



ETUDE DE SUIVI DU TRAIT DE COTE  
ET SCHÉMA DIRECTEUR LITTORAL  
DE L'AFRIQUE DE L'OUEST

*ETUDE DE CAS AU SENEGAL*

**EVOLUTION DE LA LIGNE DE RIVAGE  
A RUFISQUE DE 1954 A 2006.  
UN OUTIL POUR LA COMPREHENSION  
DE L'IMPACT DES OUVRAGES DE  
PROTECTION SUR L'EROSION COTIERE**



EVOLUTION DE LA LIGNE DE RIVAGE  
A RUFISQUE DE 1954 A 2006.  
UN OUTIL POUR LA COMPREHENSION  
DE L'IMPACT DES OUVRAGES DE PROTECTION  
SUR L'EROSION COTIERE

**Abdoulaye NDOUR**

## TABLE DES MATIERES

I.	INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE.....	5
II.	PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE .....	7
2.1	LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE.....	7
2.2	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES .....	8
2.3	CARACTERISTIQUES PHYSIQUES .....	11
III.	METHODOLOGIQUE .....	17
3.1	ACQUISITION DES DONNEES.....	17
3.2	LE REDRESSEMENT DES PHOTOS ET IMAGES SATELLITAIRES.....	18
3.3	LE CHOIX DE LA LIGNE DE RIVAGE (LIGNE DE REFERENCE).....	19
3.4	MESURE DES EVOLUTIONS ET DETERMINATION DES TAUX D'EVOLUTION .....	20
3.5	ESTIMATION DES ERREURS .....	22
IV.	EVOLUTION DIACHRONIQUE DU TRAIT COTE DE 1954 A 2006.....	23
4.1	LA PERIODE DE 1954 A 1980 (FIG. 6) .....	23
4.2	LA PERIODE DE 1980 A 1997 (FIG. 7) .....	24
4.3	LA PERIODE 1997 A 2006 (FIGURE 8).....	25
4.4	LA PERIODE D'ETUDE DE 1954 A 2006 (FIGURE 9).....	27
V.	CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS.....	29
VI.	PRESENTATION SYNTHETIQUE DES RESULTATS.....	30
VII.	PRESENTATION SYNTHETIQUE DES RESULTATS.....	31
7.1	CONTEXTE .....	31
7.2	LES RAISONS .....	32
7.3	LES OBJECTIFS (LISTE NON EXHAUSTIVE).....	32
7.4	ESTIMATION DU COUT DE PROLONGEMENT DU MUR EN ENROCHEMENTS .....	33
7.5	ESTIMATION DU COUT DE LA MESURE DE L'ELEVATION DU NIVEAU MARIN.....	33
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	34
	METADONNEES .....	36
	LISTE DES ILLUSTRATIONS.....	39

## RESUME

L'érosion côtière qui a longtemps était une menace pour le littoral de Rufisque avait conduit à la construction d'ouvrages de protection dont les véritables aménagements ont vu le jour dans les années 1980, conduisant à une dégradation de l'environnement naturel de certaines plages ou à leur disparition. La comparaison entre les positions de la limite d'humectation de l'estran, observées à partir de photographies aériennes et d'image satellitaire de 1954 à 2006 montre une forte évolution régressive des plages de - 0,4 à - 1,5 m/an, à l'exception de la plage de la centrale thermique du cap de Biches qui est en équilibre voir en progradation (+0,15 m/an). Cette évolution a connu cependant une variation spatio-temporelle très importante surtout après le durcissement de la quasi-totalité des estrans par les murs de protection. Ainsi l'étude de l'évolution à long terme (mi-séculaire) de la ligne de rivage à une phase antérieure et postérieure à la construction de ces derniers a permis de juger leur impact sur cette évolution. En effet au delà de l'atténuation du recul du trait de côte qu'ils ont permis juste après la période qui a suivi leur construction et la protection qu'ils offrent aux riverains contre les fortes houles de la saison des pluies et qui actuellement est très minime, les murs de protection ont intensifiés les taux de recul de la ligne de rivage à Rufisque surtout aux extrémités de ces ouvrages par des phénomènes de contournement. Cette variation spatio-temporelle et cette intensification sont actuellement plus manifestes avec la supposée augmentation du niveau marin attribuable aux changements avec des taux pouvant atteindre - 3 m/an.

**Mots clés :** Rufisque, ligne de rivage, limite d'humectation ouvrages de protection, progradation, érosion.

## I. INTRODUCTION ET CONTEXTE DE L'ETUDE

Les zones côtières se définissent dans un sens large comme des systèmes dynamiques où les processus continentaux et marins interagissent. Au sein de cet écosystème très complexe se sont développées de grandes villes à l'instar de celles de l'Afrique de l'Ouest (Dakar, Abidjan, Conakry, Cotonou, etc.). Une des problématiques majeures de cet interface est le phénomène d'érosion côtière surtout dans un contexte de changement climatique; et donc l'avenir des grandes villes côtières dans l'espace UEMOA. Selon Paskoff (1993), ce phénomène affecte plus de 70% des côtes sableuses.

L'érosion côtière se manifeste par un recul de la ligne de rivage, pouvant être accompagnée par l'inondation des terres basses côtières, la destruction d'écosystèmes tels que les mangroves, les zones humides, le comblement des lagunes et constitue une menace pour leur biodiversité. Elle représente une atteinte à la pérennité des infrastructures côtières, contribue à la salinisation des aquifères (pénétration des eaux salées à l'intérieur des terres, du biseau salé dans les aquifères côtiers) et des eaux fluviales. Cette situation contribue à la précarisation des conditions de vie des populations.

La côte sénégalaise fait plus de 700 km de long et représente la façade occidentale de sept régions administratives avec 18 départements. Il existe un besoin de connaître les taux d'érosion côtière, l'impact des ouvrages de protection sur l'évolution de la morphologie du littoral afin de ne pas effectuer des aménagements qui seront appelés à disparaître ou auront des conséquences néfastes.

Le littoral du département de Rufisque figure parmi les littoraux les plus menacés par l'érosion côtière au niveau de la Petite Côte du Sénégal. La gravité du phénomène avait imposé dès les années 1980 la construction d'ouvrages de protection dont les premiers ont été le champ d'épis de Diokoul, le mur en béton construit au fond de la baie de Rufisque ainsi que le mur en enrochements de Keuri Souf. Cependant vue l'accélération de l'érosion côtière, d'autres structures telles que des murs en béton ont vu le jour dans les années 1990 alors que le mur en enrochements était prolongé jusqu'à la hauteur du cimetière de Mérina-Thiawllène. Durant la même période a été construit, de part et d'autre du marigot de Diokoul le mur en béton dont une partie protège le cimetière musulman alors que le reste du quartier a été protégé par un mur en enrochements. Ce littoral a fait l'objet de nombreuses études antérieures parmi lesquelles, on peut citer celles de Diallo (1982), de Niang Diop (1995) et de Dièye (2000). Elles constituent donc une base de données qui peut servir de repère.

L'étude de Niang Diop (1995) a été effectuée avant la construction des murs en béton présents actuellement sur ce littoral et se focalisait en grande partie sur la compréhension du fonctionnement morpho-sédimentaire et de l'évolution historique de la ligne de rivage, ceci dans un contexte où l'influence des ouvrages de protection n'était pas aussi manifeste qu'elle ne l'est actuellement, alors que Dièye (2000) s'est limité à l'étude de l'évolution du trait de côte entre 1968 et 1997.

Après plus de 10 ans de fonctionnement, il s'avère nécessaire d'évaluer les taux d'évolution de la ligne de rivage à l'échelle d'un demi-siècle afin de déterminer l'impact de ces ouvrages de protection sur l'érosion côtière.

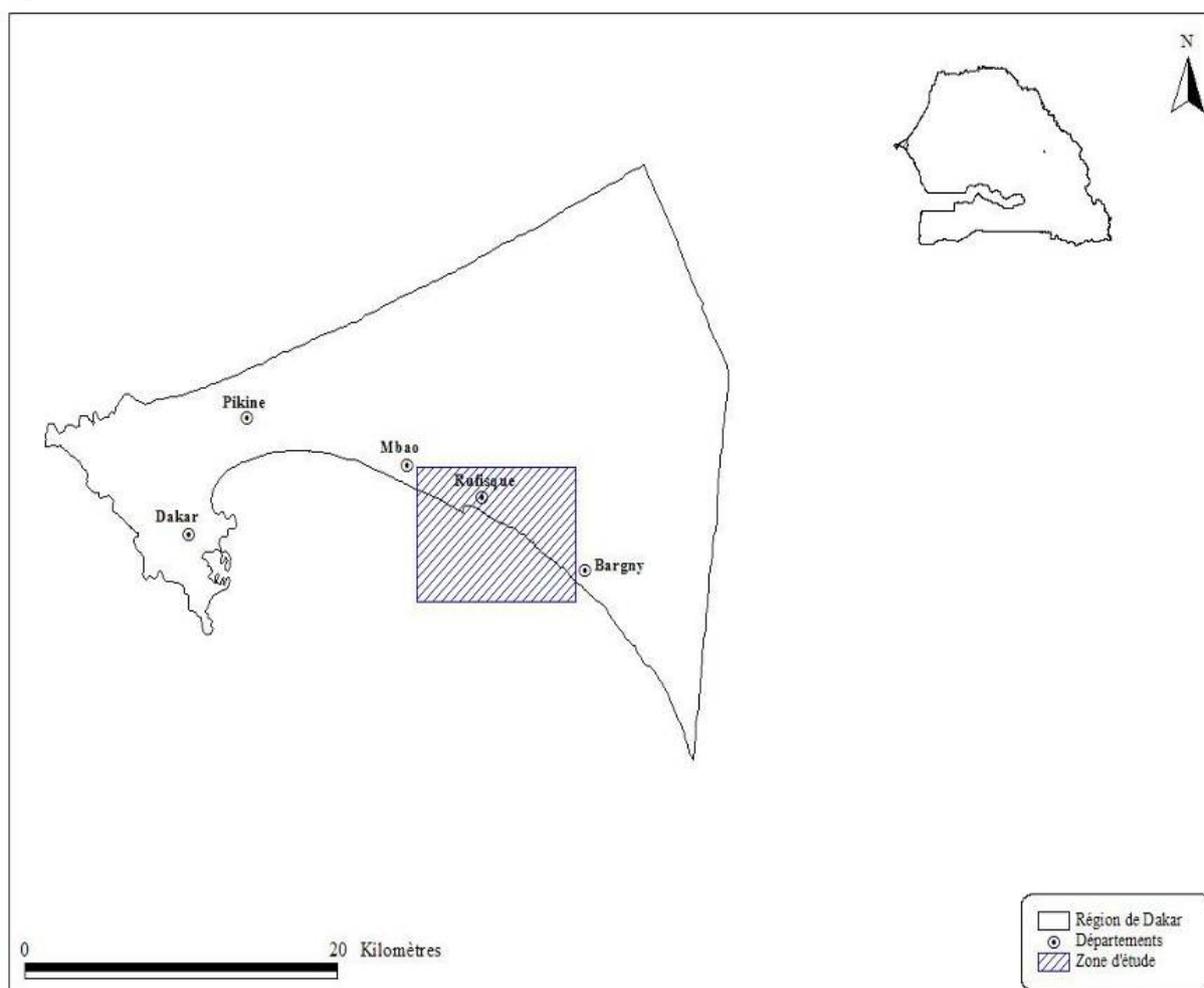
L'analyse de l'évolution à long terme (ici à une échelle mi-séculaire) des plages permet d'appréhender le contexte morpho-dynamique dans lequel sont réalisées les observations à court et moyen termes (Dehouck, 2006). Sur le littoral de Rufisque trois phases d'évolution peuvent être constatées pour la période allant de 1954 à 2006 : la période de 1954 à 1980, marquée par une évolution "naturelle" des plages ; la période de 1980 à 1997, caractérisée par la construction des ouvrages de protection et la période actuelle, de 1997 à 2006, caractérisée l'augmentation du niveau marin attribuable aux changements climatiques.

## II. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

### 2.1 LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Le littoral de Rufisque est situé au sud de la presqu'île de Dakar. Cette presqu'île est comprise entre les méridiens 17°30' et 17°00' Ouest et entre les parallèles 14°30' et 15°00' Nord. La portion de littoral qui fait l'objet de notre étude est comprise entre Mbao et Bargny (fig.1).

