'intérêt en raison du transport de matières en suspension (particules fines, telles que les silts et les argiles) et de matériaux dragués au large, particulièrement les particules fines.

3.2. Dynamique sédimentaire et évolution du trait de côte

3.2.1. Aperçu des processus côtiers et la dynamique sédimentaire

La plage de la zone est très ségréguée avec du sable moyen à grossier (D_{50} de 0,4 à 0,7 mm) confiné à une plage supérieure abrupte au-dessus de la ligne correspondant au niveau d'eau moyen. On retrouve des profils plus plats de sable plus fin (D_{50} de 0,15 à 0,25 mm) au large de cette limite.

Sur la base d'une revue des données de profils disponibles (figure n°14), plusieurs caractéristiques distinctes sont notées :

- Les élévations de la crête de la plage varient de la façon suivante :
 - o Profils d'accrétion (zone à l'Ouest du port) : +2 à +3 m ZH ;
 - o Profils stables (zone centrale) : +4 à +5 m ZH ;
 - o Profils d'érosion (zone à l'Est de l'épi Est) : +4 à +5 m ZH.

- La pente de la face de la plage (zone de roulis) varie de la façon suivante (selon Nedeco/Delft, 1983) :
 - o Profils d'accrétion (zone à l'Ouest du port) : 1 :30 à 1 :40 ;
 - o Profils stables (zone centrale) : 1 :10 à 1 :15 ;
 - o Profils d'érosion (zone à l'Est de l'épi Est) : 1 :50 à 1 :80.
- La barre caractéristique notée de -2 à -4 m ZH dans certains sondages ;
- Une cassure de pente distincte de -11 à -12 m ZH, avec une pente très plane au-delà (cette caractéristique correspond à la transition du sable au silt).

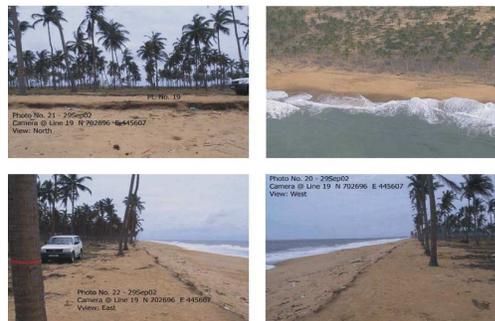
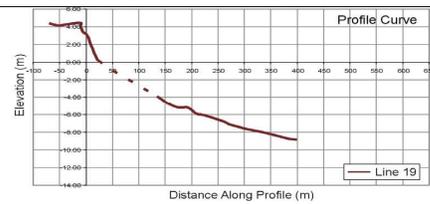
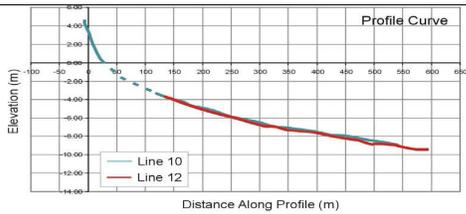
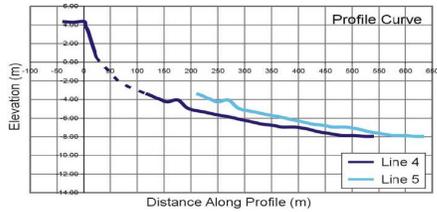


Figure n°14 : Quelques profils de plages [19]

Avant la construction du port, le processus primaire le long du littoral était le transport de sable de l'Ouest vers l'Est par le régime des vagues persistant. C'est le caractère fortement non linéaire des houles de haut-fond à faible cambrure qui favoriserait un fort potentiel de transport le long du littoral. Il y a aussi un courant océanique (le Courant de Guinée), allant de l'Ouest vers l'est, mais ce courant est faible dans la zone près du littoral comparativement aux courants générés par les vagues déferlantes.

La construction du port en 1959-63, avec la digue Ouest s'étendant jusqu'à une profondeur d'eau d'environ 10-12 m, eut comme effet de créer une barrière complète au transport de sable le long du littoral. En conséquence, une plage s'accumula rapidement en amont et à l'Ouest du port. L'épi Ouest et l'épi de Siafato furent construits en même temps que le port, et ancrèrent avec succès la ligne de rivage sur un tronçon de 3 km à l'Est du port. La dynamique du chenal de Cotonou fut néanmoins altérée de façon significative par la construction du barrage en 1977, et suite à son enlèvement partiel en 1984.

IPD/Baird (2003) a utilisé un modèle numérique basé sur le processus COSMOS afin d'estimer le transport de sable du littoral (TSL), à partir d'un régime historique des vagues sur 40 ans (1960 à 2000). L'estimation résultante de la moyenne annuelle du taux de TSL était de 1 000 000 m³/an vers l'Est avec une variation annuelle de $\pm 50\%$. Les estimations d'IPD/Baird (2003) sont généralement concordantes avec les résultats d'études antérieures, datant de la conception originale du port, tel que décrit dans Sireyjol (1967), qui estimaient le taux de transport annuel autour de 1 à 1,5 Mm³/an.

