

27/12/14
 DEAD

14544
 Num

REPUBLIQUE DU SENEGAL



MINISTERE DE L'ENVIRONNEMENT ET DU DEVELOPPEMENT DURABLE
 DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT ET DES ETABLISSEMENTS CLASSES
 DIVISION GESTION DU LITTORAL

PROJET DE GESTION INTEGREE DES ZONES COTIERES (POIZC)



ETUDE BATHYMETRIQUE DANS LE GANDIOLAIS



RAPPORT PROVISOIRE

Rapport 2

<i>Réf. du doc</i>							
30001SN	Etude	Provisoire	SENEGAL	EDE	Equipe Assurance Qualité	Cheikh. S Touré	Janvier 2015
Code projet	Type	Statut	Lieu	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par	Date



CABINET EDE
 International
 Ingénieurs Conseils
 Etudes et Contrôles

environnement déchets, eaux

Route de l'Aéroport Ngor-Sunugal,
 rue NG 28 BP 5941 Dakar - Sénégal
 Tel + 221/33 820 87 06
 Fax +221/33 820 04 77
 Site www.cabinetede.com
 E-mail ede@cabinetede.com

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES	2
LISTE DES SIGLES	4
LISTE DES TABLEAUX	5
LISTE DES PHOTOS	5
LISTE DES FIGURES	5
RESUME NON TECHNIQUE	6
1. INTRODUCTION	8
2. PRESENTATION DE LA MISSION	10
2.1. Rappel de l'objectif et des résultats attendus	10
2.2. Composition de l'équipe du consultant	10
3. PRESENTATION DU SITE	11
3.1. Présentation administrative	11
3.2. Présentation géographique	12
3 2 1 Le cadre physique	12
3 2 1 1 Le bassin versant du fleuve Sénégal	12
3 2 1 2 Le delta du fleuve Sénégal	13
3 2 1 3 L'estuaire	14
3 2 1 4 Langue de Barbane	16
3 2 2 Le cadre socio-environnemental et économique	20
3 2 2 1 Esquisse du potentiel environnemental	21
3 2 2 2 Les activités socioéconomiques	23
3 2 2 2 1 Le maraichage	23
3 2 2 2 2 L'élevage	25
3 2 2 2 3 La pêche	25
3 2 2 2 4 Le tourisme	26
4. METHODOLOGIE	27
4.1 La topobathymétrie	27
4 1 1 Les levés topographiques terrestres	27
4 1 2 Les levés bathymétriques (topographie de fond)	28
4.2 La granulométrie	29
4.3 La courantométrie	30
4.4 La collecte et le traitement des données cartographiques	31
4 4 1 Le modèle numérique de terrain	31
4 4 2 La cartographie des risques liés à l'érosion	32
4 4 2 1 Identification des zones à risques	33
4 4 2 2 Le bâti et les établissements humains	33
5. RESULTATS DE L'ETUDE	36
5.1. Analyse des données hydrosédimentaires	36
5 1 1 Exploitation et analyse des données topobathymétriques	36
5 1 2 Traitement des données granulométriques	41
5 1 3 Etude des données courantométriques	45
5 1 4 Tendances, évolutions prévisibles et choix des scénarii de réponses	47
5 1 5 Cartographie et analyse des risques liés à l'érosion	48
5 1 5 1 Cartographie des risques relatifs au bâti	48

5 1 5 2	La justification de l'exposition de ces villages en situation de risque	49
6.	VERS QUEL SCENARIO DE GESTION DE LA BRECHE ?	52
6.1	Le scénario de la stabilisation	52
6 1 1	Les effets attendus de la stabilisation de la brèche	53
6 1 1 1	Les effets négatifs	53
6 1 1 2	Les effets positifs	53
6 1 2	Faisabilité technico-financière de la stabilisation et les opérations complémentaires nécessaires	53
6.2	Le scénario d'évolution naturelle	55
6.3	Analyse comparée des deux scénarii	58
6.4	Recommandations	60
6 4 1	Rappel des conclusions de l'étude	60
6 4 2	Le recasement des populations exposées à la brèche pourquoi il faut recaser les populations ?	61
6 4 3	Faire un enrochement latéral au droit des villages du Gandiolais et revégétaliser les sites libérés	61
6 4 4	Faire un balisage régulier du point de passage des pirogues pour minimiser les risques d'accidents	62
6 4 5	Faire un suivi continu des dynamiques hydrosédimentaires dans le Gandiolais	63
6 4 6	Le suivi-évaluation des recommandations	63
6 4 6 1	Sur le recasement des populations impactées	63
6 4 6 2	Sur les autres recommandations techniques	65
6 4 7	Les acteurs institutionnels en charge du suivi des recommandations	67
7.	CONCLUSION	69
8.	BIBLIOGRAPHIE	70
	ANNEXES	73
	Annexe 1 : Termes de référence de l'étude	74
	Annexe 2 : Liste des personnes rencontrées	75

LISTE DES SIGLES

ANACIM :	Agence Nationale de l'Aviation Civile et de la Métrologie
ANAM :	Agence Nationale des Affaires Maritimes
BBL-SW:	Beauchemin Beaton Lapointe-Swan Wooster
B.P:	Before Present
COSEC:	Conseil Sénégalais des Chargeurs
CMN :	Circonscription Maritime Nord
DREEC:	Division Régionale de l'Environnement et des Etablissements Classés
EDE :	Environnement, Déchets, Eaux
GILIF :	Gestion Intégrée du Littoral et du Bassin Fluvial
IRD :	Institut de Recherche pour le Développement
LB:	Langue de Barbarie
NW	Nord-Ouest
OMVS :	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
PACR :	Programme d'Appui aux Communautés rurales
PNLB :	Parc National de la Langue de Barbarie
PLD :	Plan Local de Développement
PGIZC :	Projet de Gestion Intégrée des Zones Côtières

RESUME NON TECHNIQUE

En octobre 2003, à la suite des effets conjoints d'un cumul d'ondes de crues sur le fleuve Sénégal d'une part, et de l'ouverture complète des vannes du barrage de Diama d'autre part, les zones basses de la ville de Saint-Louis étaient sous la menace des inondations. En effet, le niveau de l'eau était à la côte 1,94 m dans la nuit du 3 au 4 octobre 2003 pour un seuil d'alerte de 1,75 m (Sy, 2004). Pendant ce temps, la pression de l'eau était telle qu'on craignait l'ouverture naturelle d'une brèche au nord du quartier de Goxumbacc (ville de Saint-Louis). Cette situation a conduit à l'ouverture précipitée d'une brèche sur la Langue de Barbarie à 25 kilomètres à l'aval, pour faciliter un écoulement plus rapide des eaux du fleuve vers la mer. *6-7 Km pont ancienne embouchure*

Toutefois, depuis son ouverture, la brèche ne s'est toujours pas stabilisée, avec notamment une dynamique combinant à la fois élargissement et mouvement d'ensemble vers le sud en direction du Gandiolais, dont elle englouti entièrement le village de Doun Baba Dièye en 2010 et expose d'autres localités à la disparition.