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude



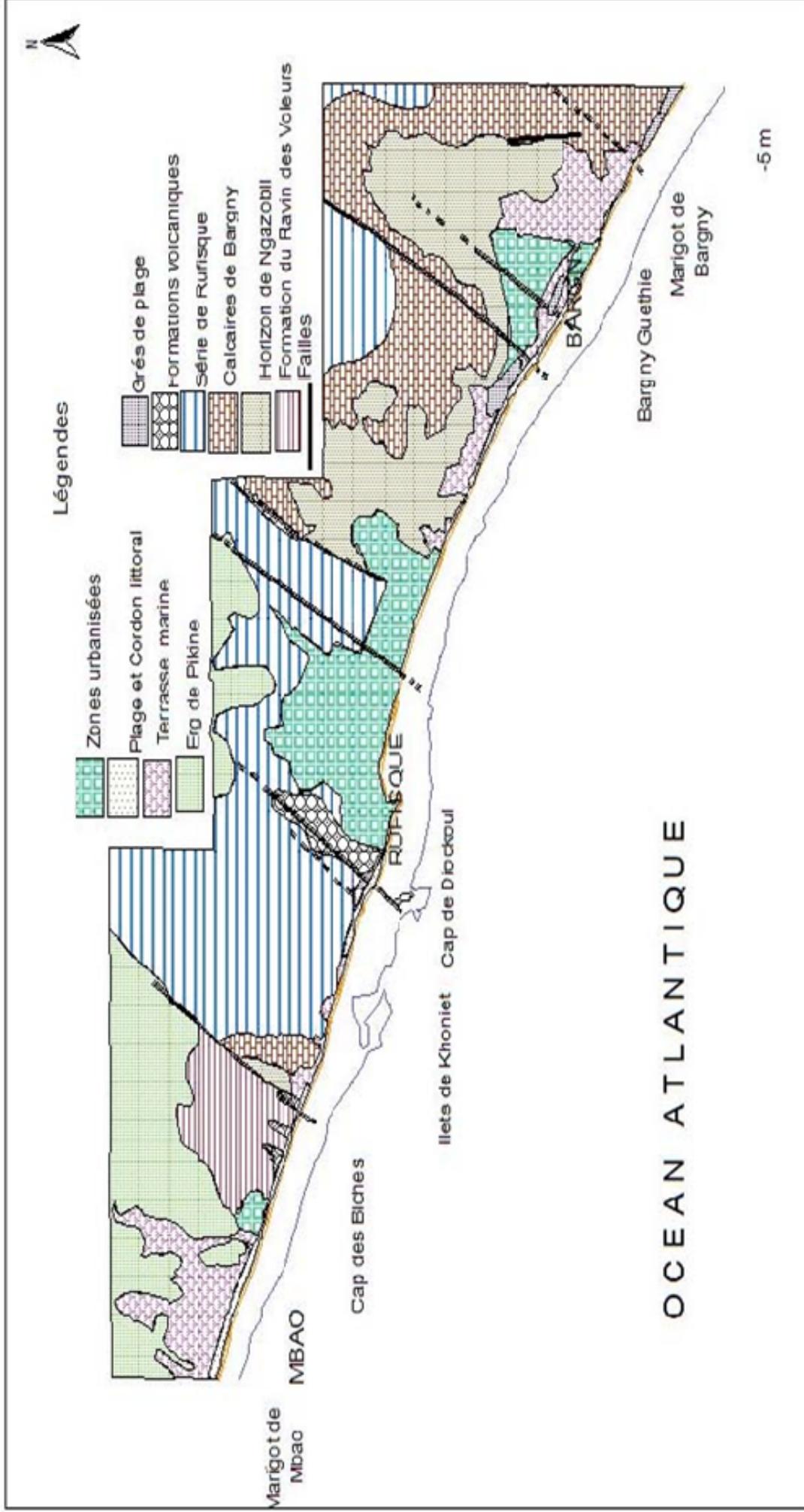
## 2.2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

Le littoral de Rufisque est dans l'ensemble une côte basse et sableuse où l'on observe des formations essentiellement d'origine marine. Le secteur étudié comprend, d'Ouest en Est : la zone de la falaise du Cap des Biches constituée du calcaire de Bargny (alternance de marnes – calcaires d'âge Lutécien) (Brancart, 1975, Elouard et al., 1976a), la zone allant jusqu'au cap de Diokoul, limitée par un cordon littoral et la partie urbanisée de la ville qui s'étend jusqu'à Bata

Les différents affleurements rencontrés dans le secteur compris entre Mbao et Bargny sont essentiellement d'âge tertiaire à quaternaire (fig.2).

Entre le Cap des Biches et Rufisque, il s'agit de couches de l'Eocène inférieur et moyen formées de calcaires, de marnes et d'une alternance marno-calcaire, riches en faunes littorales ; mais aussi de cherts, de formations sablo-argileuses et volcaniques du Miocène. Les affleurements quaternaires sont constitués de grès de plage, de dépôts de sables azoïques ou riches en faunes littorales (Brancart, 1977).

Figure 2 : Géologie de la région comprise entre Mbao et Bargny (d'après Elouard et al., 1976)



Le cap rocheux de Diokoul divise ce littoral en deux : la partie Nord-Ouest presque rectiligne, qui constitue l'extrémité de la baie de Hann et la partie Sud-Est qui correspond à la baie de Rufisque. Dans la première zone, la côte s'élève pour constituer une falaise (la falaise du cap des Biches), taillée dans les calcaires de Bargny avec des structures en « drop stone ». Cette falaise, prolongée par une plate forme d'abrasion, est bordée de part et d'autre d'une micro falaise. Cette micro falaise est constituée au nord ouest par des marnes feuilletées à petites plaquettes calcitiques qui semblent reposer sur des blocs plus ou moins arrondis de nature diverse (roches volcaniques et calcaires), visibles en période d'érosion. A une centaine de mètres la microfalaise disparaît sous un cordon à sables coquilliers et la plage est recouverte de galets de nature diverse (roches volcaniques calcaires). Plus au Nord Ouest, vers la nouvelle cité SIPRES, la microfalaise est constituée d'une alternance de sables coquilliers et de minces lits de marnes altérées.

Du Cap des Biches à la centrale thermique, la microfalaise est constituée d'une alternance de marnes gris jaunes et de calcaires d'âges yprésiennes.

Puis on observe un cordon littoral d'une altitude moyenne de +2 à +2,5 m dont la couverture végétale est essentiellement constituée par des figuiers de Barbarie (*Opuntia tuna*) (Demoulin, 1967 ; Diallo, 1982) observables notamment avant le cimetière musulman de Diokoul (Photo 1). Sur cette partie du littoral on note la présence de murs de protection en béton au niveau du cimetière de Diokoul et le long d'une partie de ce quartier et d'un mur en enrochements qui va jusqu'au cap de Diokoul.

**Photo 1** : Végétation caractéristique du cordon littoral de Rufisque (*Opuntia tuna*).  
Photo prise le 19 octobre 2005.



La baie de Rufisque se caractérise par une forte urbanisation et la présence d'ouvrages de protection, à l'exception du fond de la baie et de l'extrémité Sud-Est comprise entre Bata et Bargny.

L'avant côte du littoral de Rufisque est marquée par la présence de bancs (de la Résolue, des Biches, de Bargny) et des îlets de Khoniet ; et au large, par le haut-fond de Rufisque. Les facteurs hydrodynamiques qui interviennent au niveau de ce littoral sont essentiellement les vents, et surtout les houles qui transportent la majeure partie des sédiments. Elles sont constituées de houles de Nord Ouest (NW), de houles de Sud Ouest (SW) et de houles exceptionnelles d'Ouest (Nardari, 1993).

Les houles de NW sont présentes pendant toute l'année. Elles subissent des phénomènes de réfraction et une série de diffractions au niveau de la presqu'île de Dakar et arrivent avec une direction SW sur la côte Sud en perdant tout ou partie de leur énergie.

Les houles de SW affectent la côte de Rufisque uniquement pendant la saison des pluies. Les houles exceptionnelles d'Ouest, engendrées par des cyclones dans la mer des Caraïbes, se manifestent d'octobre à décembre et sont plus énergétiques que les autres. A l'instar de la Petite Côte les courants induits par les houles sont de deux types : les courants de dérive littorale, de direction dominante Nord Ouest - Sud Est qui interviennent à long terme et les courants perpendiculaires à la côte. Ces deux types de courant seraient responsables des transports sédimentaires au niveau du littoral de Rufisque (Niang-Diop, 1995).

L'hydrologie continentale est marquée par l'absence de cours d'eau permanents. Elle est principalement représentée par les marigots de Diokoul et de Bargny qui débouchent dans des lagunes, plus ou moins longtemps en eau, situées en arrière d'un cordon littoral qui peut être rompu en hivernage par les eaux pluviales. Le marigot de Diokoul est actuellement en voie de disparition suite aux nombreux dépôts d'ordures ménagères qui le comblent.

## 2.3 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

L'intervention de l'homme sur le littoral de Rufisque se résume essentiellement à des extractions de sables et à des aménagements sous forme d'ouvrages de protection.

### 1. Les extractions de sables

Les problèmes d'érosion côtière peuvent être liés à des problèmes de déficit sédimentaire qui sont souvent d'origine anthropique. Les extractions de sables, qu'elles soient effectuées dans la plage sous-marine ou sur la plage aérienne, auront pour conséquences à long terme le recul de la ligne de rivage.

Le littoral entre Mbao et Bargny a été depuis longtemps un site privilégié pour le prélèvement de sables et de coquilles, du fait de la richesse du cordon en coquilles et de la qualité de son sable de plage. Ces sites sont localisés principalement entre Mbao et Diokoul, et à la sortie de Rufisque, à proximité de l'usine Bata. Ainsi, Niang Diop (1995) avait estimé les prélèvements entre 1500 à 2400 m<sup>3</sup> par an pour la zone de Rufisque. De plus, entre 1927 et 1933, 47410 tonnes de sables ont été prélevées lors de l'extraction de l'ilménite au niveau des plages de Rufisque (Niang Diop, 1995).

## 2. Le chenal de refroidissement de la Centrale thermique de la SENELEC

Il s'agit d'une structure perpendiculaire au rivage d'une largeur de 10 m et qui s'étend maintenant sur environ 200 m depuis la côte. Sa base se trouve à -3 m de profondeur et son bord supérieur à + 3m au dessus du niveau de la mer. Sow (1994) en a fait la description suivante.

Il est constitué par deux rideaux de palplanches Larsen III ancrées à -5,5 m et qui sont surmontées par deux poutres longitudinales de couronnement en béton armé. Ces poutres sont maintenues par des butons transversaux distants de 10 m, également en béton armé. Deux rails sont fixés sur les poutres de couronnement et permettent la circulation d'un chariot utilisé pour le dragage et l'entretien du chenal.

Dans la conduite principale du canal, le terrain naturel a été excavé jusqu'à la côte -3,70 m ; un radier en moellons de 10 à 30 kg est posé sur toute la longueur du canal sur une épaisseur de 0,7 m.

La structure du canal est renforcée à l'extérieur par du tout venant de carrière recouvert par des moellons de 10 à 30 kg protégés par des enrochements de 100 à 300 kg (photo 2).

La digue, située à l'extrémité du chenal et de forme trapézoïdale, est constituée d'un noyau de tout venant de carrière recouvert par des enrochements de 100 à 300 kg sur une épaisseur de 1 m, puis par des cubes de béton de 2,2 tonnes déposés en vrac sur une épaisseur de 2 m environ. Le sommet de la digue se situe à +5 m au dessus du niveau de la mer avec une largeur de 3,5 m

**Photo 2 :** Chenal d'alimentation en eau de refroidissement de la centrale thermique du Cap des Biches (photo prise le 19 octobre 2005).



### 3. Le Champ d'épis de Diokoul

D'après Niang-Diop (1995), il a été construit dans le cadre d'un projet d'aménagement du quartier de Diokoul conduit par ENDA et conçu par l'Ecole Polytechnique de Lausanne (FREIBURGHAUS et al., 1981). C'était un projet qui visait la construction de 12 épis de 47m de long et espacés de 85m avec une largeur de 2m au niveau de la plage aérienne, de 4 m au niveau de l'extrémité située en mer dont la hauteur serait comprise entre 0,5 et 2 m. La phase expérimentale a été menée en 1983 aboutissant à la construction de 3 épis, le troisième épi ayant été arrêté à 20 m de long. La reprise des travaux de manière intermittente et désordonnée aboutit en 1987 à la construction de 9 épis de longueurs très incomplètes. En 1990, la longueur restante des épis variait entre 2 et 27 m et un certain nombre d'imperfections apparaissaient (désagrégation des blocs de latérite ouverture de gabions) (Seck, 1990).