3.2.2. Evolution du trait de côte

Plusieurs études ont permis de documenter l'accrétion progressive en amont et l'érosion en aval suite à la construction du port, en particulier Nedeco/Delft (1983), SOGREAH (1991, 1992) et IPD/Baird (2003). En effet, l'infrastructure portuaire a interrompu (bloqué) le transport de sable le long du littoral, résultant en une accrétion de la ligne de rivage à l'Ouest et une érosion de la ligne de rivage à l'Est. Les figures n°15,16 et 17 présentent une série de positions progressives du rivage, superposées à une image satellite de 2002, pour les zones en amont, centrale et en aval [19].

L'accrétion de sable en amont du port a été engendrée par la construction du port originellement la digue Ouest, et subséquentement l'épi d'arrêt de sable ; Il est à noter que la zone centrale (i.e. entre le port et l'épi de Siafato) a été relativement stable depuis que le

port a été construit, grâce aux ouvrages de protection côtiers (épi Ouest et épi de Siafato) qui furent construits en 1962-63. Cet impact du port avait été prédit au moment de sa conception et de sa construction, et ces mesures de protection furent implantées de manière à protéger la ville de Cotonou. Le littoral en aval de l'épi de Siafato fut laissé sans protection. L'érosion sévère (Figures n°17) et le développement incontrôlé en aval de l'épi de Siafato ont créé des problèmes significatifs dans cette zone.

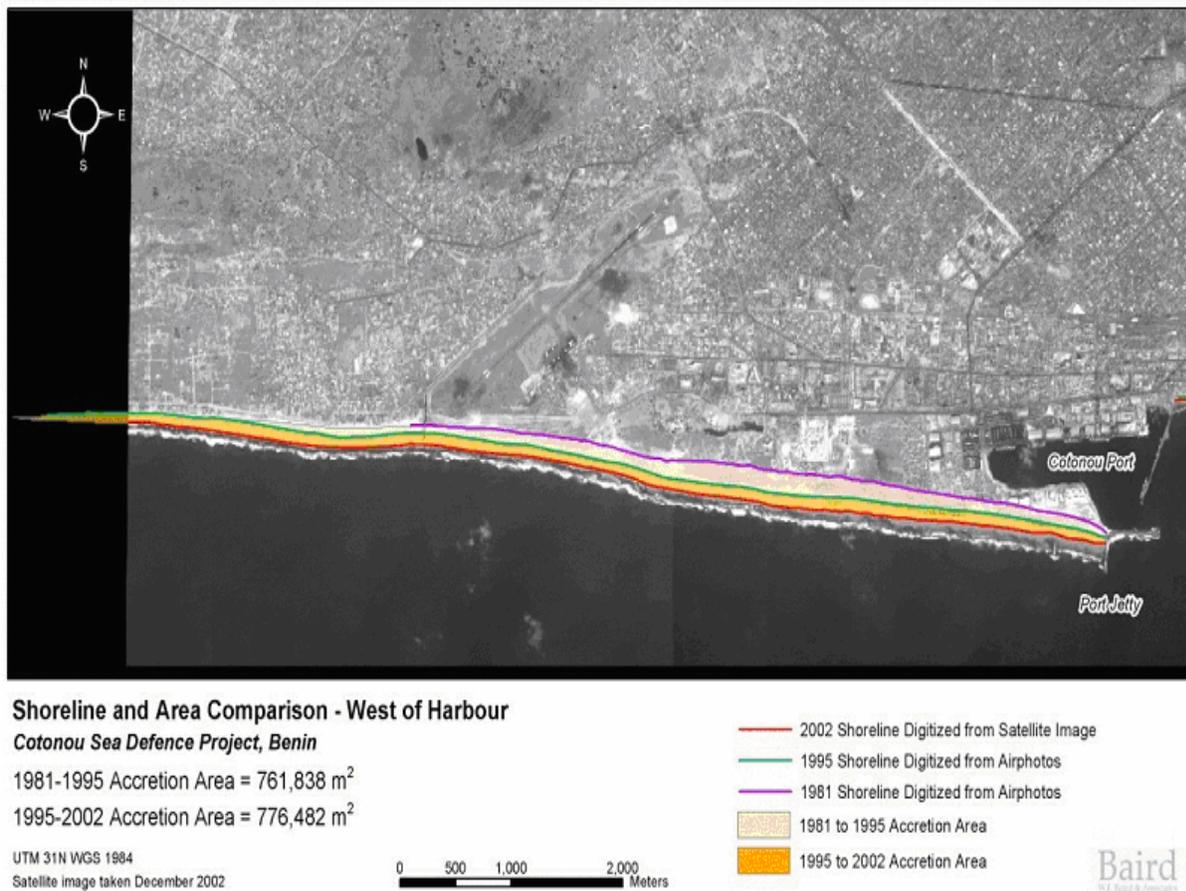


Figure n° 15: Comparaison du rivage et de la surface à l'Ouest du port [19]