C'est dans ce contexte que la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés, à travers la Division Gestion du Littoral, a lancé un projet d'étude bathymétrique dans le Gandiolais, grâce au soutien financier de l'union européenne

L'objectif du projet est la réalisation d'une étude topo-bathymétrique et sédimentaire dans le Gandiolais, en s'intéressant notamment à la morphologie du fond, à la dynamique sédimentaire, et l'étude des courants dans la zone amont et aval de Pilot Barre.

A la suite du livrable 1 qui a permis de faire le point sur le résultat des recherches documentaires conduites, les préoccupations et recommandations des groupes cibles, la visite de reconnaissance des sites et les leçons apprises, ce projet de rapport final a pour objet de faire ressortir les résultats des campagnes de mesures in situ. Ces mesures ont porté essentiellement sur des relevés topobathymétriques, courantométriques et granulométriques effectués dans l'axe Doun Baba DIEYE-Tassinère.

Les résultats des analyses topobathymétriques ont révélé .

- une décroissance des profondeurs du chenal (en dessous de -6m au nord vers moins de -3m au sud) sur un transect longitudinal nord-sud (de Doun Baba DIEYE vers Tassinère),
- une croissance des profondeurs du chenal (de -3 m à partir de la rive droite vers -0,4 m en direction de la rive gauche au droit de Pilot Barre) sur un transect WE (profil transversal des villages vers la brèche. Les sédiments charriés de la rive Sud sont piégés vers Pilot dans le sens des courants dominants. Sur cet axe, l'ensablement a débuté depuis 2004 avec la fermeture de l'ancienne embouchure. La brèche a accentué la dynamique.

Au sujet des analyses granulométriques, il ressort des analyses que :

- sur la zone Nord (Doun Baba DIEYE), il est noté une tendance à l'engraissement de la plage attestée par un régime sédimentaire unimodal avec une prédominance des sables fins sur les séquences hautes de la plage tandis que :
- Sur la zone Sud (axe Pilot Barre-Tassinère), il est observé une tendance à l'érosion avec un régime sédimentaire à évolution bimodale. Les fractions grossières sont utilisées comme abrasifs pour arracher des faciès meubles (sableux).

Concernant les résultats courantométriques, l'analyse de l'écoulement des vitesses sur les sections de jaugeage a abouti aux constats ci-après:

- l'analyse comparative de la vitesse des courants dans la zone nord et sud, de part et d'autre de la gueule de l'embouchure indique des vitesses particulièrement plus élevées de 0,67 m/s sur les extrémités de l'embouchure (mesures réalisées à partir de la rive droite).
- à l'approche du rivage de Pilot barre (rive gauche), on observe sur une profondeur qui dépasse rarement 3m (moyenne 2,67 m), des vitesses sensiblement égales à celles

mesurées sur la gueule de l'embouchure (0,61m/s). La faible différence des niveaux de profondeurs témoigne d'une pente faible du lit fluvial.

Au regard des résultats obtenus, les tendances suivantes se dégagent :

- Une reconstruction naturelle de l'île Baba DIEYE;
- Un élargissement de la rive Nord de la brèche et progradation vers le sud ;
- Une érosion de la rive Sud de la brèche avec un rétrécissement de sa largeur ;

Sur la base des grandes tendances observées, une cartographie des risques liés à l'érosion côtière du fait de la brèche, a été établie. Elle cible essentiellement les points potentiellement exposés à savoir les habitats situés sur la gueule de la brèche à Pilot Barre et Tassinière sur un rayon de 18mètres selon le scénano le plus optimiste et au delà des 18mètres selon le scénano maximal.

A la suite des tendances observées, les évolutions prévisibles sont ainsi décrites.

- Des ruptures naturelles de cordon en raison de la topographie de la rive Sud ;
- Un élargissement de la brèche par érosion de la rive Sud et par bonds suite à des ruptures de cordon ;
- Une migration méridionale de la brèche vers le sud ;
- Une reconstruction de la Langue, cherchant son profil d'équilibre naturel ;
- Un engloutissement par les eaux marines des villages au droit de l'embouchure ;
- Une intrusion marine due à l'élargissement de la passe.

Au regard de ces évolutions prévisibles, les Experts de l'étude ont mis en perspective le devenir de la brèche: **faut-il la stabiliser ou la laisser évoluer naturellement ?**

Le scénano de la stabilisation de la brèche consiste à mettre en place un dispositif technique qui arrête sa migration actuelle; le scénario de l'évolution naturelle signifie l'option du statu quo ou le scénario sans aménagement.

Par rapport au scénario de la stabilisation de la brèche, l'étude a évalué la justesse de cette option en rapport avec le bien-fondé et les effets attendus d'une fixation de la brèche à sa position actuelle mais également à la faisabilité technique et aux coûts d'investissement associés à l'option.

Concernant le scénario d'évolution naturelle de la brèche, les enjeux se situent aux impacts sur le milieu biophysique, les personnes et les biens affectés ainsi que les mesures d'accompagnement nécessaires pour faire face aux risques associés.

Au terme d'une analyse des deux scénarii, l'étude préconise l'option d'évolution naturelle de la brèche car sa stabilisation demeure non seulement complexe et très onéreuse mais comporte des impacts négatifs sur l'équilibre naturel de la Langue de Barbarie. Ainsi, l'étude recommande de «laisser la brèche évoluer naturellement» jusqu'à ce que la Langue de Barbarie retrouve son équilibre. Toutefois, il s'avère nécessaire d'accompagner ce processus par la conception de stratégies souples pour minimiser la vitesse de recul de la falaise du cordon vif. Il s'agit essentiellement de :

- Recaser les populations situées sur les zones à risques;
- Protéger la côte par un enrochement latéral et accompagner la resédimentation de la plage par des actions de reboisement. La revégétalisation des sites libérés comme Doum Baba DIEYE améliore leur reconstruction naturelle
- Faire un balisage régulier du point de passage des pirogues pour minimiser les risques d'accidents;
- Faire un suivi continu des dynamiques hydrosédimentaires dans le Gandiolais ;

Chacune de ces recommandations a fait l'objet d'un suivi-évaluation et les acteurs institutionnels, selon leurs échelles d'intervention, ont été identifiés.

2. PRÉSENTATION DE LA MISSION

Ce livrable fait suite au rapport 1 dont l'objectif était de fournir, après la synthèse des données et avant la campagne de mesures de terrain, une description du résultat des recherches documentaires, des contacts établis et de la première visite de terrain ainsi que des leçons apprises. Enfin, il incluait également une proposition de campagne de mesures approuvée par le maître d'œuvre du projet pour le démarrage de l'étude. Ce présent rapport présente les résultats de l'ensemble des activités de terrain conduites durant le mois de décembre 2014.

2.1. Rappel de l'objectif et des résultats attendus

Ce rapport constitue le deuxième livrable de la mission. Son objectif est de présenter les résultats obtenus des campagnes de collecte et de traitement des informations documentaires et de terrain. Ainsi, le rapport inclut l'ensemble des données récoltées, les cartes produites et les principales conclusions de l'étude.