C'est par la suite que le Ministère de l'Equipement décida de mettre en place d'autres structures considérées comme plus efficaces (Seck, 1990) : les murs de protection dont les travaux commencèrent en 1990.

Ces ouvrages (les épis) ont pour fonction de piéger une partie des sédiments transportés parallèlement à la côte, mais mal dimensionnés et/ou mal conçus, ils peuvent entraîner des érosions au-delà de l'épi situé le plus à l'aval dans le sens prédominant de la dérive littorale. Ainsi l'inefficacité de ce champs d'épi au niveau de ce littoral pouvait donc être interprétée par un mal dimensionnement, une mauvaise conception et par le fait que ces structures n'interrompent pas les transports perpendiculaires à la côte, principaux facteurs responsables de l'érosion observée à Rufisque (Niang-Diop, 1995).

### 4. Les murs de protection

On en distingue deux types à Rufisque :

**Les murs en béton** construits de part et d'autre du marigot de Diokoul. La partie la plus longue mais la moins haute a été construite en face du cimetière musulman de Diokoul.

Cette partie qui protège le cimetière est actuellement très endommagée, notamment ses parties extrêmes, suite à des affouillements à la base, qui se sont effondrées (photo 3).

**Photo 3 :** Rupture et effondrement de l'extrémité Sud du mur de protection du cimetière musulman de Diokoul en juillet 2005 (photo prise le 19 octobre 2005),



De l'autre côté ne subsistent que quelques segments du mur, la plupart s'étant affaissés avec mise à nu du géotextile sur lequel ils reposaient. En avant de ce mur, actuellement renversé, a été construit un nouveau mur vertical en béton armé d'une hauteur double du premier mais moins épais (photo 4).

**Photo 4 :** Etat du mur en béton de Diokoul au niveau du quartier et après effondrement. (Photo prise le 07 octobre 2006)



**Les murs en enrochements** (au niveau de Diokoul puis entre Keuri Souf et Bata) : il s'agit d'une digue trapézoïdale qui avait une largeur de 12 m à la base et de 5 m au sommet. Ce sommet qui se situait à +5 m au dessus du zéro hydrographique (Niang Diop, 1995) n'est actuellement qu'à environ à +3 m ou moins, suite à son affaissement et au déplacement des moellons de calcaire du sommet vers l'arrière par les houles (photo 5).

**Photo 5 :** Disparition de la plage le long du mur en enrochements de Keuri Souf-Thiawlène.

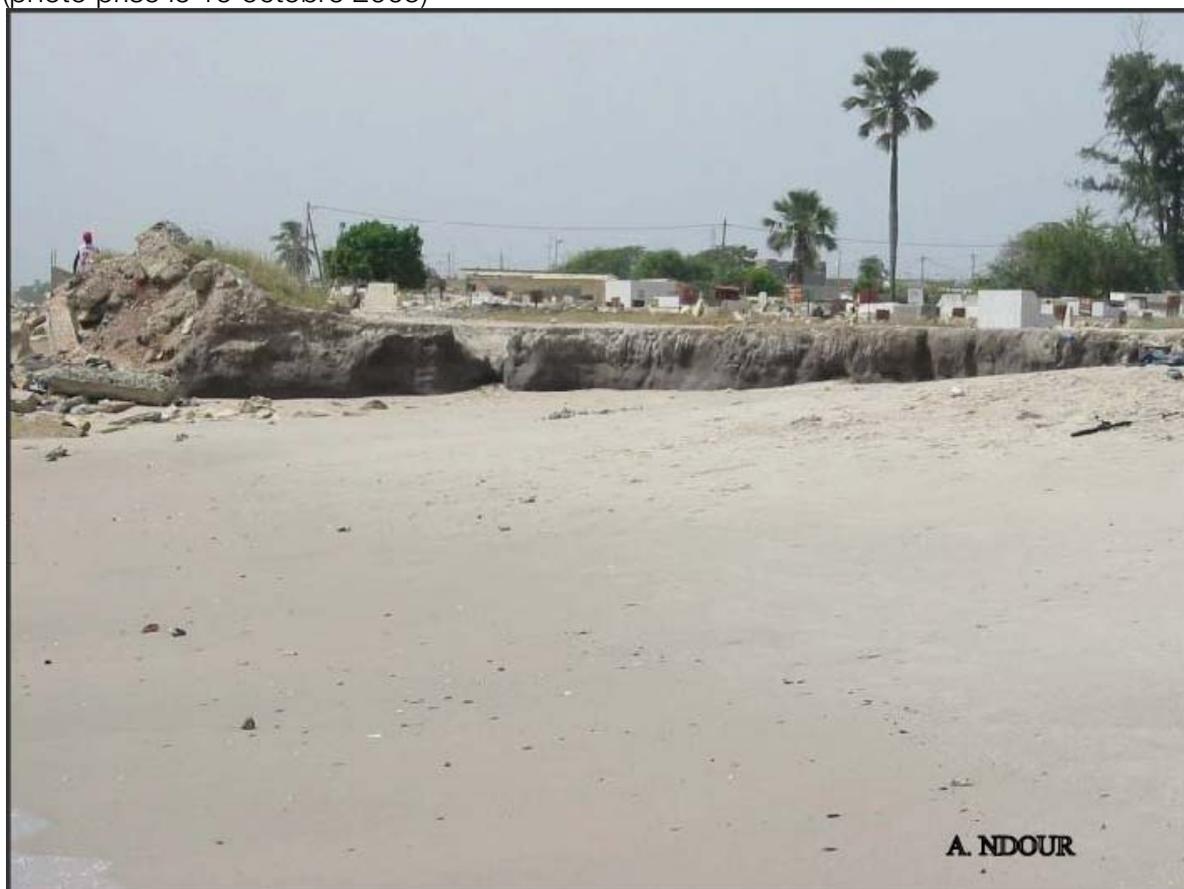
(Photo prise le 19 octobre 2005),



Cet affaissement est plus accentué à Thiawlène où certaines parties de l'enrochement sont effondrées. Ainsi, le franchissement du mur par les vagues est maintenant très fréquent. De plus, les ordures ménagères déversées sur le mur, rendent la côte insalubre tout le long du mur.

Le sapement de la base du mur entraîne l'éboulement par endroits des blocs de basaltes et une disparition du reste de l'estran. Par ailleurs, on remarque une avancée de la mer (par effet de contournement du mur), à l'extrémité du mur en enrochements, vers la fin du cimetière de Thiawlène, avec formation d'une microfalaise (photo 6).

**Photo 6 :** Micro falaise due à l'érosion à l'extrémité du mur en enrochements, au droit du cimetière de Thiawlène (effet de contournement)  
(photo prise le 19 octobre 2005)



### III. METHODOLOGIQUE

Au niveau du littoral de Rufisque, l'étude de l'évolution de la ligne de rivage a été faite par des auteurs tels que Diallo (1982) dont la méthodologie n'a pas été précisée, par Niang-Diop, (1995) et Dièye, (2000) qui ont utilisé la méthode des points repères mais par des voies différentes. En reprenant cette étude, notre objectif était de réactualiser les taux d'évolution avec une méthode beaucoup plus sophistiquée et à une échelle de temps plus longue, surtout dans un contexte où les impacts des changements climatiques se font de plus en plus sentir et qu'il s'est passé un temps nécessaire permettant de juger l'impact des ouvrages de protection présents sur ce littoral sur l'érosion côtière.

La cinématique de la ligne de rivage peut être étudiée par plusieurs méthodes. A l'échelle pluriannuelle, la mobilité du trait de côte est évaluée à l'aide de photographies aériennes anciennes et d'images satellitaires. Ces études sont actuellement facilitées par l'utilisation de logiciels de traitement d'images.

L'étude de l'évolution de la ligne de rivage nécessite cependant la mise en place d'une méthodologie bien définie selon qu'on adopte l'une des approches suivantes : la détermination et la reconnaissance des formes témoins de paléo rivages, la comparaison de profils de plage et l'extraction de la ligne de rivage à partir de photos aériennes et/ou d'images satellitaires. La méthode utilisée dans cette étude repose sur des techniques de photo interprétation assistées par ordinateur.

#### 3.1 ACQUISITION DES DONNEES

Les données utilisées pour cette étude sont constituées essentiellement de photographies aériennes et d'images satellitaires. Ainsi ont été considérées les missions aériennes de 1954, 1980, et 1997 prises aux échelles 1/ 50 000, et 1/20 000 pour les deux dernières. En plus de ces photos, une image satellitaire a été utilisée : une image Spot 5 datant d'octobre 2006 de résolution 2,5 m qui nous a été fournie par le Centre de Suivi Ecologique (C.S.E.)

**Tableau 1:** Références des photos et des images utilisées

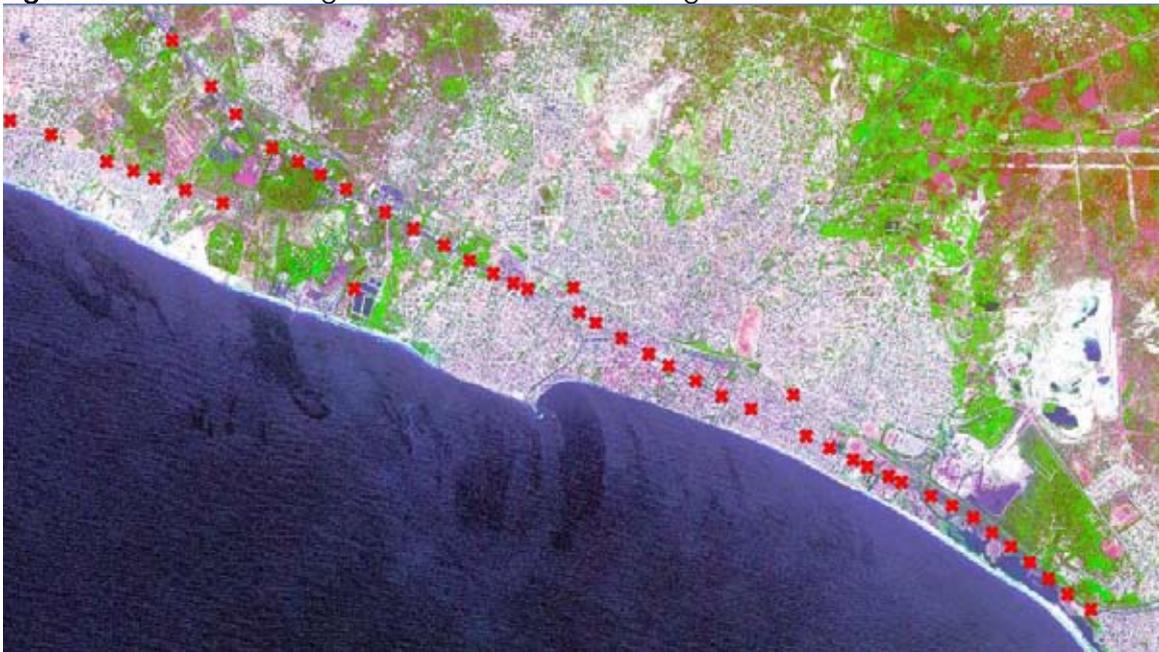
Année	Références de la mission	Echelles des clichés	N° des clichés utilisés
1954	- IGN AOF 1954- 079	1/50000	519, 520, 521
1980	IGN 1980	1/20000	/
1997	-IGN 12-01-1997 -IGN 12-01 1997	1/20000 1/20000	0077 00116
2006	Image Spot 5 de résolution 2,5m d'octobre 2006		

### 3.2 LE REDRESSEMENT DES PHOTOS ET IMAGES SATELLITAIRES

Les photos aériennes obtenues ont été redressées par le logiciel "Chips" qui est très pratique pour le géoréférencement et dont le principe est décrit ci-dessous.