Shoreline and Area Comparison - Harbour to Epi Est
Cotonou Sea Defence Project, Benin

1981-1995 Erosion Area = 127,123 m²

UTM 31N WGS 1984
 Satellite image taken December 2002



- 2002 Shoreline Digitized from Satellite Image
- 1995 Shoreline Digitized from Airphotos
- 1981 Shoreline Digitized from Airphotos
- 1981 to 1995 Erosion Area

Baird
 W.E. Baird & Associates

Figure n°16: Comparaison du rivage et de la surface du port à l'épi est [19]



Shoreline and Area Comparison - East of Epi Est

Cotonou Sea Defence Project, Benin

1981-1995 Erosion Area = 660,626 m²

1995-2002 Erosion Area PART 1= 368,020 m²

1995-2002 Erosion Area PART 2= 314,725 m²

UTM 31N WGS 1984

Satellite image taken December 2002

0 500 1,000 2,000 Meters

- 2002 Shoreline Digitized from Satellite Image
- 1995 Shoreline Digitized from Airphotos
- 1981 Shoreline Digitized from Airphotos
- 1995 to 2002 Erosion Area Part1
- 1995 to 2002 Erosion Area Part2
- 1981 to 1995 Erosion Area

Baird
W.F. Baird & Associates

Figure n°17 : Comparaison du rivage et de la surface à l'Est de l'épi Est [19]

La digue Ouest du port ayant bloqué le transit littoral et la zone située entre le port et l'épi Est étant stabilisée, l'érosion s'est reportée sur la partie du littoral située à l'Est de ce dernier épi. A partir de cet endroit, s'est développée une très forte érosion. A l'Est immédiat de l'épi Est, dans la zone appelée la crique de Cotonou, on a perdu plus de 650 m de largeur de bande de terre depuis 1963, soit un taux moyen d'érosion de plus de 15 m/an. L'érosion de cette partie du littoral se manifeste de façon continue depuis la construction du port et des épis. Elle s'est poursuivie jusqu'à ces derniers jours et est liée à la diffraction de la houle autour de l'épi Est. Malheureusement, c'est à l'Est de cette zone que de nombreuses carrières de sables étaient ouvertes depuis la suppression des carrières situées à l'Ouest du port sous la pression des populations. C'est près d'un million de m³ de sable qui sont extraits annuellement de ces carrières, soit plus de 80% du transit. Toute la zone située entre le port et la frontière avec le Nigéria devait être considérée aujourd'hui comme en érosion avec des taux d'érosion décroissant d'Ouest en Est [24].

Une comparaison des profils de plages sondées en 2002 et en 2006 indique que l'accumulation à l'Ouest de l'épi d'arrêt de sable serait de l'ordre de 10 à 20 m sur les quatre ans, tandis que la plage aurait reculé d'environ 40 m dans le secteur d'érosion pendant ce temps [21].

3.3. Actions de lutttes contre l'érosion côtière

Jusqu'ici les mesures mises en œuvre pour la protection de nos côtes ont été d'une efficacité relative. Elles ont consisté en des constructions d'ouvrages.

3.3.1. Actions antérieures

- Les ouvrages mis en place au moment de la construction du port de Cotonou

Les premiers travaux de protection de la côte sur le littoral béninois ont été exécutés en même temps que les ouvrages portuaires. Comme indiqué plus haut les ouvrages portuaires et en particulier la digue Ouest devait arrêter la totalité du transit littoral en provenance de l'Ouest. Le littoral à l'Est du port devait donc connaître une érosion importante, la dérive littorale conservant à l'Est sa capacité de transport de stable. Des mesures de protection du littoral ont été alors prises. On a alors étudié et mis en place une série d'ouvrages constituée par :

- Un épi (appelé Epi Ouest) enraciné à l'angle du rivage maritime et du prolongement de la rive Ouest de la lagune ;
 - Un épi en lagune de faible longueur (80 m) destiné à limiter les déplacements du chenal vers l'Ouest ;
 - Une défense longitudinale entre ces deux ouvrages ;
 - Un épi Est construit à 2 km environ de l'épi Ouest.
- ##### **- Projet pilote de lutte contre l'érosion côtière financé par l'OUA, le PNUE**

Ce projet a été implanté dans la « crique » sur une distance d'environ 500 m. Il a consisté en la mise en place de 6 petits épis en gabions. Mais ces ouvrages n'ont pas fonctionné et les épis sont aujourd'hui, isolés sur la plage en 1999, ont entièrement disparu.

- **Projet du groupe « Espace Pur »**

Le groupe français Espace Pur de M. Jean CORNIC a fait une proposition technique à titre expérimental qui a consisté en la mise en place d'épi Stabiplate (en boudins remplis de sable). Le projet a permis de mettre en place 6 Stabiplates en deux batteries de 3 épis chacune sur une distance d'environ 0,5 à 1 km. Mais ces ouvrages ont été également détruits.