2.2. Composition de l'équipe du consultant

L'équipe du consultant est composée d'experts de profils assez diversifiés dont les compétences couvrent des domaines aussi divers que l'hydrologie, l'environnement, la sédimentologie, la courantométrie, la topobathymétrie, la Télédétection et les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Le tableau qui suit donne la composition de l'équipe du projet.

Tableau 1 Composition de l'équipe

Prénoms et Nom	Qualification	Poste dans le projet
Boubou Aldiouma Sy	Expert principal en dynamique sédimentaire	Chef de mission
Ibrahima Diop	Expert principal Hydrologue	Hydrologue
Khalifa Ababacar Sarr	Expert principal, SIG/Télédétection	Expert SIG/Télédétection
Amadou Abou SY	Géomorphologue	Appui au chef de mission
Issa DIA	Environnementaliste	Appui du chef de mission au volet suivi-évaluation des impacts environnementaux
Ansoumana Bodian	Hydrologue	Appui à l'expert principal hydrologue
Cheikh Ahmed Tidiane Faye	Topographe, spécialiste en topobathymétrie	Appui au chef de mission aux levés topobathymétriques

M. Diouf

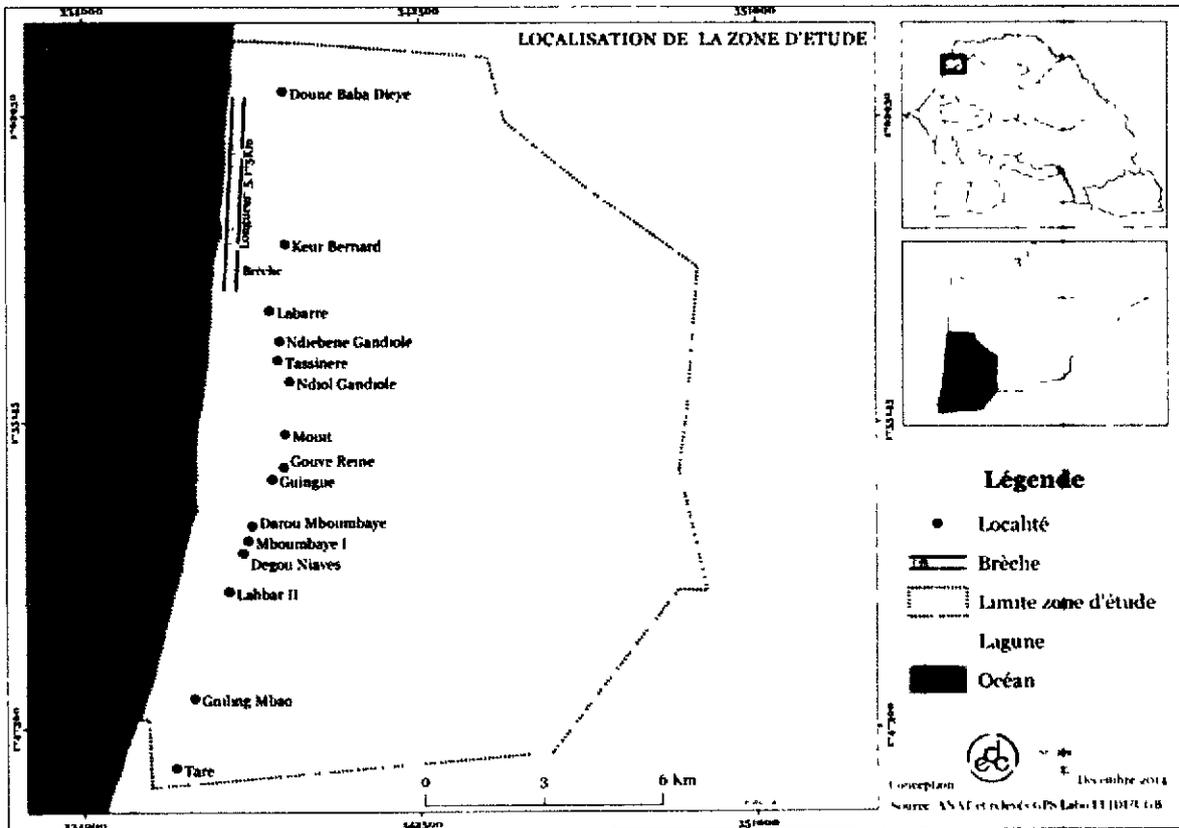
3. PRÉSENTATION DU SITE

3.1. Présentation administrative

*pas
clair*

La zone d'étude englobe au plan administratif une partie de la région de Saint-Louis (commune de Saint-Louis et la commune de Ndiébène Gandiol). Issue de la réforme administrative et territoriale de 2008, la commune de Ndiébène Gandiol était anciennement contenue dans les limites de la Commune. Elle se trouve à 18 km, au sud de la ville de Saint-Louis, et est enserré entre le fleuve Sénégal, à l'ouest, la Commune de Gandon, à l'est, la commune de Saint-Louis au nord et la Commune de Leona dans la région de Louga (Figure 1)

Figure 1. Localisation du site étudié



Le site étudié est un espace à configuration et fonctionnement assez complexe. Globalement, il associe trois zones qui présentent des traits morphologiques, socio-économiques et biologiques différents

Le secteur de l'actuelle embouchure du fleuve Sénégal correspond à la zone qui fait face au village de Doune Baba DIEYE. Il constitue au plan morphologique, le trait d'union entre la commune de Saint-Louis et la communauté de Ndiébène Gandiol. Le secteur situé plus au sud de l'actuelle embouchure englobe en grande partie le territoire côtier rural. Ce segment abrite le Parc National de la Langue de Barbarie (PNLB). Son arrière-pays littoral est une zone d'exploitation maraîchère

3.2. Présentation géographique

La zone d'étude correspond à la bordure côtière de l'extrême Nord de la région naturelle des Niayes. Elle est à cheval entre le milieu urbain et le milieu rural.

3.2.1 Le cadre physique

La Langue de Barbarie se situe dans l'estuaire du fleuve Sénégal. Son évolution est tributaire des conditions hydrodynamiques sur l'océan atlantique et le fleuve Sénégal. C'est la raison pour laquelle, la connaissance du fonctionnement des unités morphodynamiques du domaine fluvio-deltaïque à estuarien (bassin versant du fleuve Sénégal, delta, estuaire, Langue de Barbarie) demeure un préalable.

3.2.1.1 Le bassin versant du fleuve Sénégal

Le fleuve Sénégal est l'un des grands organismes hydrographiques de la façade atlantique de l'Afrique de l'Ouest. Il est compris entre 10° 30' et 17° 30' de latitude Nord et entre 7° 30' et 16° 30' de longitude Ouest (START, 2002). Il descend des massifs gréseux du Fouta Djallon puis traverse le plateau mandingue. Il résulte de la confluence de deux branches supérieures mères (le Bafing et le Bakoye), à Bafoulabé. A partir de Bafoulabé, le fleuve Sénégal se dirige vers le nord-est en passant par Kayes. Il draine un bassin versant de 290 000 km² dans les territoires du Sénégal (21000 km²), du Mali (155 000 km²), de la Guinée (31 000 km²) et de la Mauritanie (75 000 km²) (figure 2).