Les photos aériennes ont été acquises en mode panchromatique, tandis que l'image Spot obtenue sous format numérique et déjà corrigée, a été prise comme image de référence. Pour vérifier la correction de cette image de référence, nous nous sommes rendus sur le terrain pour récolter avec le GPS des points amers ou points de contrôle (figure 3). Il s'agit de points permanents et stables qui ont une localisation fixe et connue au sol (longitude et latitude et élévation ou coordonnées métriques ou UTM). Cette vérification nous a permis de nous assurer de la correspondance entre le terrain et l'image, donc du bon redressement de cette dernière. Cependant puisque c'est ligne de rivage qui nous préoccupe le plus, nous avons effectué un enregistrement de points GPS sur la route comprise entre Mbao et l'entrée de Bargny; pour la validation du géoréférencement de l'image de référence car, à Rufisque, la route n'est éloignée du trait de côte. Certains de ces points ont servi au géoréférencement des photos.

**Figure 3 :** Validation du géo référencement de l'image de référence



Le redressement consiste en deux opérations simultanées appliquées à l'image d'entrée : l'interpolation radiométrique par la méthode bilinéaire, la convolution cubique, le plus proche voisin, afin de générer les pixels de l'image de sortie et la déformation de celle-ci selon un modèle physique ou polynomial (Evenden 1991, Theiler et Danforth 1994). Le principe est basé sur la substitution des points de l'image (à corriger) présentant des distorsions par des points de contrôle qui sont pris sur l'image de référence. En d'autres termes: on choisit un point sur l'image de référence et ce même point est aussi choisit sur l'image à redresser et le logiciel fait la correction par rapport au point de référence. Les coordonnées cartésiennes des points de l'image non redressée (x, y) sont ainsi converties en coordonnées UTM ou Lambert de référence (X, Y) avec une erreur moyenne quadratique (RMS)

La démarche suivie avec le logiciel Chips a été la suivante :

- La création d'un projet qui va contenir l'image et les autres fichiers ;
- L'ouverture de l'image avec une origine « upperleft » (origine située dans le coin supérieur gauche de l'image) ;
- La modification des positions ou d'élimination des points de contrôle avec une erreur quadratique moyenne élevée ;
- Le redressement avec une origine « lowerleft » (origine située dans le coin inférieur gauche de la photo).

Pour les missions de 1954 et de 1997, les clichés ont été corrigés deux à deux c'est à dire l'un par rapport à l'autre. Ensuite, une mosaïque de la zone a été constituée pour chaque année, alors que l'image de 1980 a été obtenue grâce à un seul cliché.

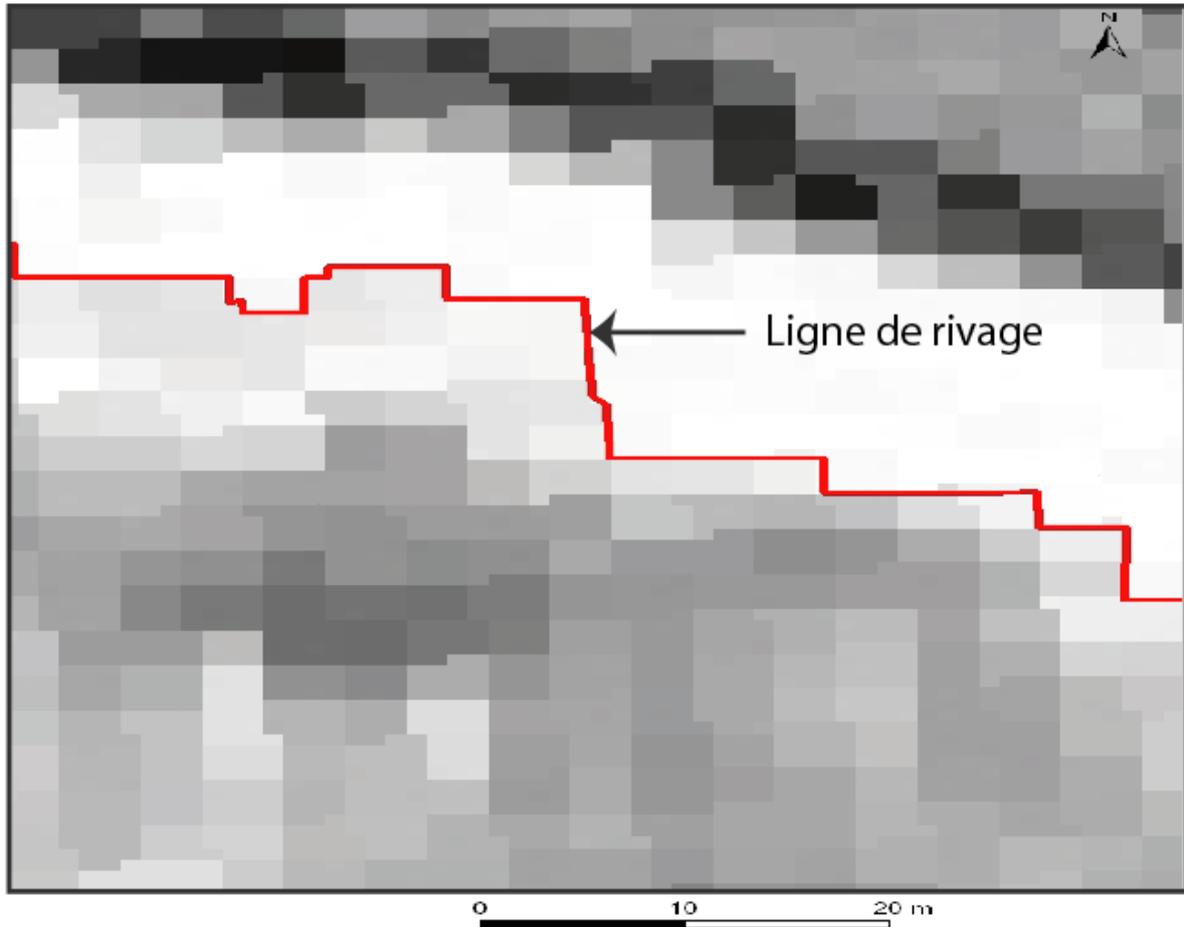
Pour chaque mosaïque, un minimum de 16 points de contrôle a été choisi avec un polynôme de premier ordre et une erreur moyenne (RMS) inférieure ou égale à 0,2. Lors de la rectification la taille du pixel a été fixée à 1.

Les images ainsi redressées sont d'abord enregistrées sous format JPEG après vérification du calage d'abord avec le logiciel Chips, puis ont été superposées grâce au logiciel Arc-view 3.3a à l'image de référence pour la vérification de la superposition des infrastructures remarquables de la région telle que les routes, le chemin de fer, les canaux à ciel ouvert, etc. Le cas échéant, le redressement a été repris jusqu' à une superposition parfaite.

### 3.3 LE CHOIX DE LA LIGNE DE RIVAGE (LIGNE DE REFERENCE)

Pour l'étude de l'évolution historique de la ligne de rivage, le choix d'une ligne de référence est un facteur primordial qui est incontournable, dans la mesure où il existe plusieurs lignes de référence pouvant matérialiser le trait de côte. Cette ligne est souvent matérialisée, le pied de dune, (Stafford et Langfelder, 1971 Morton et al., 1993), la ligne des plus hautes mers, (Moore, 2000) la limite mouillée (Dolan et al., 1978a). et par la limite côté terre des ouvrages de protection (Morton et Speed, 1998) etc. Dans la région de Rufisque, le choix de la ligne de rivage est guidé par plusieurs facteurs : la morphologie du littoral, l'absence de dunes, côte microtidale, le faible marnage (Niang-Diop, 1995), la faible largeur de l'estran, et, la connaissance que nous avons du terrain. Ainsi, de toutes les lignes citées ci-dessus, celle qui convient le mieux au littoral de Rufisque est la limite mouillée parce qu'elle est visible sur toutes les photos dont nous disposons. En plus, elle atténue l'importance du niveau de la marée au moment des prises de vue, et elle est visible quelle que soit la nature des estrans et permet de conserver le rapport de proportionnalité avec les estrans courts et très courts (Everts et Wilson, 1981, Lessard, 1992). La limite mouillée correspond à Rufisque au niveau moyen des hautes mers Ce niveau moyen est continu le long du littoral et facilement reconnaissable car situé à la limite entre les parties mouillées qui apparaissent en gris foncé sur les photos aériennes et les parties sèches (apparaissant en gris clair à blanc) de la plage (fig. 4) Enfin, cette ligne varie le moins horizontalement en fonction de la marée (Dolan et al., 1978).

Figure 4 : Détermination de la ligne de rivage



*extrait d'une photographie aérienne, mission IGN 1954*

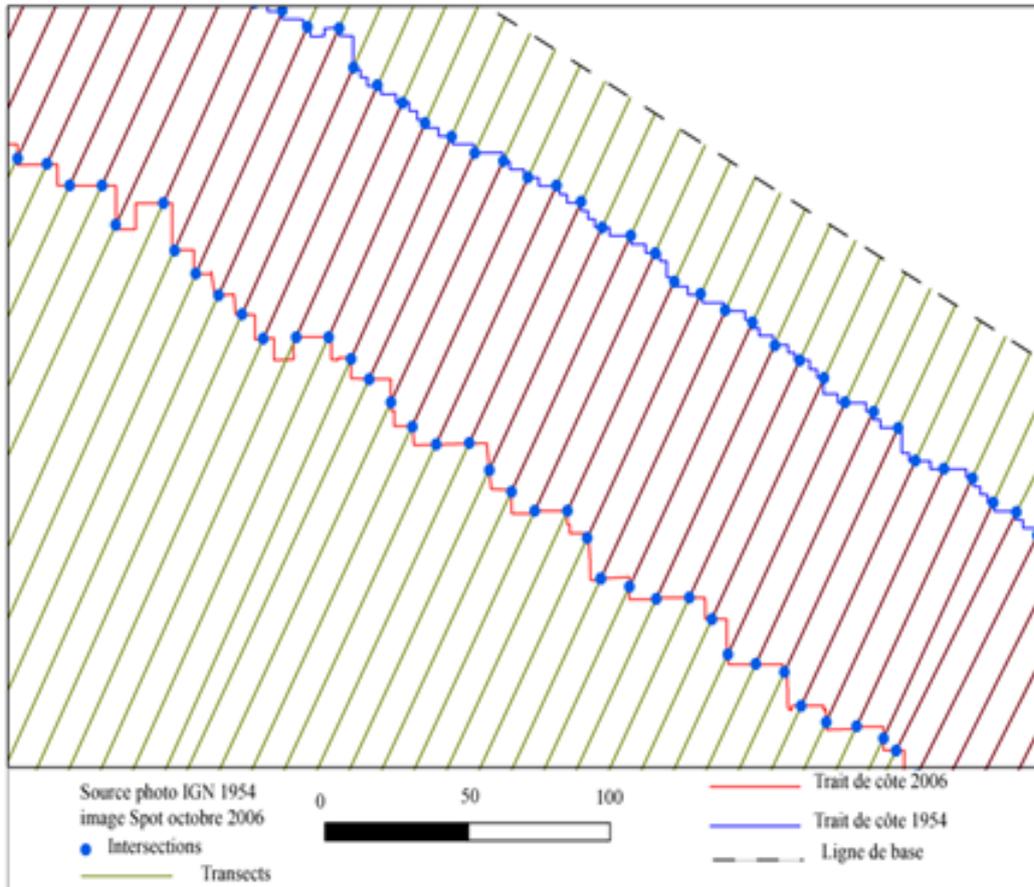
Sur le littoral de Rufisque, l'anthropisation de la plage et la présence d'ilménite rendent souvent très difficile la reconnaissance de la limite mouillée. A cette contrainte, vient s'ajouter la difficulté de reconnaître cette limite aux endroits où nous avons des ouvrages de protection. Ainsi pour la photo de 1997 et l'image satellitaire Spot, le trait de côte a été positionné à la base des murs de protection du côté mer.

Il faut préciser enfin que quand on travaille avec des images satellitaires, la résolution importe beaucoup sur la détermination d'une quelconque évolution de la ligne de rivage si les taux d'évolution sont faibles. A Rufisque, les études antérieures montrent des taux compris entre 0,2 et 3 m/an, ce qui fait que seules des données satellitaires à haute résolution permettent de déceler des évolutions entre des prises de vue chronologiquement rapprochées.