3.3.2. Actions en cours

Bien que le phénomène d'érosion affecte toute la côte maritime du Bénin, le Gouvernement a choisi dans son programme d'action de protéger prioritairement un segment urbain de 7,5 km qui s'étend de l'hôtel PLM Alédjo à l'hôtel Palm Beach (PK 11), compte tenu particulièrement des dégâts importants observés dans cette zone qui rassemble beaucoup d'infrastructures publiques et privées.

Le projet consiste à réhabiliter l'épi de SIAFATO, à construire un revêtement de consolidation par remblai dans la partie la plus sensible de la côte et à construire 7 nouveaux épis à l'Est de l'épi de SIAFATO sur une distance de 7,5 km de côte.

- En zone 1 (de l'Hôtel Alédjo à l'épi N°1 Mosquée de la Cité Vie Nouvelle) :
 - o Construction d'un nouvel épi-Est de 303 m de long qui est en fait l'ancien épi-Est de Siafato réorienté;
 - o Un revêtement de haut de plage en blocs de pierre, long de 290 m parallèlement au trait de côte pour protéger la partie la plus sensible de la crique ;
 - o Construction de l'épi N°1 de 160 m de long avec un ancrage de 15 m, en forme de L pour emprisonner le sable (estimée à 340 000 m³) de la cellule que constitue la zone 1.
- En zone 2 : Epis N°2 à 7 de longueurs comprises entre de 160 m et 180 m s. Ils seront espacés de 900 à 1100 m.

Ce projet vient d'être lancé en juin 2009.

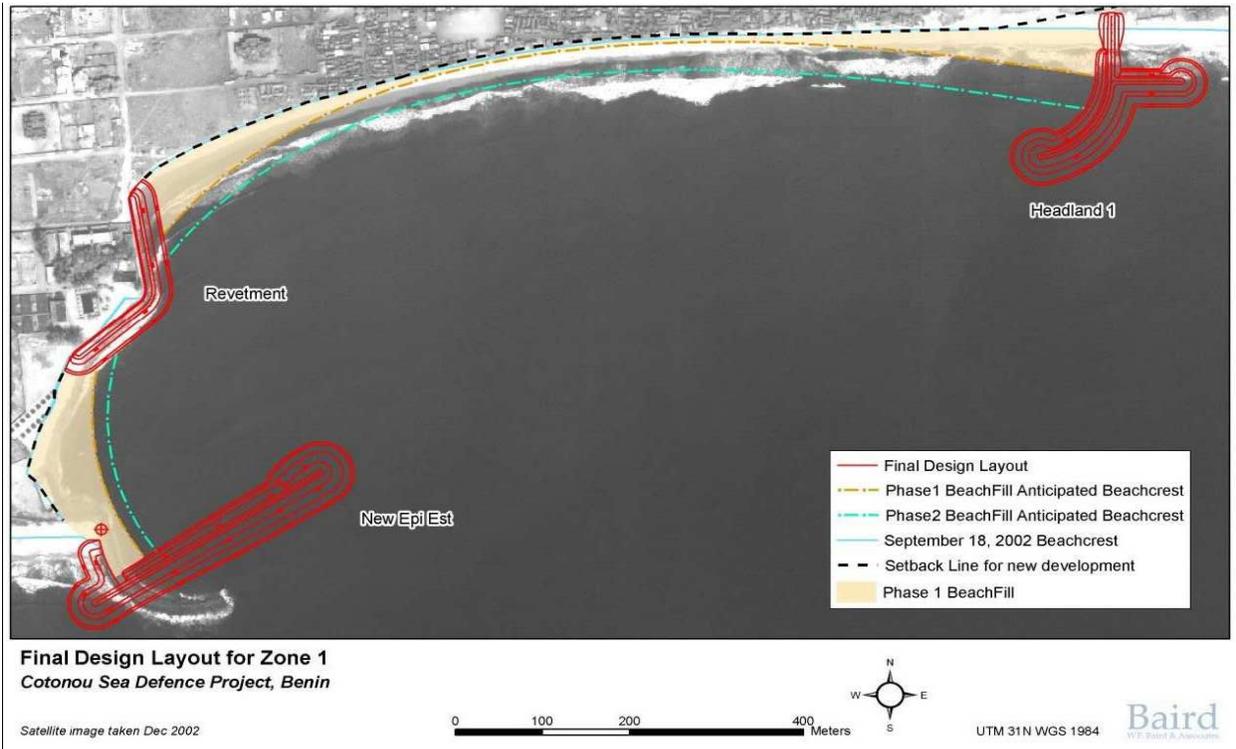


Figure n°18: Vue d'ensemble du projet : zone 1 [19]