Figure 2 : Localisation du bassin versant du fleuve Sénégal

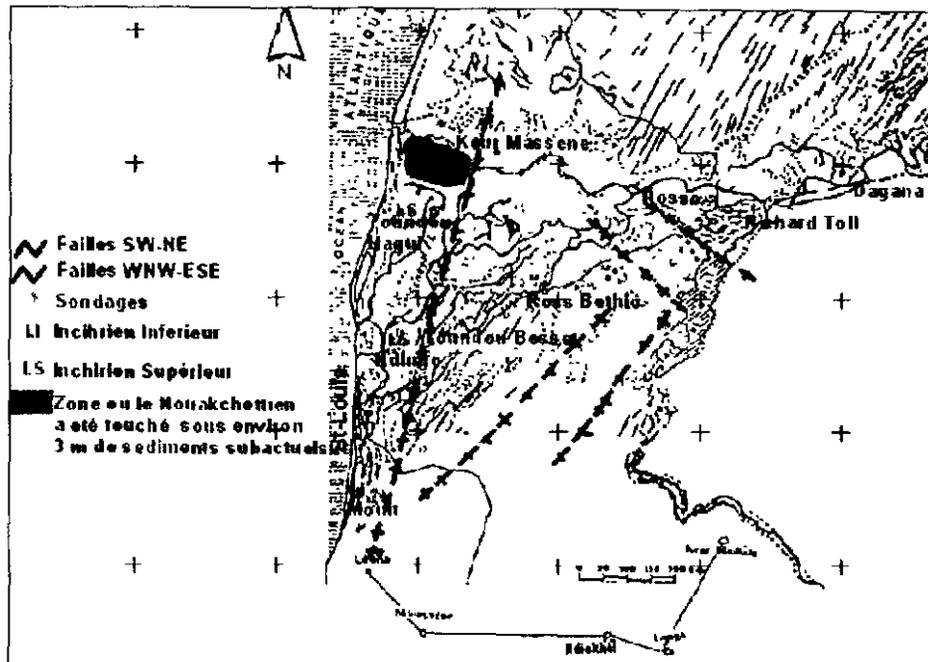


Source : UNESCO (2002)

Long de plus 1700 km, le fleuve Sénégal est à cheval sur 4 pays qui sont, d'amont en aval, la Guinée, le Mali, le Sénégal et la Mauritanie (BODIAN, 2011). Le bassin du fleuve Sénégal se subdivise en 3 grandes zones hydrographiques (START, 2002) :

- le haut bassin en amont de Kayes,
- le bassin inférieur ou vallée alluviale qui s'allonge sur 630 km de Kayes à Dagana, parsemée de hautes levées fluvio-deltaïques,
- le delta, situé à l'aval de Richard-Toll et prolongé par un estuaire à partir duquel le fleuve se jette à la mer par une embouchure unique appelée aujourd'hui brèche.

Figure 3 Croquis structurale du delta du Sénégal



Source: AUDIBERT, 1967, modifié par BA, 2013

Au plan géomorphologique, le substratum est constitué essentiellement de sédiments marins et continentaux provenant de l'érosion des roches primaires et antécambriennes allant du Maestrichtien (73 millions d'années) au Pliocène (2 millions d'années). Pendant cette séquence, le delta poursuit son processus de subsidence marqué par l'alternance d'apports marins et fluviaux. Ceci explique, sur le plan géologique, l'absence d'affleurements des formations du Secondaire et du Tertiaire noyées sous des dépôts du Quaternaire.

Le front deltaïque s'étend en aval de Keur Marsal et forme une vaste plaine sablo-argileuse. La plaine deltaïque constitue le prolongement de la plaine alluviale parcourue par un réseau de chenaux ramifiés. Dans le cas du delta du Sénégal, ce segment s'étend en aval de Rosso en une vaste plaine marquée par l'existence du fluviodeltaïque haut, sablo-argileux, alternant aux dépressions argileuses appelées vasières ou cuvettes de décantation dans le secteur estuarien. Dans la morphologie actuelle, l'estuaire se confond au bas delta du fleuve Sénégal.

3.2.1.3 L'estuaire

Le mot estuaire vient du latin *aestus* qui signifie marée. Un estuaire est traditionnellement défini comme une entité morphologique semi fermée débouchant à la mer. Géologiquement, les estuaires sont très jeunes, leur formation remonte à la dernière transgression marine. Les estuaires apparaissent donc comme des lieux d'échanges très efficaces, d'énergie et de matière entre le domaine marin et le domaine terrestre. CHURCH (2002) retient que les deux forces essentielles qui commandent la dynamique des estuaires sont d'une part celle liée au fleuve, d'autre part celle liée à la marée.

Pour les géomorphologues, l'estuaire est le secteur du littoral, à faible relief, correspondant à l'embouchure d'un cours d'eau important, qui s'évase vers l'aval et dans laquelle pénètre amplement la marée (PASKOFF, 1985). L'espace soumis à la fluctuation de la marée forme précisément l'estran. Dans le delta du fleuve Sénégal, le marnage fluctue dans un gradient altitudinal de l'ordre du mètre; il contrôle l'extension des séquences géomorphologiques comme les vasières.

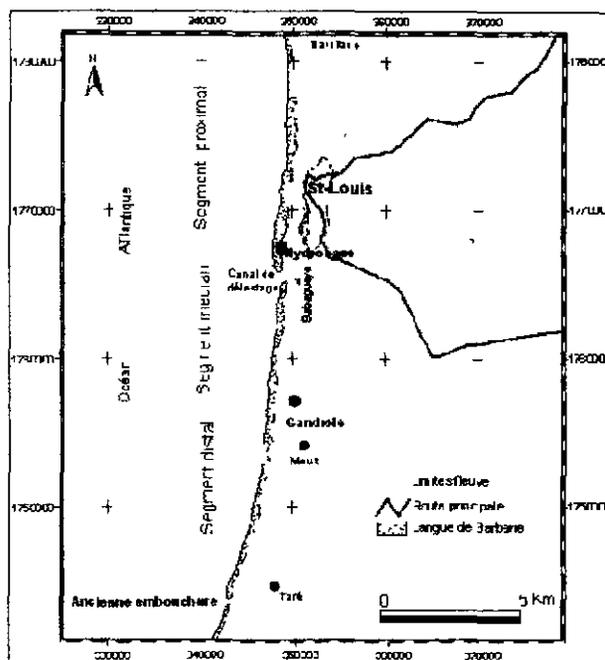
La vase est un dépôt caractéristique des estuaires mais aussi de certains lacs et de nombreux fonds marins littoraux ou de grande profondeur (ELKBIR, 1998) La vase est un sédiment fin formé de précollaires et de colloïdes où la fraction sableuse est réduite. Les composants sont des minéraux argileux, du fer et de la matière organique. Les vasières constituent une unité géomorphologique importante dans le secteur du delta compte tenu de leur extension géographique. On y distingue deux types de vasières : les vasières recouvertes par une végétation herbacée appelée schorre et celles nues à efflorescences salines connues sous le nom de tanne.