### 3.4 MESURE DES EVOLUTIONS ET DETERMINATION DES TAUX D'EVOLUTION

Les mesures des évolutions (variation de distances entre deux dates) pour la période d'étude ont été effectuées par la méthode automatique grâce au programme DSAS (Digital Shoreline Analysis System) version 2.2.1 (THIELER et al., 2004) suivant des transects perpendiculaires aux deux lignes de rivage à comparer (figure 5).

Figure 5 : Transects générés par le DSAS pour la mesure de l'évolution du trait de côte



Ces transects, espacés dans notre étude de 10 m, sont générés à partir d'une ligne de base située du côté continent.

Pour suivre l'évolution d'un transect sur l'ensemble de la période considérée, nous avons choisi une seule ligne de base pour toutes les périodes.

Le DSAS mesure, pour chaque transect, la distance (évolution) entre les points d'intersection des transects et des traits de côte, calcule les taux d'évolution le long de chaque transect et restitue les résultats sous forme de tableaux attributaires (Faye et al. 2008).

L'estimation de la cinématique du trait de côte est basée sur l'analyse des tableaux attributaires générés automatiquement et exportés sur Excel. Pour appréhender l'évolution temporelle de la position de la ligne de rivage, nous avons choisi deux indices proposés par le DSAS : l'indice EPR (End Point Rate) pour évaluer l'évolution entre les deux traits de côte successifs et le LRR (Linear Regression) pour estimer les taux d'évolution par régression linéaire de chaque transect sur l'ensemble de la période d'étude. Ensuite, les zones qui présentaient la même tendance évolutive ont été regroupées en secteurs. Pour chaque secteur, les mesures de distance et les taux d'évolution concernant ces segments de côte ont été moyennés (Faye, et al 2008). Cependant il arrivait qu'un secteur présentant la même tendance évolutive soit divisé en sous secteurs car présentant une différence nette au niveau des évolutions.

### 3.5 ESTIMATION DES ERREURS

Dans la mesure où les études basées sur l'évolution de la ligne de rivage sont faites par des outils confectionnés par l'homme et compte tenu des variations énormes des paramètres entrant dans la définition du caractère étudié, une estimation des erreurs est nécessaire pour juger la précision des résultats obtenus. Dans cette étude deux types d'erreurs ont été retenues : l'erreur liée au géoréférencement (RMS et résolution de l'image de référence) et celui liée à la digitalisation du trait de côte et qui est fonction de la qualité des images et de l'opérateur. Dans le but de minimiser cette dernière incertitude la digitalisation a été reprise plusieurs fois (Coyne et al. (1999) à grande échelle.

L'erreur liée aux mouvements d'oscillation de la marée a été négligée car nous avons une côte microtidale à faible marnage et toutes les images sont supposées être obtenues en période de beau temps correspondant à la saison sèche au niveau de notre secteur d'étude.

Ainsi la marge d'erreur globale a été estimée à 8 m (tableau 2. pour la période 1954-1980, à 8,5 m pour 1980-1997 et 1997 -2006 et à 14,5 m entre 1954 – 2006. Vu le faible pourcentage que représentent les évolutions comprises dans la marge d'erreur dans chaque période tous les valeurs ont été utilisées dans le calcul des moyennes dans la mesure où leur influence est minime voir nulle.

**Tableau 2 :** Estimation de l'erreur globale

Année	Type d'erreur	Erreur estimée (m)
1954	Erreur liée au géoréférencement	1
	Erreur liée à la digitalisation de la ligne de rivage	1
1980	Erreur liée au géoréférencement	1
	Erreur liée à la digitalisation de la ligne de rivage	3
1997	Erreur liée au géoréférencement	1
	Erreur liée à la digitalisation de la ligne de rivage	1,5
2006	Erreur liée à la digitalisation de la ligne de rivage	1,5
<b>Erreur globale</b>		<b>14,5</b>

## IV. EVOLUTION DIACHRONIQUE DU TRAIT COTE DE 1954 A 2006

Il s'agit dans cette partie d'analyser et de commenter pour chaque période intermédiaire puis sur l'ensemble de la période les évolutions (distances) moyennées puis traduites sous forme de taux moyens d'évolution et présentées aussi sous forme de carte d'évolution de la ligne de rivage.

### 4.1 LA PERIODE DE 1954 A 1980 (FIG. 6)

Cette période est considérée comme la phase au cours de laquelle nous avons une évolution « naturelle » des plages du littoral de Rufisque.

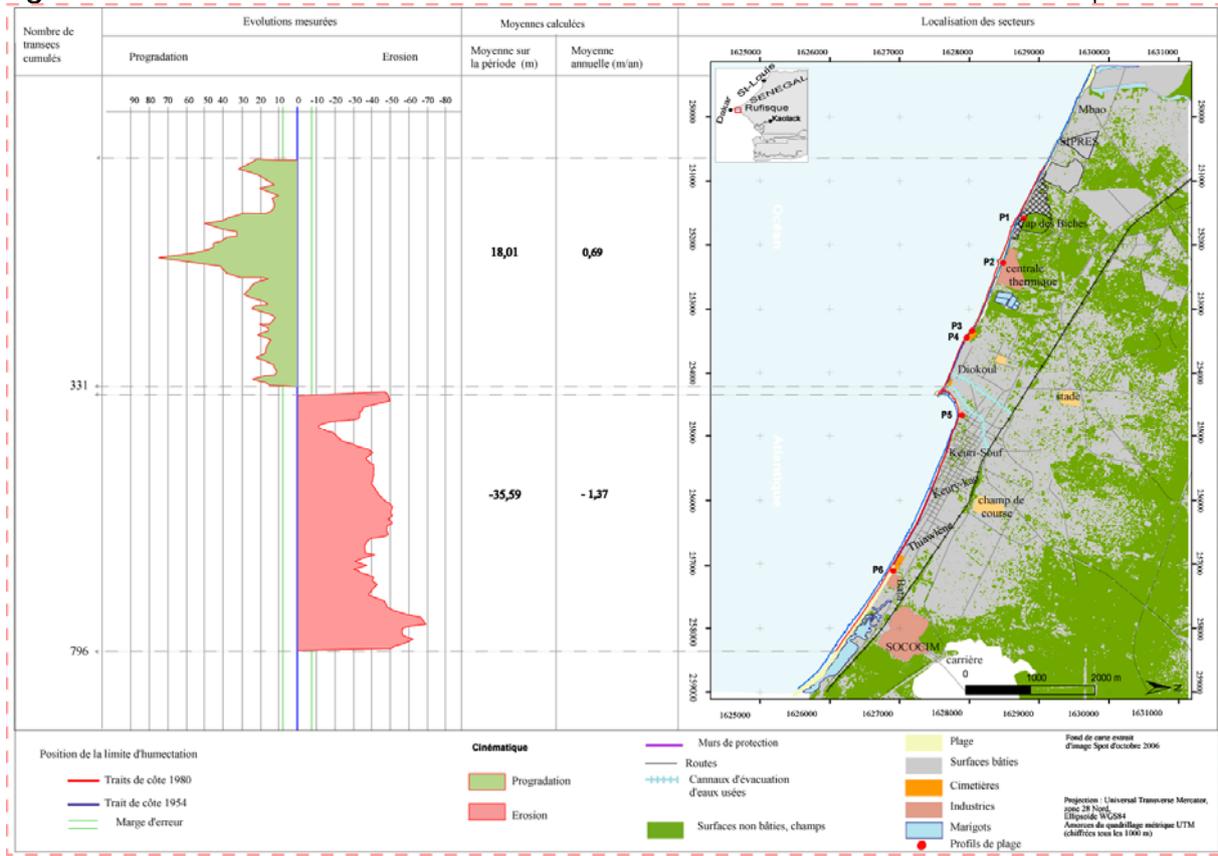
En considérant le secteur d'étude dans son ensemble nous obtenons un taux de recul global de -0,45 m/an pour 796 transects moyennés. Cependant au cours de cette phase ce taux global n'est pas représentatif de l'évolution du littoral dans la mesure où l'évolution a suivi une subdivision naturelle du rivage en deux segments évoluant différemment ; ce qui conduit à diviser le littoral en deux secteurs : un secteur Nord Ouest en progradation et un secteur Sud Est en érosion (fig. 5).

Le premier secteur est caractérisé par une évolution moyenne de + 18,01 m, soit une vitesse moyenne d'accrétion de +0,69 m/an, ce qui correspond à la moyenne des évolutions de 331 transects sur l'ensemble des 796 transects analysés pour cette période. Dans ce secteur, les évolutions sont cependant très variables. De part et d'autre du chenal de la centrale thermique, les évolutions mesurées atteignent rarement 30 m sur l'ensemble de la période alors qu'au niveau du chenal on note une forte accumulation, pouvant atteindre plus de 60 m. Durant cette période, le chenal d'alimentation en eau de refroidissement de la centrale thermique, qui est en fait une structure perpendiculaire au rivage, a pour effet de favoriser la sédimentation. Notez aussi que cette zone se trouve à l'extrémité de la baie de Hann et il est donc normal qu'il y ait accumulation.

Au niveau du deuxième secteur, sur les 465 transects étudiés, l'évolution moyenne calculée est de - 35,59 m ce qui équivaut à une vitesse moyenne de recul de -1,37 m/an.

Ce secteur qui longe la baie de Rufisque est caractérisé par une érosion assez importante notamment au niveau du fond de la baie et dans la zone située après l'usine Bata.

Figure 6 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1954 à 1980 à Rufisque



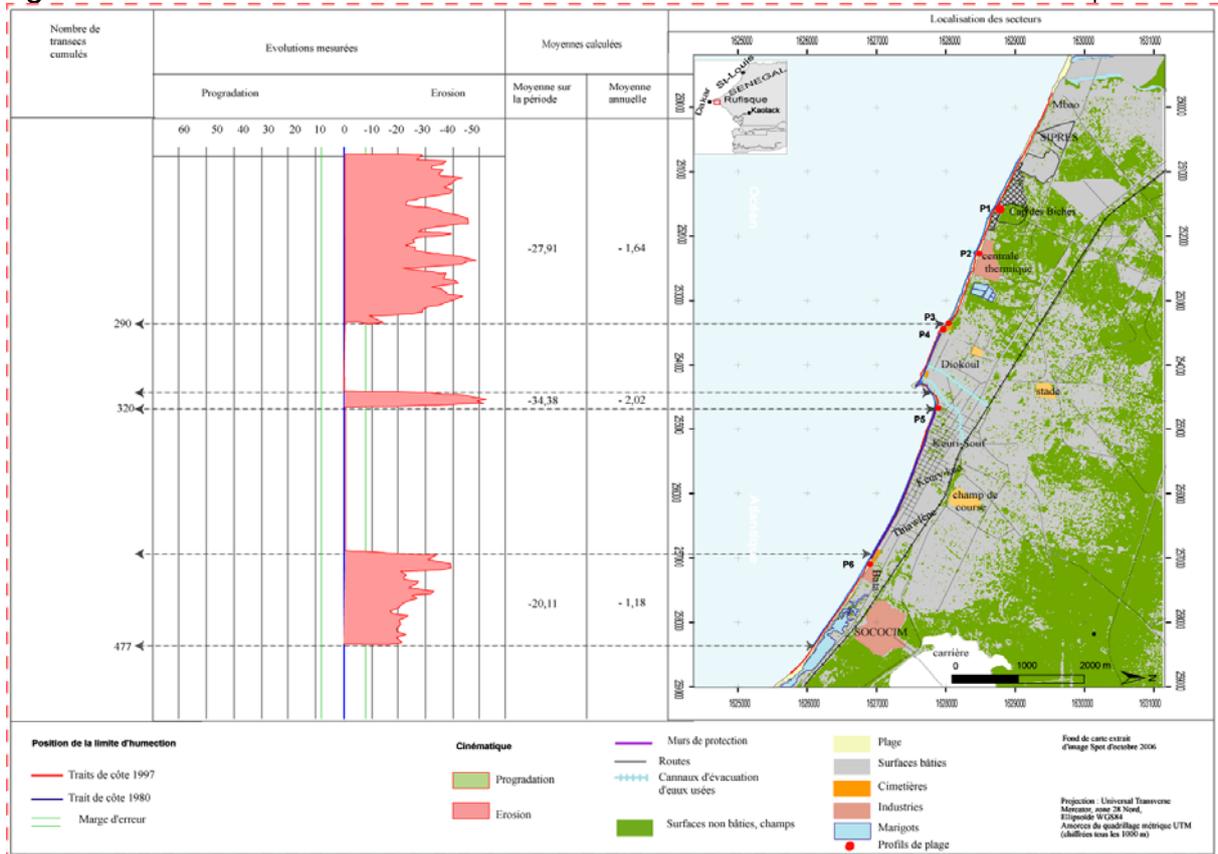
## 4.2 LA PERIODE DE 1980 A 1997 (FIG. 7)