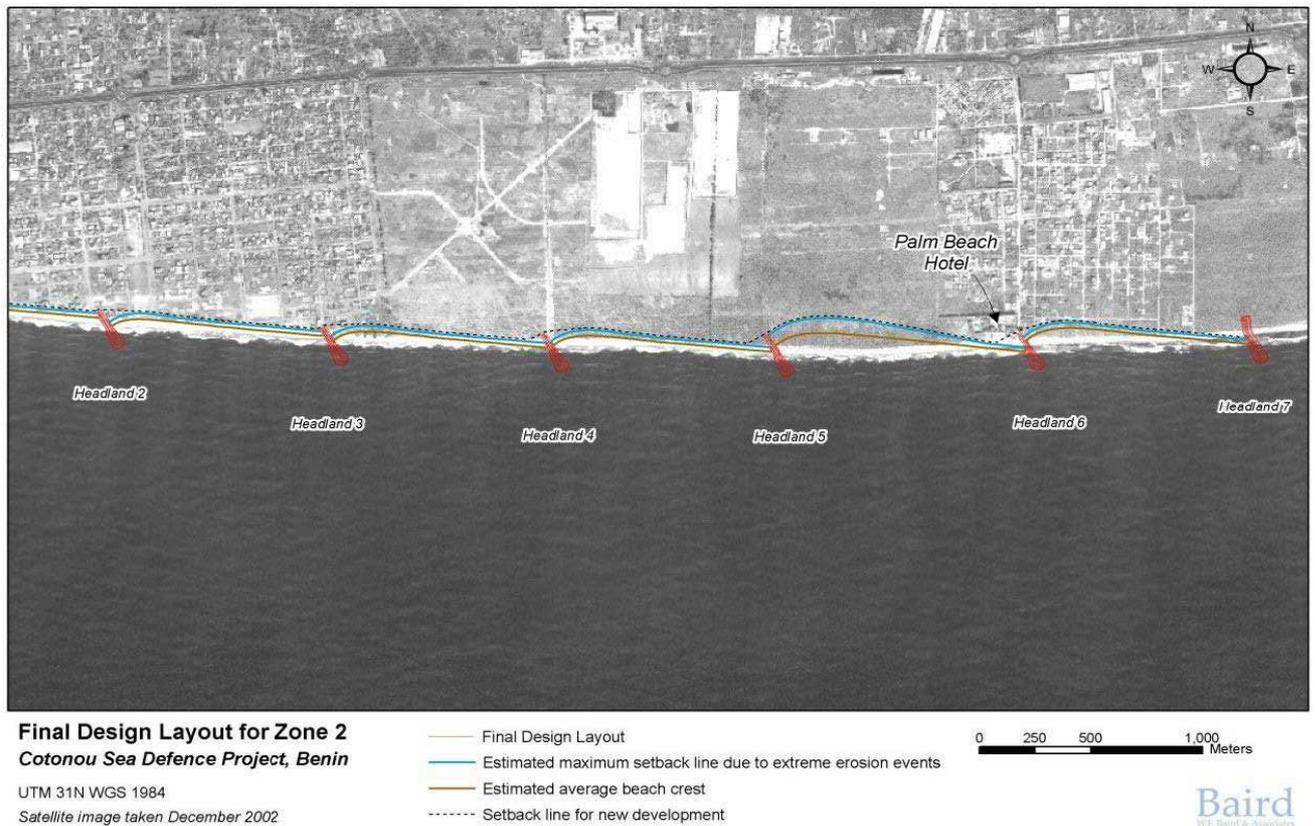


Figure n°19: Vue d'ensemble du projet : zone 2 [19]

L'impact du présent projet sur l'érosion des rivages vers la basse dérive dépendra du futur climat de vague et les plans et les actions d'expansion du port liés à la disposition du sable dragué. Avec le manque d'approvisionnement des sections de la haute dérive et à condition que le futur climat de vague demeure le même que les 40 dernières années, on s'attend à ce que le rivage du secteur vers la basse dérive du projet s'érode à une vitesse encore plus rapide que l'érosion historique vers la basse dérive d'Epi Est. La figure n°20 montre les futurs rivages prévus pour 10 et 20 ans à l'avenir basés sur un taux moyen annuel de transport littoral de sédiments de 1.000.000 m³ et un approvisionnement nul des régions vers la haute dérive.

Ce problème d'érosion éventuelle dans le secteur aval de la dérive littoral pourra être résolu en adoptant une politique d'urbanisation d'avant garde et une gestion efficace de la zone côtière qui empêchent toute nouvelle construction dans les secteurs identifiés comme zones potentielles d'érosion.