Les tannes sont des terrains dénudés à efflorescences salines. Dans le secteur du bas delta du Sénégal, ces unités correspondent aux terrains recouverts par des eaux du fleuve pendant l'hivernage, laissant de larges plages nues après leur retrait. On peut observer cette unité vers le Gandiolais, à l'est de l'île de Sor et aux abords des Trois Marigots. Le schorre se présente sous la forme de surfaces basses subhorizontales. Il est régulièrement inondé par la marée et la crue selon qu'il se trouve sur le littoral ou abrité au niveau des estuaires. La surface du schorre dispose d'un réseau de chenaux plus ou moins dense. L'unité se compose d'une végétation halophyte qui supporte des inondations périodiques et une salure variable. A Saint Louis, la différenciation des séquences n'est pas toujours nette. Sur le site de Bountou Ndour (15°57'N-16°29'N), on peut y observer

- une vasière basse matérialisée par une série de chenaux anastomosés au sein desquels prennent pied l'espèce *Rhizophora racemosa*,
- la vasière haute annonce deux niveaux plutôt confus. l'étage adjacent à la slikke présente une colonie assez steppique de l'espèce *Avicennia africana*, l'étage suivant supporte un semis dispersé de *Salsola baryosma*,
- enfin le schorre à herbacée se raccorde au cordon de dunes jaunes semi fixées.

Du point de vue sédimentologique, la vasière du Bas delta a diverses sources. Les dépôts fluviaux sont constitués des charges solides du fleuve pendant les moments de crue. SALL (1980) estime les teneurs à 676 mg/l à la hauteur du Pont Faidherbe, 211 mg/l sur le Lampsar. Aujourd'hui, avec la mise en eau du barrage de Diama, ces données doivent être reconsidérées (KANE, 1993). Les débits solides sont essentiellement véhiculés par les défluent du Sénégal qui peuvent aussi collecter des charges avec le déversement des sédiments meubles issus des unités géomorphologiques bordières (vents et ruissellement). L'estuaire du fleuve Sénégal est circonscrit à une petite zone entre le barrage de Diama et le cordon sableux de la Langue de Barbarie (figure 4)

Figure 6 Morphologie de la Langue de Barbane



Source : BA (2008)

Mais l'édification du cordon de Barbarie ne s'est accélérée qu'à partir des années 1850. À cette date, les vieilles cartes marines placent l'embouchure à 2,5 km au sud de Saint-Louis. Son engraissement est contrôlé par les apports de la dérive littorale, s'ouvrant largement sur le désert mauritanien. Selon des estimations de BARUSSEAU (1980), le transit sédimentaire le long de la Langue de Barbane varie de 365 000 à 1 500 000 m³/an (tableau 2)

Tableau 2 Estimation du déplacement des débits massiques sur le littoral Nord

Dimensions mat. (mm)	Composante vers le nord/m ³	Composante vers le sud/m ³	Résultats vers le sud/m ³
0,1	52 000	495 000	450 000
0,2	36 000	348 000	300 000
0,3	30 000	28 500	250 000
0,4	26 000	247 000	225 000
0,5	23 000	223 000	200 000

Source : BARUSSEAU (1980)

Tout le sable mis en mouvement du nord vers le sud n'est pas piégé par le cordon en raison de la dérive littorale. Ce dernier ne fait que s'allonger tout en subissant une dynamique active marquée par des phases de progradation et de ruptures de cordon. Ainsi les recherches de SY (1982), SALL (1982), DIAW et al., (1988 et 1991) et DIOP et al., (1993) montrent que la dynamique de la Langue de Barbane se caractérise d'une part par une érosion de la partie amont dont les matériaux, pris en charge par la dérive littorale, contribuent à l'extension de la flèche vers le sud et des ruptures naturelles créant souvent de nouvelles embouchures, d'autre part. Les résultats obtenus par différents auteurs (entre 1958 et 2012 - tableau 3) indiquent une vitesse moyenne de migration de la Langue vers le sud de l'ordre de 524,4 m/an.

Tableau 3 Taux de progradation de la LB selon les auteurs entre 1958 et 2012

Méthodologie	Périodes	Mesures	Auteurs
Photographie aérienne non rectifiée	1958-1960	700 m/an	SALL, 1982
Suivi de piquets repères	1972-1978	152 m/an	SALL, 1982
Image Landsat Mission rectifiée	1973-1977	625 m/an	SY, 1982
Images Landsat	1983-1998	500 m/an	GILIF, 2002
Mesures topographiques différentiels sur le terrain	2011-2012	660 m/an soit 55 m/mois, 1,83 m/jour	SY et al., (2012)
Moyenne sur l'ensemble des données		527,4 m/an	

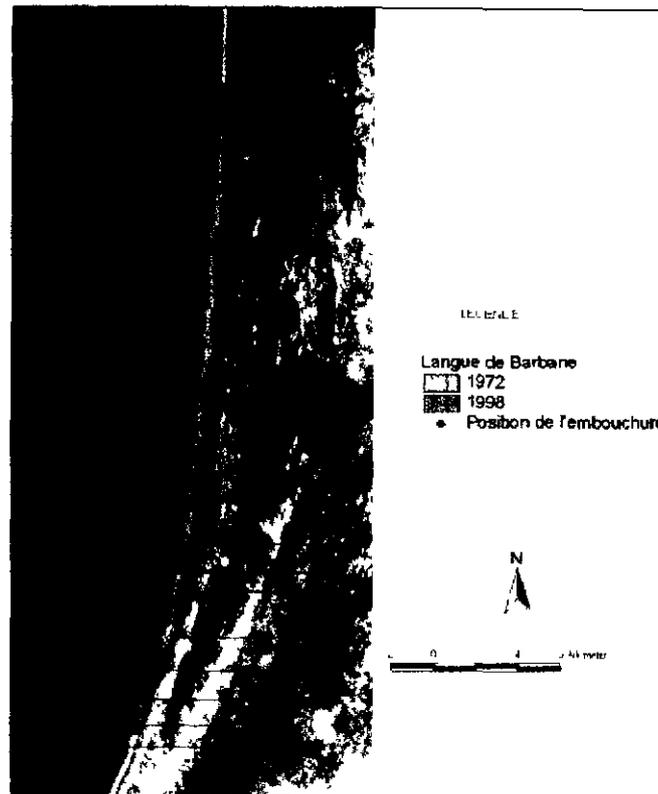
Source: SY (2013)

Le processus d'extension du cordon serait lié à la réduction de l'angle d'incidence du courant de dérive par rapport au trait de côte et à la faiblesse d'ensemble de l'énergie des houles. La côte sénégal-mauritanienne est classée parmi les côtes à forte énergie de houle (MONTEILLET, 1988).

La houle joue un rôle fondamental dans la morphologie des littoraux. Une houle est le résultat de la propagation d'une onde sinusoïdale monochromatique dont la manifestation extérieure est le déplacement d'une vague en surface (DERRIAU, 1976, ROGNON et BONN, 1992). Lorsque la direction des houles est oblique par rapport au rivage, le mouvement alternatif provoque le déplacement latéral des débits solides : c'est la dérive littorale, qui induit le transit et accumule les sédiments dans les rentrants de la côte (AMAT et al 1996), rentrants constitués de golfes et de chenaux de marée ouverts à l'Océan. Or, la côte sénégal-mauritanienne, jusqu'à la Presqu'île du Cap-Vert est classée parmi les côtes à forte énergie de houle (MONTEILLET, 1988). Ce bief est soumis à deux courants de dérive bien étudiés sur le littoral nord sénégalais : le courant du nord-ouest, le plus important, et celui du sud-ouest.