Au cours de cette période la tendance à une érosion généralisée du littoral de Rufisque se manifeste ; tout le littoral est en érosion. Comme la période précédente deux secteurs s'individualisent : un secteur Nord Ouest où l'érosion est très intense, avec un recul moyen de -27,91 m (maximum de 30 à 50 m), soit une vitesse moyenne de recul de -1,64 m/an pour un total de 290 transects. Toutefois dans ce secteur les évolutions les plus faibles sont notées au niveau de la plage de la centrale thermique (avec des évolutions dépassant rarement 20 m sur la période). Le secteur Sud -Est qui longe la baie de Rufisque est soumis à une érosion plus modérée (maximum en général inférieur à 30 m) que le secteur Nord Ouest. Avec une évolution moyenne de -20,11 m on obtient une vitesse moyenne de recul de -1,18 m/an. Cependant, l'extrémité du mur en enrochements de Thiawllène se distingue par de forts reculs (30 à 40 m) comparables aux reculs observés dans le secteur Nord Ouest. Alors que le fond de la baie enregistre les taux d'érosion les plus élevés avec un taux moyen annuel de - 2,02 m/an

Si on compare les deux périodes d'étude, dans le secteur de la baie de Rufisque (secteur des plages de Bata) qui est toujours en érosion, on constate une diminution des taux d'érosion qui passent de -1,37 m/an à -1,18 m/an. Par contre, on note des taux d'érosion très importants à l'extrémité du mur en enrochements, au niveau du cimetière de Thiawllène, correspondant à un « end effect » du mur, lié sans doute à l'absence de bras de raccordement, favorisant le contournement de l'extrémité du mur par les houles.

Ce qui permet de conclure que malgré cette baisse généralisée du taux de recul dans la baie, l'érosion due au contournement du mur à son extrémité se fait de plus en plus sentir. Elle pourrait expliquer le taux élevé observé aussi au fond de la baie ou se situe l'autre extrémité du mur.

Figure 7 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1980 à 1997 à Rufisque



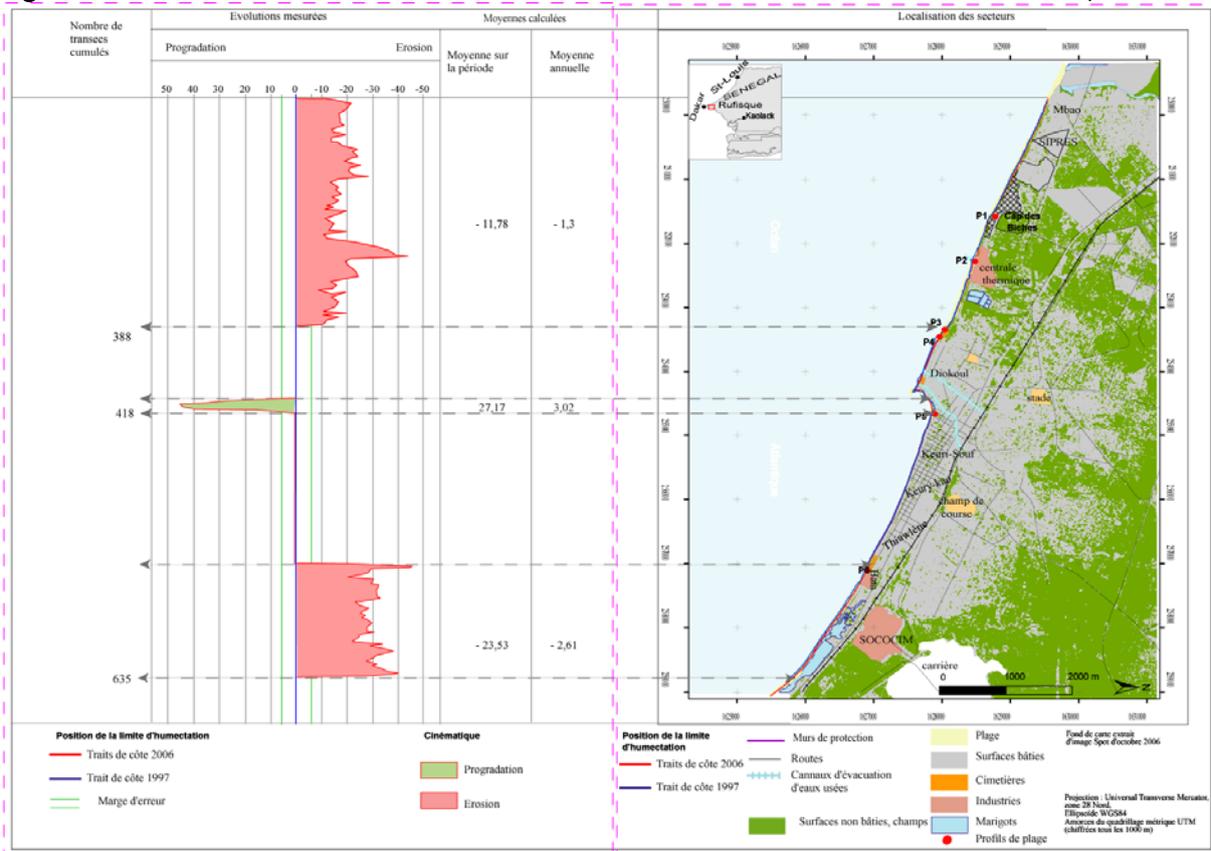
### 4.3 LA PERIODE 1997 A 2006 (FIGURE 8)

Cette période qui constitue la plus récente est caractérisée par une évolution moyenne globale de -1,55 m/an pour les 635 transects étudiés. Hormis le fond de la baie de Rufisque, tout le littoral est érosion. La baie s'individualise avec un taux moyen d'accrétion de 3,02 m/an (4,72% de l'ensemble des transects). On note cependant une très grande variation spatiale au niveau des taux d'érosion. Le secteur Nord Ouest qui va de Mbao à l'extrémité du cimetière musulman de Diokoul avec un recul moyen de 11,78 m (taux de recul de 1,31 m/an) Dans ce secteur les plages de la centrale thermique culminent avec des évolutions dépassant 30 m sur la période. Le long du mur en enrochements de Keuri Souf -Thiawlène, le trait de côte s'est stabilisé à la base de l'enrochement durant toute cette phase.

Au niveau du secteur de Thiawlène – Bata, la moyenne calculée est de -23,53 m, soit un recul du rivage de 2,61 m/an. On note ainsi une accentuation du phénomène d'érosion depuis le début de cette période 1997-2006. Les vitesses d'évolution passent successivement de -1,37 m/an entre 1954 et 1980, pour connaître une faible diminution entre 1980 et 1997 (1,18 m/an) et ensuite une accélération du recul de 1997 à 2006 qui atteint -2,61 m/an. Cette accentuation de l'érosion serait le résultat de plusieurs

phénomènes : situation dans une zone de convergence de la dérive littorale (Niang Diop ; 1995), phénomène de réflexion des houles du aux ouvrages de protection qui concourent à une augmentation de l'énergie des houles, effet de contournement aggravé par une augmentation du niveau marin Ce qui a entraîné lors des fortes houles du 01 juillet 2007 à la destruction du mur de clôture de l'envahissement du cimetière par les vagues entraînant un soulèvement populaire et le prolongement du mur dans la même semaine. Ces forts taux de recul pourraient aussi s'expliquer par la recherche d'un nouvel équilibre lié sans doute à la perturbation qu'aurait provoqué les ouvrages de protection au fonctionnement naturel des plages et à l'augmentation et du niveau marin.

Figure 8 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1997 à 2006 à Rufisque



#### 4.4 LA PERIODE D'ETUDE DE 1954 A 2006 (FIGURE 9)

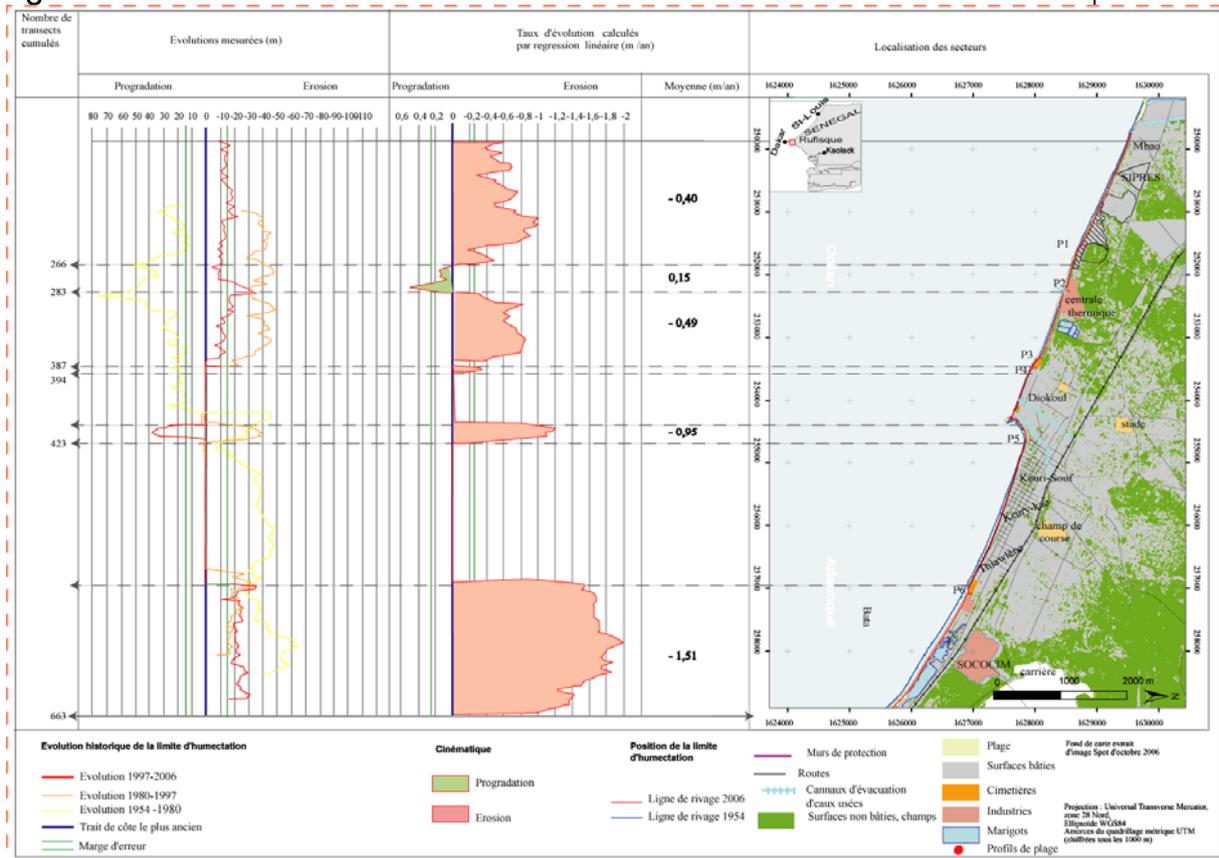
L'analyse des taux obtenus par régression linéaire pour la période de 1954 à 2006 montrent que tout le littoral de Mbao à Rufisque est en érosion généralisée, hormis la plage de la centrale thermique du Cap des Biches où nous avons une très faible accumulation avec un taux de 0,15 m/an qui tombe dans la marge d'erreur ( $\pm 0,2$  m/an). Les valeurs de recul du trait de côte augmentent du Nord au Sud de -0,4 m/an à -1,5 m/an sur les plages du secteur de l'usine Bata. Cependant sur l'ensemble de 663 transects analysés le taux global de recul est de 0,81 m/an. Mais, compte tenu de la subdivision naturelle du littoral étudié en deux secteurs évoluant à des vitesses très inégales, parfois opposées, et de l'importance des aménagements de protection nous avons choisi pour quantifier l'évolution ce littoral de distinguer séparément les deux secteurs. Ainsi pour le secteur nord ouest le taux global de recul est de - 0,39 m/an et pour le secteur Sud-est le taux de recul global est de -1,42 m/an. Les taux d'érosion obtenus sont cependant très variables et permettent de distinguer au total cinq sous secteurs.