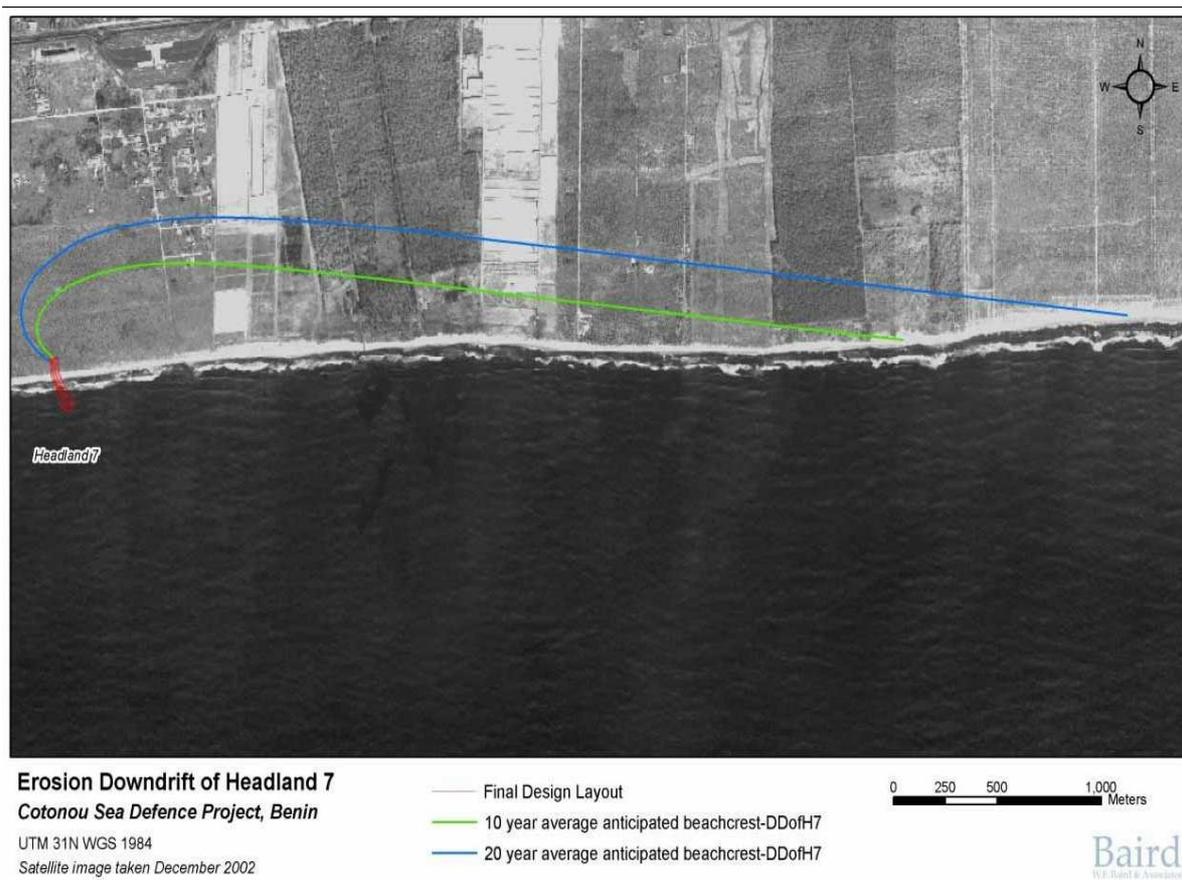


Figure n°20: Les futurs rivages prévus pour 10 et 20 ans à l’avenir [19]

Conclusion Générale et recommandations

Les actions des éléments terrestres (géologie et tectonique) et des éléments marins (variations récentes du niveau de la mer, et des climats, dérive littorale et courants) se conjuguent étroitement pour donner à la zone littorale du Golfe de Guinée sa morphologie actuelle.

Une subdivision reconnaît dans le Golfe de Guinée les trois domaines géo-morphologiques suivants :

- Du Cap Palmas au Cap des Trois Points (Côte d'Ivoire et extrémité Ouest du Ghana) : côte équatoriale humide, d'abord rocheuse, puis avec plaine côtière, puis de nouveau rocheuse, avec plateau étroit ;
- Du Cap des Trois Points à la lagune de Lagos (Ghana, Togo, Bénin, Nigéria occidental) : côte équatoriale humide avec plaine côtière, quelque peu rocheuse vers l'Ouest, et plateau de largeur variable ; ce segment est caractérisé par la présence du grand delta de la Volta ;
- Delta du Niger (Nigéria) : assez individualisé, étant donné l'important apport sédimentaire, plateau de largeur moyenne.

Au cours des dernières décennies, les interventions humaines sont devenues un facteur de plus en plus important dans l'évolution de la zone littorale, comme dans l'évolution d'un certain nombre de phénomènes extérieurs ayant un impact sur cette zone. La fragilité des côtes du Golfe de Guinée est préoccupante à plus d'un titre.

Les principaux aménagements portuaires et côtiers ayant influencé les processus en jeu sur la côte du Golfe de Guinée sont les suivants :

- Aménagement de débouchés avec jetées et dragages dans les cas du Canal de Vidri en Côte d'Ivoire et du port de Lagos au Nigéria ;
- La construction de grands ports avec des digues s'avancant en mer à Takoradi, Sekondi, Téma au Ghana, Lomé au Togo et Cotonou au Bénin ;
- La construction d'ouvrages de défense localisés, constitués de revêtements, de défenses longitudinales et d'épis ;
- L'extraction de sable en tant que matériau de construction à plusieurs endroits, et l'apport de sable à Victoria Beach au Nigéria pour maintenir le profil de cette plage ;
- Les dragages de certains estuaires le long du Delta du Niger.