Le courant du nord-ouest, long et de forte énergie, a pour origine les tempêtes d'ouest des hautes latitudes (55-60°N) de l'Atlantique nord (GUILCHER, 1954). Ce courant est régulier, peu cambré et haut de 1,5 m. Sa période varie entre 8 et 16 secondes et sa vitesse est de 22 m/s. La longueur d'onde de ce courant varie de 265 à 350 m (DEMOULIN, 1970). Il domine sur le littoral sénégal-mauritanien de la mi-octobre à la mi-juillet. De la mi-juillet à la mi-octobre, avec le changement directionnel du Front Intertropical qui favorise la rentrée du front de mousson, le littoral nord est sous l'action prédominante des houles australes. Ce courant est court et de faible énergie. Sa hauteur est de 0,8 m contre une période de 5 à 10 secondes. Les houles du NW assurent un important transport de sable qui contribue à la progradation de la Langue de Barbarie (figure 7).

Figure 7 : Migrations de la Langue de Barbane et de la position de l'embouchure
1970 à 2002



Source : GILIF, 2002

Des ruptures naturelle de cordon marquent l'évolution de la Langue de Barbane depuis 1850 jusqu'à une période récente, soit 24 ruptures entre 1850 et 1980 (SALL, 1982) Elle semble suivre à l'époque un cycle de 11 ans (NICOLAS, 1953) ou de 14 ans (GAC et al, 1982) Les ruptures les plus importantes depuis 1900 sont celle de 1906, de 1923, de 1936, de 1948, de 1959 et de 1973. Depuis 1906, les différentes ruptures se situent au sud du 15^e parallèle. D'anciennes embouchures plus septentrionales seraient encore reconnaissables près des Maringouins et du margot de Boydet mais elles ne sont pas toutes importantes. Certaines d'entre elles se sont fermées aussitôt après et ne se sont pas développées en une nouvelle embouchure stable du fleuve.

3.2.2 Le cadre socio-environnemental et économique

Situé à l'extrême Nord des Niayes, le Gandiolais (ou Gandiol) est à une dizaine de kilomètres de Saint-Louis, dans le département du même nom Occupant les rives du bras mort et plus largement à l'intérieur des terres, le Gandiolais bénéficie des derniers kilomètres parcourus par les eaux du fleuve Sénégal, après un trajet de près de 1800 km. Le nom Gandiole est tiré du vocabulaire wolof « Gaayi Ndiol » qui signifie littéralement en français « les gars de Ndiol ». L'origine du mot confirme que les premiers résidants étaient des wolofs Traditionnellement, on trouve dans le Gandiolais, des ethnies comme les wolofs, les peuls et les maures qui ont réussi à adopter un mode de vie quasi identique. Les wolof sont majoritaires avec 65 % de la population, suivis des peulhs avec environ 25 % et enfin les maures avec 10 % On trouve également dans le Gandiolais d'autres ethnies qui viennent travailler de manière saisonnière dans la zone Il s'agit des « sourgas » provenant surtout de la sous-région Gambie, Mali, Guinée Bissau, etc. Ce peuplement a été favorisé par des conditions environnementales favorables

3 2 2 1 Esquisse du potentiel environnemental

Au plan hydrologique, le Gandiolais se présente comme un chenal rectiligne, bordé en rive droite par le cordon dunaire de Barbarie et en rive gauche par un réseau assez diffus de lagunes, qui constituent d'anciens paysages à mangroves fossilisés. Ce complexe lagunaire est constitué par les cours de Leybar, de Ndel, le Dounty et le Lawmar qui est la limite Est du Parc de la Langue de Barbarie. Un peu plus à l'intérieur, dans le relief interdunaire, on rencontre un réseau de cuvettes inondées dont le Gueumbeul, le Ngaye-Ngaye, le Salicorne et d'autres petites cuvettes adjacentes au Gueumbeul (SY, 2013). Ces chenaux et lagunes sont peu profonds, remontés par la marée et partiellement colonisés par les espèces *Salsola baryosma*, *Rhizophora racemosa* et *Avicennia africana*.

Au plan édaphique, on retrouve en fonction de la topographie et de la nature du sol, une végétation typique. Dans le système des dunes rouges ogoliennes, dominent les espèces comme *Pannaris macrophylla*, *Acacia albida*, *Acacia raddiana*, *Acacia seyal*. Les strates arbustives et herbacées sont essentiellement composées d'euphorbiacées (*Euphorbia balsamifera*), de combrétacées (*Guiera senegalensis*, *Combretum glutinosum*) et de graminées saisonnières (*Cenchrus biflorus*, *Andropogon sp*). Dans le système de dunes jaunes et de dunes blanches, la végétation reste maigre, parfois même inexistante sur les dunes vives. En dehors de la végétation d'origine anthropique, implantée dans le cadre du projet de fixation des dunes littorales par des filaos, les rares espèces présentes sont *Opuntia tuna* et *Maytenus senegalensis*.

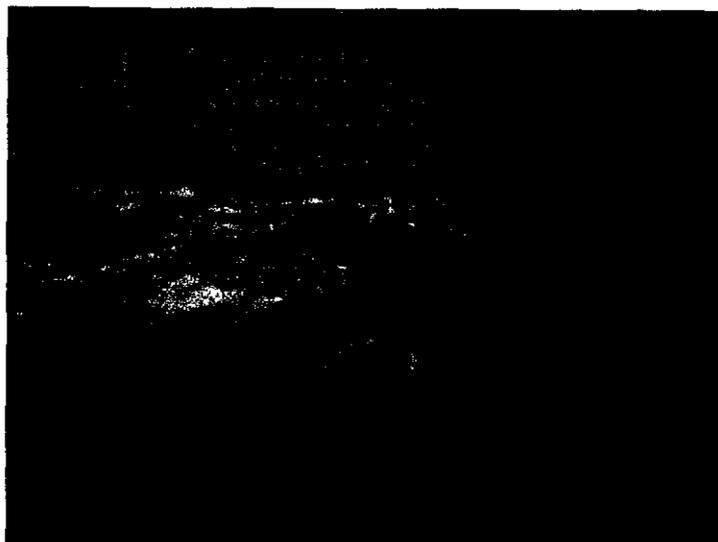
Photo 1 Dune jaune et sa végétation à Mboumbaye



Cliché JACOUTOT (2006)

Au plan pédologique, on retrouve un matériau sableux quaternaire qui couvre la majeure partie du territoire sénégalais. Sur le littoral nord, ces formations se caractérisent par une succession de dunes d'âge, de texture et de couleurs différentes (MICHEL, 1973). Les dunes blanches ou dunes vives adjacentes à la haute plage (photo 2) sont dominées par du sable d'apport éolien et marin. Leur origine remonte à 2000 BP. A l'arrière des dunes blanches, se trouvent les dunes jaunes héritées de la période post ogolienne (6500 BP) en faveur d'une phase sèche caractérisée par une activité éolienne importante. Les dunes rouges ou dunes ogolienne (22000-12000 ans BP) forment un important erg depuis le sud ouest de la Mauritanie jusqu'à l'ouest du Sénégal. Elles sont constituées de sols rouges communément appelés sols « Diors ». Ces dunes sont traversées par des dépressions intercordons du type niaye avec un sol hydromorphe organique hérité du Pluvial Tchadien (12000-8000 ans BP).