- Le secteur de Mbao à la falaise du Cap des Biches avec un taux moyen de -0,40 m/an. Toutefois il faut noter la très forte variabilité des taux le long de ce secteur où le cordon littoral laisse souvent apparaître des zones où la plage est bordée d'une microfalaise constituée en général de marnes altérées qui alternent avec des sables coquilliers. Ce qui fait que ces zones reculent moins vite. Cependant, l'érosion verticale est très importante et fait apparaître actuellement des roches volcaniques qui étaient enfouies auparavant. Dans ce secteur, l'érosion la plus faible est notée au niveau de la falaise du Cap des Biches qui recule moins vite que les plages. Au droit de cette falaise et dans ses environs les taux de recul tombent presque tous dans la marge d'erreur ;
- La plage de la centrale thermique du Cap des Biches de la Société Sénégalaise d'Electricité (SENELEC) est caractérisée par la présence d'un canal d'alimentation en eau de refroidissement de la dite usine qui joue un rôle d'épi et a pour avantage de freiner le recul de la côte. Ceci expliquerait la stabilité de cette plage, voire l'accumulation (0,15 m/an) dans un contexte d'érosion généralisée du littoral ;
- La zone comprise entre la centrale thermique et Diokoul avec un taux moyen de recul de - 0,49 m/an comparable à ce que l'on a observé dans le premier secteur. Le recul de cette zone serait influencé par le canal qui crée un déséquilibre sédimentaire par rétention d'une partie au moins des sédiments transportés par la dérive littorale créant un déficit en aval de la structure. De plus, cette zone, comme celle comprise entre Mbao et le Cap des Biches, est soumise à une exploitation artisanale des sables coquilliers du cordon littoral que Diallo (1982) avait estimé entre 10 et 15 tonnes par jour. Même si cette exploitation a diminué, sa poursuite ôterait au cordon le rôle protecteur que pouvait jouer une telle accumulation. Cette zone située entre deux segments de côte protégés a actuellement la forme d'un arc, qui semble évoluer vers une nouvelle forme d'équilibre.
- Le fond de la baie de Rufisque se distingue par un taux de recul moyen de 0,95 m/an. C'est à cet endroit de la baie de Rufisque que nous avons les taux d'érosion les plus faibles. En fait, cette zone a connu une érosion entre 1954 et 1997, suivie d'une période d'accumulation entre 1997 et 2006. Elle est située après le cap de Diokoul correspondant à l'extrémité de la baie de Hann et donc marque le début d'une autre baie, celle de Rufisque. Le cap joue bien sur un rôle protecteur mais empêche le dépôt de sédiments transportés par la dérive littorale. Par ailleurs, la partie située juste après le

cap a été stabilisée depuis 1992 et 1993 (Ministère de l'Equipement, 1998), sans compter le détournement du canal de Bepé qui constituait une source d'apport sédimentaire pour la baie.

- Le secteur des plages de Bata situées après le mur en enrochements de Keuri Souf – Thiawllène est celui qui est le plus menacé par l'érosion côtière au niveau du littoral de Rufisque. Soumis à un recul qui n'a cessé de s'intensifier depuis le début de cette 1954-1980, il présente un taux moyen de recul de 1,51 m/an ; ce qui correspond au cours de ce demi-siècle à un recul moyen du rivage de -72,52 m. Il faut préciser à ce niveau que toutes les mesures de distance effectuées sont supérieures à la marge d'erreur globale. Dans ce secteur, même si les auteurs antérieurs ont obtenu des taux légèrement supérieurs (Dièye, 2000 avec -1,8 m/an et Niang-Diop, 1995 avec -1,7 m/an), les valeurs sont comparables. D'autant plus que la durée de la période de notre étude est plus longue et reflète donc plus la tendance à long terme de l'évolution de la ligne de rivage.

Figure 9 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1954 à 2006 à Rufisque



## V. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'étude de l'évolution de la ligne de rivage du littoral comprise entre Mbao et Bargny pour la période 1954-2006 a montré que le littoral est soumis à une érosion généralisée avec des taux moyens d'évolution par régression linéaire compris entre  $-0,40$  et  $-1,51$  m/an, hormis la plage de la centrale thermique du Cap des Biches qui est en équilibre, voire en accumulation. Toutefois, au cours de cette période, des phases de progradation ont été notées dans la zone comprise entre Mbao et le Cap de Diokoul, notamment entre 1954 et 1980 (un taux moyen annuel de  $0,69$  m/an). Le secteur de Keuri Souf – Bata, longtemps soumis à l'érosion, n'a cessé de reculer. Par contre cette érosion est fortement influencée par la présence du mur en enrochements situé en amont. On observe plutôt une intensification de l'érosion en aval de ce mur et qui serait attribuable à des phénomènes de contournement se produisant à son extrémité mais aussi de manière plus générale à des impacts négatifs de cette structure parallèle au rivage.

Cette étude de cas sur l'évolution de la ligne de rivage a permis de mieux apprécier son évolution à long terme et aussi une meilleure compréhension des effets indésirables que peut provoquer un ouvrage de protection. Cependant, il serait aussi très injuste de ne pas reconnaître le rôle protecteur qu'ont joué ces structures.

L'érosion, le transport et le dépôt des sédiments sont aussi fonction des paramètres morphologiques et géologiques (absence de dunes littorales et nature du cordon...) de ce littoral. Le type, la direction de transport et les quantités de sédiments charriés sont autant de facteurs qu'il importe de connaître pour une meilleure compréhension des modifications de l'équilibre du littoral de Rufisque. Ainsi la fragilité de l'équilibre du littoral de Rufisque, conjuguée aux effets des ouvrages de protection, devraient requérir des précautions dans le choix et l'implantation des structures de protection contre l'érosion côtière.

Même si des études antérieures ont pu caractériser les agents dynamiques, il s'avère aujourd'hui nécessaire de procéder à un suivi de ce littoral mais aussi, dans un sens large, de la Petite Côte, et de faire de nouvelles études pour réactualiser les anciennes. Une telle étude pourrait être couplée à des mesures de la supposée élévation du niveau marin attribuable aux changements climatiques, une telle augmentation devant avoir des conséquences sur les principaux agents d'érosion.

Cependant comme solution transitoire nous proposons le prolongement du mur en enrochement sous forme de bras de raccordement au niveau de Bata.

## VI. PRESENTATION SYNTHETIQUE DES RESULTATS

Segments de côte	Tendance évolutive	Taux par régression linéaire (m/an)	Causes probables	Conséquences socio-économiques
Mbao à la falaise du Cap des Biches	Recul du trait de côte	-0,4	Contrecoups des chenaux des ICS et de la SENELEC (érosion en aval du canal) augmentation du niveau marin entraînant la recherche d'un nouvel équilibre Déficit sédimentaires	Destruction de maisons à Petit Mbao, menace de disparition du cimetière de Grand Mbao et de la sécherie
Plage de la centrale thermique	Progradation	0,15	Conditions hydrodynamiques naturelles favorables (extrémité de baie, amortissement des houles au large ) Impact positif du chenal	Stabilité de la plage en face de la centrale Garantie de la pérennité de la centrale
Entre la centrale thermique et le Diokoul	Recul du trait de côte	-0,49	Impact négatif du chenal augmentation du niveau marin recherche d'un nouvel équilibre Déficit sédimentaires, bétonnage de la plage par les murs en béton	Cimetière menacé, disparition du cordon Menace de destruction de maisons
Fond de la baie de Rufisque	Recul du trait de côte	-0,95	Situation en arrière de cap, augmentation du niveau marin recherche d'un nouvel équilibre Déficit d'apports en sédiments Détournement du canal de Beppé	Quai de pêche menacé Menace de destruction de maisons
Extrémité du cimetière de Thiawilène-Entrée de Bargny (Plage de Bata)	Recul du trait de côte	-1,51	augmentation du niveau marin entraînant la recherche d'un nouvel équilibre, contournement de l'extrémité du mur convergence de la dérive littorale, fortes houles Déficit d'apports en sédiments Prélèvements de sables Impact du durcissement d'une longueur importante de côte en amont de ce segment.	Cimetière et l'usine Bata menacés disparition progressive l'unique plage restante pour les riverains Disparition de route et d'habitats

## VII. PRESENTATION SYNTHETIQUE DES RESULTATS

Programme futur : Projet pour la mesure de l'élévation du niveau marin et détermination des conditions hydrodynamiques pour un suivi continu du trait de côte.

Promoteur : UEMOA

Opérateurs scientifiques et techniques : Université Cheikh Anta Diop (département de Géologie); Centre de Suivi Ecologique ( C.S.E );et le Centre de Recherches Océanographiques de Dakar-Thiaroye.(CRODT)

### 7.1 CONTEXTE

L'étude de l'évolution du trait de côte à Rufisque a montré que le littoral dans sa totalité est en érosion généralisée. A partir de cette étude de cas nous avons pu constater l'impact des ouvrages de protection sur l'érosion côtière et d'une manière générale l'impact des aménagements sur la dynamique littorale. Cependant les projections disponibles sur l'augmentation future du niveau marin due aux changements climatiques indiquent que l'on peut s'attendre à une aggravation du phénomène d'érosion côtière. Mais au niveau de la Petite Côte sénégalaise l'inquiétude demeure quant au devenir de cet écosystème côtier que constitue cette zone côtière tant convoité par la richesse de sa biodiversité que par son rôle dans l'économie du pays. Ainsi, les problèmes des tendances à long terme de cet écosystème pour assurer un développement durable est une préoccupation relevant actuellement de l'évolution du climat et de l'environnement d'une manière globale, problèmes qui sont associés en particulier dans les pays sous développés de leurs faibles capacités à faire face à ces changements dont l'adaptation est beaucoup dépendante du développement.

Les solutions à envisager, en particulier les ouvrages de protection du littoral, ne peuvent être déterminées qu'à partir d'une connaissance approfondie du fonctionnement des principaux agents d'érosion. C'est pourquoi le futur programme d'étude portera sur un projet de mesure de l'élévation du niveau marin dont les conséquences sur l'érosion côtière sont multiples.

Ce projet peut être mis en relation avec le projet OdinAfrica qui a un marégraphe à Dakar et qui doit faire l'objet de mise à jour.

Pourquoi le choix de Rufisque pour une telle étude ? Les objectifs sont multiples et cela pour plusieurs raisons.

## 7.2 LES RAISONS

Plusieurs raisons peuvent être évoquées parmi lesquelles :

- Le littoral du département de Rufisque figure parmi les premiers sites où s'est manifesté le phénomène d'érosion côtière au niveau de la côte Sud de Dakar,
- L'intensification de l'érosion depuis son apparition jusqu'à nos jours, ce qui fait que le littoral présente la plus grande longueur de côte protégée
- La vulnérabilité du littoral par rapport à l'érosion,
- La position par rapport à la presqu'île de Dakar où la quasi-totalité des houles subissent des phénomènes de diffraction et de réfraction avant d'aborder la côte sud,
- Le déficit sédimentaire constaté
- La proximité de la région de Dakar, pôle des institutions de recherche car cette étude pourrait concerner d'autres domaines de recherches telles la reproduction des peuplements pélagiques de la zone côtière entre autres etc.

Cependant d'autres sites de mesure seront implantés au niveau de la côte nord et deux à trois autres sites dans d'autres sites de la côte sud

## 7.3 LES OBJECTIFS (LISTE NON EXHAUSTIVE)

L'objectif général consistera à mesurer l'élévation du niveau marin afin de prévoir l'impact d'une telle augmentation sur l'évolution futur du trait de côte. Cette étude sera associée à une réactualisation de caractéristiques des houles puisqu'une telle augmentation ne serait sans conséquences sur les caractéristiques de ces dernières qui sont les principaux agents d'érosion de transport et de sédimentation dans la zone côtière.