Le phénomène d'érosion côtière touche l'ensemble des pays du Golfe de Guinée, dont la Côte d'Ivoire, le Ghana, le Togo, le Bénin et le Nigéria. L'érosion côtière est due à des facteurs naturels et anthropiques.

Les facteurs naturels sont liés à la géomorphologie des côtes (faible pente, substrat sableux) et à des phénomènes hydrodynamiques provenant de l'océan (remontée du niveau de la mer, courants, insuffisance des apports sédimentaires des fleuves, etc.).

Les facteurs anthropiques découlent des divers aménagements portuaires, des ouvrages sur la côte et des prélèvements divers (sables, graviers, etc.) entraînant ainsi la perturbation de l'équilibre naturel.

Le phénomène d'érosion côtière entraîne un recul de la côte variant de 1 à 15 m par an, voir 30 m par an en moyenne. Il touche souvent les zones à forte concentration humaine, d'où des conséquences socio-économiques graves (destruction des plages, destruction des villages, destruction d'infrastructures industrielles et hôtelières, perturbation des activités de pêches, etc.).

Pour lutter contre ce fléau, les pays de la sous région ont entrepris des actions aux niveaux national et régional.

On dit souvent que la fin d'une étude est souvent le point de départ d'autres études. Cette étude qui constitue en une étude bibliographique, devrait être poursuivie dans le cadre d'une thèse pour nous permettre de faire une analyse de vent/houle/niveau de la mer pour voir s'il a une tendance sur le long terme permettant d'expliquer une partie de l'accentuation de l'érosion côtière dans la région.

Pour combler certaines lacunes afin de mieux comprendre le phénomène de l'érosion côtière dans la région, il est nécessaire d'envisager des actions ci-après :

- La collecte et le traitement des données nécessaires à une meilleure maîtrise des causes du phénomène de l'érosion côtière. Ce qui permettra de disposer de données et d'analyses à partager entre les Etats ;
- Le suivi de l'évolution du trait de côte par divers moyens (images satellitaires, photographies aériennes, levés de profils de plage, levés des petits fonds, etc.) afin de disposer de données sur le long terme et de déterminer les taux d'érosion par segment de littoral en vue d'une meilleure maîtrise de l'ampleur du phénomène ;
- L'étude des phénomènes complexes des embouchures des grands fleuves;
- L'élaboration de schéma directeur du littoral, y compris les cartes de sensibilité à l'érosion côtière ;
- L'élaboration de lois littorales prenant en compte les aspects juridiques liés aux fluctuations de la ligne de rivage ;
- Le suivi du fonctionnement des ouvrages de protection mis en place.

Revue bibliographique

1. Abe J. (2005) – Contribution à la connaissance de la morphologie et de la dynamique sédimentaire du littoral ivoirien (cas du littoral d'Abidjan) : essais de modélisation en vue d'une gestion rationnelle. Thèse de Doctorat d'Etat ès sciences naturelles, spécialité : Océanologie.
2. Adam K. S. (1988) – L'évolution géomorphologique de la plaine côtière dans le Golfe du Bénin. Cahiers géologiques, n°III, 1988, Université P. M. Curie, 75005 Paris. 935-943 pp.
3. Adam K. S. (1990) - Le littoral du Golfe du Bénin, atout stratégique. Colloque international "Défense de côte et protection du littoral". Université nationale du Bénin. 15 p.
4. Adam K. S., Devine N. (1993) – Quantification of to Benin from an accelerated sea level rise. International Sea-Level Rise Studies Project, Phase II. 15 p.
5. Aman A., Testul L., Woodworth P., Aarup T., Dixon D. (2007) – seasonal sea Level variability in the Gulf of Guinea from altimetry and tide gauge. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 09 (2007) 105-118 pp.
6. Awosika L. F., Abe J. – Coastal circulation dynamics in the Gulf of Guinea: important subsect of the Large Marine Ecosystems Project.
7. Blivi A. (1993) – Erosion côtière dans le golfe de Guinée en Afrique de l'Ouest : exemple du Togo. Université d Lomé. 9p
8. Bourlès B. (2009) – Master 2 « Océanographie physique et applications ». CIPMA, Chaire UNESCO de l'Université d'Abomey-calavi. 193 p.
9. Ceda (1998).- Profil de la zone côtière du Bénin. 93p.
10. Commission des Communautés Européennes (1989).- Erosion côtière dans le Golfe de Guinée : Aspects nationaux et régionaux.
11. Ibe A. C., Abe J. (2002) - Introduction to physical oceanographic processes in the Gulf of Guinea.
12. Ibe A. C., Quélenec R. E. (1989) – Méthodologie d'inventaire et de contrôle de l'érosion côtière dans la région de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Rapport et études des mers régionales n°107. 107 p.