Photo 2 Vue d'une dune blanche à Gadga sur la rive Est de la lagune



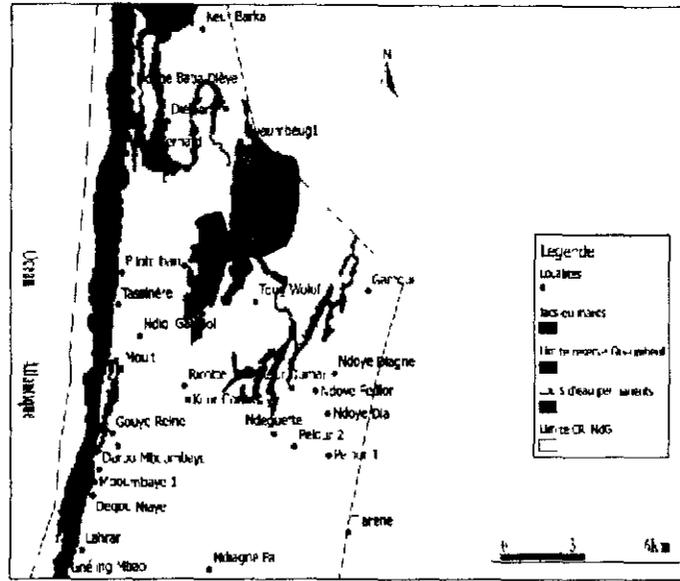
Cliché : SY (2008)

Au plan climatique, la région du Gandiolais bénéficie d'un micro-climat assez particulier. Les températures sont modérées, influencées par la circulation des alizés maritimes issus de l'anticyclone des Açores. La température mensuelle moyenne la plus chaude se situe autour de 28°C à Saint-Louis et survient en Juillet-Août. De Novembre à Février le fort taux d'humidité relative est favorisé par la proximité de l'océan. Inscrite dans la moitié de la zone sahélienne, la région du Gandiolais est caractérisée par l'alternance d'une saison humide concentrée sur trois mois, de juillet à septembre et d'une saison sèche qui dure les autres neuf mois de l'année.

Les précipitations sont apportées par le flux de mousson en provenance du sud, issue de l'anticyclone de Sainte-Hélène. Elles sont peu abondantes et dépassent rarement 350mm/an. Des précipitations appelées « heug » surviennent en saison sèche notamment durant la période froide, de Décembre à Février. Ces précipitations issues d'intrusion de masses d'air polaire, irrégulières et peu abondantes, sont d'une grande importance pour la pratique des cultures de contre saison dans ce milieu (BARRETO, 1963). Aujourd'hui, ce potentiel environnemental est modifié par des facteurs physiques et anthropiques. Malgré cette dégradation, on observe à l'échelle du Gandiol une évolution de l'espace.

D'après le recensement administratif effectué par l'ex conseil rural, la commune de Ndiébène Gandiol totalise environ 20 000 habitants, soit une densité de 106 habitants au km². En 2010, les wolofs représentaient 45 % de la population totale, les peuls étaient estimés à 35 %, les maures 15 %. Les autres ethnies représentaient 05 %. Cette population est à dominante féminine avec 52,4 % de l'effectif total contre 47,6 % pour les hommes. Les moins de 15 ans représentent 47 % de la population totale. La tranche d'âge 15-65 ans se singularise avec 48 % de l'effectif. Les plus de 65 ans représentent 05 % de la population totale. Aujourd'hui, l'essentiel de la population se concentre à l'ouest. La frange côtière supporte un chapelet de villages (Doun Baba Dièye, Keur Bernard, Pilote, Tassinère, Mout, Mboumbaye, Gadga Lahrar, Gniling Mbao, etc), appartenant à la commune de Ndiébène Gandiol (figure 8).

Figure 8 Localisation des villages du Gandiolais



Source : NIANG thèse en cours

L'évolution du peuplement et de l'espace s'explique par la proximité des dépressions, qui permettent une pratique agricole (maraîchage), mais aussi par son ouverture sur le fleuve et l'océan Atlantique, favorisant le développement d'activités halieutiques

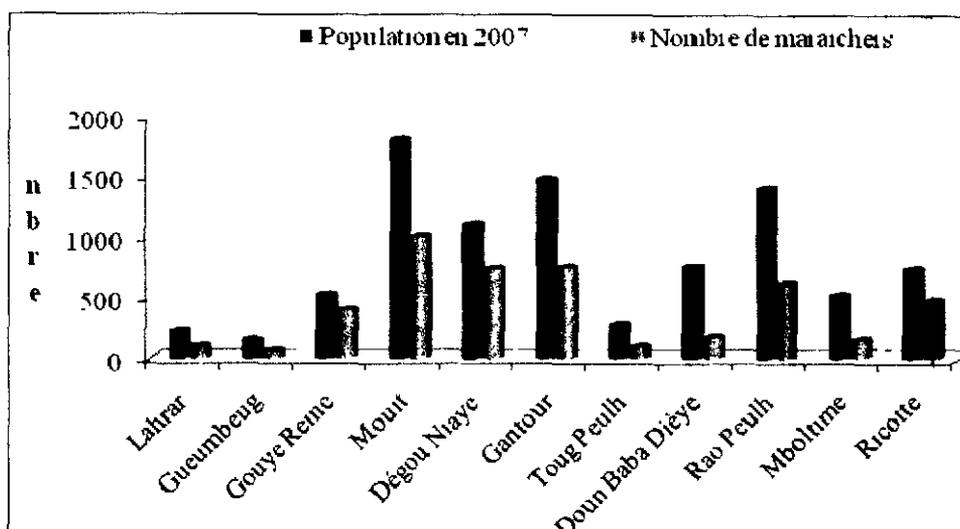
3.2.2.2 Les activités socioéconomiques

Le Gandiolais est très marqué par l'agriculture, notamment le maraîchage. La pêche qui avait une très grande importance est en complète déperdition suite aux grandes modifications du bas-delta, alors que celles-ci ont permis une exploitation très active des marais salants, dont nombre d'entre eux sont très récents. On recense aussi l'exploitation régressive de quelques carrières de sable coquillé. La présence de réserves naturelles et la facilité d'accès au site depuis Saint-Louis favorisent le développement du tourisme (JACOUTOT, 2006)

3.2.2.2.1 Le maraîchage

Les statistiques du maraîchage dans la zone du Gandiolais sont rares. Certains paramètres permettent cependant de voir l'importance de cette activité dans la zone. Le maraîchage constitue actuellement l'activité principale dans de nombreux villages du Gandiolais, surtout la zone de Mouit, Dégou Niaye et Gadga. Les statistiques de 2007 (figure 9) montrent que 65 % des habitants dans 11 localités du Gandiolais pratiquent le maraîchage, soit 475 maraîchers sur une population totale de 727 habitants.