Les objectifs spécifiques consisteront à :

1. Mesurer l'élévation du niveau de la mer.
2. Déterminer le régime des houles.
3. Déterminer les facteurs hydrodynamiques (vent, houles marées, courants) en particulier à mesurer les caractéristiques des houles (vitesse, direction, sens, intensité, la hauteur...) par des houlographes et celles des courants par des courantomètres. Les mesures se feront de manière continue pour les houles alors que pour les courants elles se feront sur des cycles de marée complets.
4. Connaître l'impact de cette élévation sur l'évolution du trait de côte, ce qui permettra l'établissement de cartes de vulnérabilité précises pour le littoral de Rufisque et d'une manière générale pour toute la Petite Côte.
5. Evaluer des pertes en terre par érosion côtière : elle pourra être faite en appliquant la loi de BRUNN pour les plages sableuses. De l'étude des caractéristiques des houles nous pourrions ainsi déterminer la profondeur de fermeture du profil de plage qui le paramètre le plus difficile à obtenir pour cette évaluation.
6. Définir des solutions appropriés aux de côtes vulnérables pour une gestion durable de la zone côtière et particulièrement pour les quelques segments de côtes restantes du littoral rufisquois.
7. Mettre au point des stratégies d'adaptation à l'érosion et surtout à l'invasion marine due aux fortes houles qui se produisent pendant la saison des pluies à Rufisque
8. Déterminer l'impact d'une telle élévation sur la reproduction des peuplements pélagiques et benthiques entre autre. Une telle étude pourrait être confiée au CRODT.

9. Renforcement des capacités : la mesure de l'élévation du niveau marin pour un suivi à long terme du trait de côte peut être associée avec plusieurs aspects des aspects des changements climatiques et donc peut l'objet de plusieurs sujets d'étude, de stages de formation et de perfectionnement etc.
10. Mettre en place une banque de données complète et fiable sur l'évolution à long terme de la ligne de rivage et la quantification du transit sédimentaire en complément des données déjà disponibles.

En attendant une telle étude pour caractériser les agents hydrodynamiques nous proposons le prolongement du mur en enrochement sous forme de bras de raccordement au niveau de Bata comme solution transitoire

#### 7.4 ESTIMATION DU COUT DE PROLONGEMENT DU MUR EN ENROCHEMENTS

Ce segment de côte représente actuellement la seule espace de loisirs pour les habitants des quartiers de Thiawène, Mérina, Colobane etc. c'est pourquoi son aménagement doit prendre en compte la conservation de l'esthétique de cette plage

Une étude d'impact environnemental qui sera confié au C.S.E. Coût : 10 000 000 de francs CFA

Le choix de la roche et de la carrière qui devront être utilisées doivent être défini par le CEREQ ainsi que les études géotechniques : coût estimé à 10 000 000 de francs CFA

Travaux d'exécution estimés à 30 000 000 de francs CFA

Un contrôle strict des travaux se fera par une équipe composée d'agents du CEREQ et du département de Géologie. Coût : 10 000 000 de francs CFA

Le montant du prolongement du mur est fixé à 60 000 000 de francs CFA.

#### 7.5 ESTIMATION DU COUT DE LA MESURE DE L'ELEVATION DU NIVEAU MARIN

En tenant compte des objectifs cités ci-dessus nous avons estimé le coût de ce projet à 400 000 000 de francs CFA compte tenu du caractère multidisciplinaire et multisectoriel du projet.

La durée du projet est de 5 ans.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BRANCART, R. Y. (1975) – Etude micropaléontologique des feuilles au 1/20 000e de la presqu'île du Cap Vert : Rufisque – Bargny (Sénégal Occidental). D. E. S., Labo. Sédimentologie Continentale, Univ.Aix – Marseille III,

BRANCART, R. Y. (1977) – Etude micropaléontologique et stratigraphique du Paléogène sur le flanc occidental du horst de Ndiass et dans la région de Taïba. Thèse 3ème cycle, Univ. Provence, 2 vol., 89 p. , 21 fig., 5 tab., 3 h. t., 40 pl.

COYNE M.A., FLETCHER C. H., RICHMOND B.M. (1999) Mapping coastal erosion hazard areas in Hawaii: Observations and errors. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 28, p. 171 - 184.

DEHOUCK A. (2006) Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère). Thèse de Doctorat nouveau régime de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 262 p.

DIALLO, S. (1982) – Evolution géomorphologique du littoral sur la Petite Côte à Rufisque. Mém. Maîtr., Dpt. Géogr., Fac Lettres Sci. hum., Dakar, 124 p., 33 fig.

DIEYE A. (2000) Traitement informatique de photographies aériennes combiné à l'utilisation de systèmes d'information géographique pour l'étude de la ligne de rivage entre Rufisque et Bel Air durant la période 1968 -1997. Mémoire de D.E.A en Géosciences, Option : Environnements sédimentaires, Université Cheikh Anta DIOP de Dakar, 64 p.

DOLAN R., HAYDEN B. P., HEYWOOD J. (1978) A new photogrammetric method for determining shoreline erosion. *Coastal Engineering*, vol. 2, p. 21 - 39.

DOLAN R., FENSTER M. S., HOLME S.J. (1991) Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, vol. 7, n°3, p. 723 - 744.

ELOUARD, P., BRANCART, R., HEBRARD, L. (1976a) – Notice explicative de la carte géologique de la presqu'île du Cap Vert au 1/20 000. Rufisque. Dir. Mines et Géologie, Min. Dév. Industr. Environ., Dakar, 35 p., 5 fig., 1 carte h.t.

EVENDEN G. (1991) Notes on a method to transform digitized coordinates to geographic coordinates. USGSOpen-file report, n°91-17, Woods Hole, 6 p.

EVERTS, C.H. and D.C. WILSON (1981): Base maps analysis of coastal changes using aerial photography. Coastal Engineering Research Center, Technical paper no.81-4, 15p

FAYE I.B.ND., HENAFF A., GOURMELON F., DIAW A.T. (2008) Evolution du trait de côte à Nouakchott (Mauritanie) de 1954 à 2001 par photo-interprétation. *Norois*, n°208, 2008/3, p. 11 - 27

FREIBURGHANUS P., GALIMONT G., PAYOT M., SCHIFFERLI R. (1981) - Diokoul 1981. Amélioration de l'habitat en milieux périurbains. Etudes préliminaires. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Dpt Architecture, 494p.

LESSARD, G.L. (1982): Télédétection aérospatiale et les environnements littoraux. Séminaire de télédétection, Département de Géographie, Université de Sherbrooke, 36p  
MOORE L. J. (2000) Shoreline mapping techniques. Journal of Coastal Research, vol. 16, n°1, p. 111 - 124.

MORTON R.A., LEACH M.P., PAINE J.G., CARDOZA M.A. (1993) Monitoring beach changes using GPS surveying techniques. Journal of Coastal Research, vol. 9, n°3, p. 702 - 720.

MORTON R.A., SPEED M.F. (1998) Evaluation of shorelines and legal boundaries controlled by water levels on sandy beaches. Journal of Coastal Research, vol. 14, n°4, p. 1373 - 1384.

NARDARI, B. (1993) – Analyse de la houle sur les côtes du Sénégal. Application à la pointe de Sangomar. Rapport de stage U.T.I.S., ISRA/ORSTOM., Dakar, 31 p., 26 fig., 5 ann.

NIANG-DIOP, I. (1995). – L'érosion côtière sur la Petite Côte du Sénégal à partir de l'exemple de Rufisque. Passé-Présent-Futur, Thèse de Doctorat, Univ. d'Angers, T. 1, 317 p., 112 fig. 47 tab.

PASKOFF R., 1993 Côtes en danger ; Paris : Masson 250 pp., 50 fig

SECK, A. (1990) - Etude des caractéristiques techniques des ouvrages de protection du littoral de Rufisque. Mémoire I.S.T., Fac.Sci., Univ.Dakar, no 021.47 p., 39 fig., 9 tab., 1 ann.

SOW, Y., (1994) – Etude de l'ensablement du chenal de prise d'eau de la centrale thermique du Cao des Biches (C III). Rapport d'UV15 : stage d'entreprise. Univ C.A.D de Dakar Fac. Sci. Techn. Institut des Sciences de la Terre., 58 p, 35 fig, 20 tab.

STAFFORD D.B., LANGFELDER J. (1971) Air photo survey of coastal erosion. Photogrammetric Engineering, vol. 37, p. 565 - 575.

THIELER E.R., DANFORTH W.W. (1994) Historical shoreline mapping (II): Application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS / DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. Journal of Coastal Research, vol. 10, n°3, p. 600 - 620.

THIELER E.R., ERGUL A., MARTIN D., THOMPSON, M. (2004) Tutorial for the Digital shoreline analysis system (DSAS) version 2.1.1. "Extension for ArcView. USGS / PEROTSYSTEMS, 30 p.

## METADONNEES

IDENTIFICATION	Titre	Evolution de la ligne de rivage à Rufisque de 1954 à 2006: un outil pour la compréhension de l'impact des ouvrages de protection sur l'érosion côtière
	Résumé	Impacts des murs de protection sur l' évolution de la ligne de rivage
	Thème(s)	Programme régional de lutte contre l'érosion côtière. Suivi du trait de côte et l'élaboration d'un schéma directeur du littoral de l'Afrique de l'Ouest
	Mots-clés	Rufisque, ligne de rivage, limite d'humectation ouvrages de protection, progradation, érosion
	Langues	Français
	Auteur(s)	Abdoulaye Ndour
	Contact(s)	221776509448
	Type des données (jeu, collection)	quantitatives, qualitatives
	Format des données	Textes, tableaux, graphiques, photos
	Date de création	Novembre 2009
	Date de dernière modification	07 Septembre 2010
	Fréquence de mise à jour	Variable: hebdomadaire, mensuelle
	Période de validité des données Status (progression)	
	Contraintes d'accès	Néant
	Contraintes d'utilisation	Néant

ORGANISATION ET CONTENU	Type de représentation spatiale	
	Type d'objet vectoriel	Ligne de rivage, occupation du sol
	Présentation topologique (V/F)	Noms de quartiers, d'usine,...
	Description générale du contenu	
	Description des attributs :	Ligne de rivage, route
LOCALISATION	Echelle du jeu de données	
	Extension géographique	28 Nord
	Système de coordonnées géographiques	UTM
	Système de coordonnées projetées	UTM/ZONE 28N
	Ellipsoïde de référence	WGS-84
QUALITE	Précision spatiale	
	Précision temporelle	
	Précision sémantique	
	Exhaustivité Sources	
	Processus appliqués aux sources	Géoréférencement, mosaïcage

ETUDE REGIONALE DE SUIVI DU TRAIT DE COTE ET ELABORATION D'UN SCHEMA DIRECTEUR DU LITTORAL DE L'AFRIQUE DE L'OUEST  
 UEMOA - UICN

DISTRIBUTION	Format de données	Image, shapefiles
	Version	
	Taille	
	Contact distributeur	
METADONNEES	Nom	
	Date de création	
	Dernière date de modification	lundi 6 septembre 2010
	Langue	Français
	Nom du standard de métadonnées	
	Auteur(s)	Abdoulaye NDOUR

## LISTE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude .....	7
Figure 2 : Géologie de la région comprise entre Mbao et Bargny (d'après Elouard et al., 1976) .....	9
Photo 1 : Végétation caractéristique du cordon littoral de Rufisque (Opuntia tuna).....	10
Photo 2 : Chenal d'alimentation en eau de refroidissement de la centrale thermique du Cap des Biches .....	12
Photo 3 : Rupture et effondrement de l'extrémité Sud du mur de protection du cimetière musulman de Diokoul en juillet 2005 .....	14
Photo 4 : Etat du mur en béton de Diokoul au niveau du quartier et après effondrement. .	14
Photo 5 : Disparition de la plage le long du mur en enrochements de Keuri Souf-Thiawlène. ....	15
Photo 6 : Micro falaise due à l'érosion à l'extrémité du mur en enrochements, au droit du cimetière de Thiawlène (effet de contournement).....	16
Tableau 1: Références des photos et des images utilisées.....	17
Figure 3 : Validation du géo référencement de l'image de référence.....	18
Figure 4 : Détermination de la ligne de rivage .....	20
Figure 5 : Transects générés par le DSAS pour la mesure de l'évolution du trait de côte ..	21
Tableau 2 : Estimation de l'erreur globale.....	22
Figure 6 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1954 à 1980 à Rufisque .....	24
Figure 7 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1980 à 1997 à Rufisque .....	25
Figure 8 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1997 à 2006 à Rufisque .....	26
Figure 9 : Evolution de la limite d'humectation de l'estran de 1954 à 2006 à Rufisque .....	28