13. Johnson D., Blivi A., Houedakor K., Kwassi A., Sena N. (2001) – Le littoral du Togo: données et gestion intégrée.
14. Kaki C., Oyédé L. M. – Dynamique littorale et environnement : l'érosion côtière et les mesures de défense contre la mer au Bénin (Afrique de l'Ouest). Département des Sciences de la terre, Université nationale du Bénin. 19p.
15. Koudoro D., Leffi L. (2007) – Contribution de la télédétection et du système d'information géographique dans la lutte contre l'érosion côtière au Bénin. CENATEL. 19 p.
16. Lang J., paradis G. (1977) – Un exemple d'environnement sédimentaire bio-détritique non carbonaté marin et continental, holocène, en climat intertropical : le domaine margino-littoral du Bénin méridional (ex-Dahomey). Revue de géographie physique et de géologie dynamique (2), vol. XIX, fasc. 3. Paris. 295-312 pp.
17. Le Loeuff P., Marchal J.-B., Kothias A. – Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome I – le milieu marin. ORSTOM.
18. Mamadou T., Kouadio A., M'Vamoua D. E., Kouamé A., Sékou D. (2008) – Influence de la morphologie et de la sédimentologie dans le choix d'une technique de protection des côtes : cas du segment de côte d'Assouindé (Assinie, Côte d'Ivoire). European journal of Scientific Research. Vol. 21 n°4. 650-661 pp.
19. MEHU (2003) – Projet pour la protection contre l'érosion côtière à l'Est de l'épi de Sifato – Cotonou. 121 p.
20. Migniot Cl. (1977) – Action des courants, de la houle et du vent sur les sédiments. Extrait de la Houille Blanche n° 1/1977. 46 p.
21. Millenium Challenge Account Bénin (2009)- Projet d'agrandissement et de modernisation du port de Cotonou : Etude d'impact environnemental approfondie rapport final, volumes I et II.
22. ONUDI (1998) – Profil environnemental du littoral du Togo. 71 p.
23. Oyédé L. M. (1991).- Dynamique sédimentaire actuelle et messages enregistrés dans les séquences quaternaires et néogènes du domaine margino-littoral du Bénin (Afrique de l'ouest). Thèse pour l'obtention du Doctorat en Géologie sédimentaire.
24. Oyédé L. M., Kaki C. (1998).- 15 mois d'observations et d relevés de paramètres physico-chimiques sur le littoral et la lagune côtière du Bénin (mars 1996-mai 1997) : Dynamique sédimentaire et environnement. 61p.

25. Oyédé L. M., Toffi D. M., Dégbey J.-B., Adisso P., Djiman R. (1999).- Les caractéristiques physiques du littoral béninois. Projet de construction d'abris pour la pêche maritime artisanale. 50p.
26. PNUÉ (1985)- Erosion côtière en Afrique de l'ouest et du Centre. Rapports et études des mers régionales n°67. 30 p.
27. Portman J. E., et al. (1989). Etat du milieu marin : Région de l'Afrique de l'ouest et du Centre. PNUÉ : rapports et études des mers régionales n°108.
28. Prudencio E. H., Singh B., André P. (2002): Vulnérabilité de la zone côtière du Bénin à un rehaussement relatif du niveau marin : état de la question et préconisations. Département de Géographie, Université de Montréal. Annales Géo. N°623, 25-40 pp.
29. Salomon Y. K. (2005).- Origine et évolution des sables du littoral entre Fresco et Assinie. Mémoire de DEA de l'université de Cocody à Abidjan en Côte d'Ivoire.
30. Tastet J.-P. (1972).- Quelques considérations sur les classifications des côtes. La morphologie côtière ivoirienne. Annales de l'Université d'Abidjan – Série (Sciences) – Tome VIII, 2. 135-162 pp.
31. Tastet J.-P. (1979).- Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Cote d'Ivoire, Togo, Bénin).Thèse de Doctorat d'Etat à l'université de Bordeaux I.
32. UNESCO (1995) – Atelier régional sur les risques naturels en Afrique de tropicale : le cas de l'érosion côtière (Bilan, perspectives). Lomé, Togo.
33. Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) (2005)- Etude portant sur l'élaboration d'un programme régional de lutte contre l'érosion côtière. Volume1 : Programme régional de lutte contre l'érosion côtière dans les pays côtiers membres de l'UEMOA. 102p.
34. Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) (2005)- Etude portant sur l'élaboration d'un programme régional de lutte contre l'érosion côtière. Volume2 : Annexes. 131p.
35. Viers G.- Eléments de géomorphologie. 49 p.
36. Woodworth P., Aman A., Aarup T., (2007) – Sea level monitoring in Africa. African Journal of Marine Science 2007, 29 (3): 321 – 330 pp.

37. Google Map