Figure 9 Part des maraîchers dans quelques villages du Gandiolais en 2007



Source: SY (2013)

Les régions de Dakar et de Kaolack semblent être les lieux privilégiés d'acheminement des récoltes particulièrement pour l'oignon. À Dakar, les produits sont écoulés sur les marchés de Dalifort, Castor, Thiaroye, Gueule Tapé. Malgré les difficultés, l'augmentation des superficies destinées au maraîchage augmente suivant les spéculations. Dans le Gandiolais, presque tous les villages s'activent dans la production de légumes frais (oignon, choux, tomate, etc), pendant toute l'année. Dans la Commune de Ndiébène Gandiol, les superficies emblavées par année tournent autour de 500 ha. Sont cultivés principalement tomates (xina), pommes de terre, manioc, niébé, melons, choux, navets, aubergines, arachide, piments, menthe (nana), bissap, etc. L'oignon est de loin, la principale spéculation dans le Gandiolais (photo 3). Généralement, les paysans cultivent pendant la première session, de décembre à avril, le « Nguagne-Mbaye », et pendant la deuxième session, de mars à juillet, le « Sone-sa ».

Photo 3 Campagne de récolte d'oignons dans un Ndiouki à Gadga Lahrar



Source : in SY et al., 2011

Le travail effectué ici est plutôt pénible car les maraîchers débutent l'activité d'arrosage manuel vers 05 heures du matin, puisant de l'eau dans des Céanes creusés au milieu des lopins de terres, jusqu'à

12 heures Ces espaces sont protégés de l'animal divagant et de la particule de quartz en saltation, héritée du revers du cordon, par des haies vives (en arrière plan de l'image). Les exploitants ajoutent régulièrement de l'humus (engrais organique) Comparée à l'agriculture, l'élevage est dans cette zone une activité marginale

3.2.2.2 L'élevage

L'élevage constitue le second sous secteur de l'économie primaire gandiolaïse (PLD, 2010; PACR, 2012) C'est un type d'élevage essentiellement extensif pratiqué dans le système des dunes jaunes. Il est encore fortement dominé par le modèle transhumant, surtout en zone Diéri (autour des villages de Ricotte, Rimbakh Gandiol, Toug Peul, Gouye Reine) avec des troupeaux composés en majorité de bovins. Toutefois, on retrouve le long du littoral des troupeaux de petits ruminants de tailles moins importantes, et qui se déplacent sur des espaces beaucoup plus circonscrits Depuis les années 1970, les peulhs du Diéri gandiolaïse sont passés du statut de pasteur à celui d'agropasteurs se sédentarisant et associant l'élevage à l'agriculture maraîchère Beaucoup d'entre eux sont devenus essentiellement des maraichers à temps plein.

3.2.2.3 La pêche

La commune de Ndiébène Gandiol dispose d'une façade maritime et d'un fleuve qui la traverse sur toute sa longueur ouest. Il existe donc une possibilité de pratiquer la pêche continentale et maritime, mais elle est marginalisée car n'occupant que 5 % de la population active excepté quelques villages (Mouit, Tassinère, Ndiol Gandiol, Gueumbeul) Néanmoins, la commune compte 29 débarcadères non aménagées réparties dans les différents plans d'eau. Les revenus monétaires tirés du secteur étaient jadis importants et contribuaient fortement au budget des ménages Les espèces débarquées (zone du Gandiolaïse) sont composées de sardinelles (70 %), d'espèces nobles (soles, dérade, mérrou, 10 %), ngoth, crevettes et langouste (10 %) et de requins raies destinées à la transformation artisanale des produits halieutiques Dans le secteur du Gandiolaïse, on dénombrait en 2009, 278 unités de pêche dont 119 filets dormants, 120 filets déviants, 11 lignes normales, 05 glacières et 23 palangres (tableau 4)

Tableau 4 Les unités de pêche recensées dans le Gandiolaïse

Localité	Filets dormants	Filets déviants	Ligne normale	Glacière	Palangre
K Barka	09	10	1	2	-
D Baba DIËYE	35	37	2	3	-
D. Mbambe	20	1	-	-	-
Pilote	15	13	1	-	-
Tassinère	10	09	-	-	-
Mboumbaye		16	-	-	-
Mouit	06	11	-	-	-
Dégou Niaye	24	23	07	-	23

Source : données service régionale des Pêches (2009)

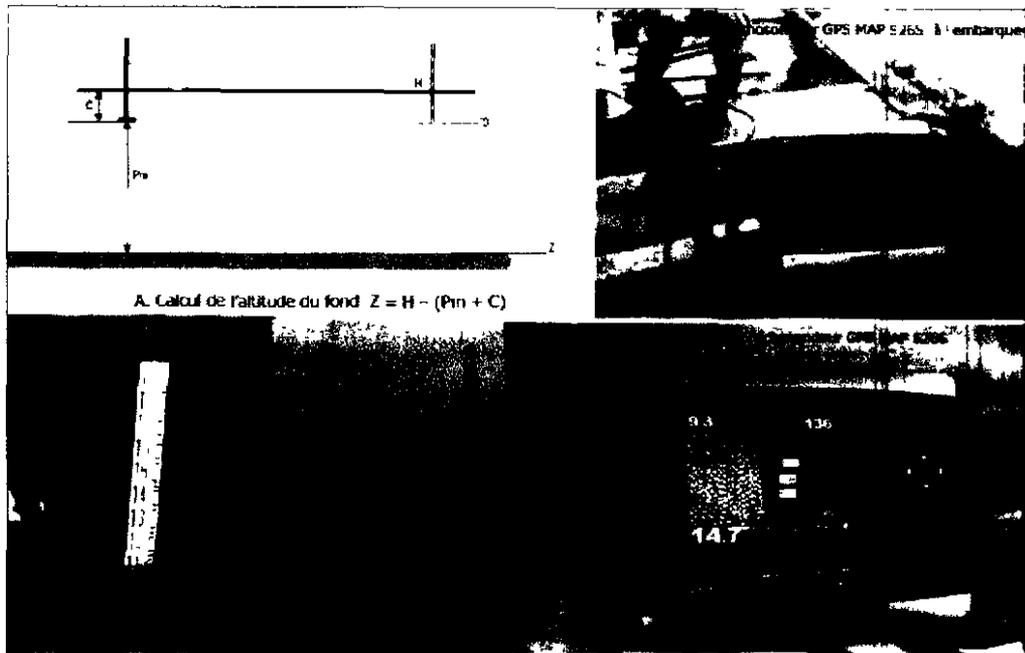
La pêche se pratique du côté fleuve comme du côté mer avec cependant une prédominance de la pêche fluviale dans les villages comme Keur Bernard, Tassinère et Pilot D'après les données fournies par le centre statistique de Saint-Louis, la zone du Gandiolaïse compte 150 pirogues motorisées et 450 pêcheurs

3.2.2.2.4 *Le tourisme*

La commune de Ndiébène Gandiol dispose d'un important potentiel touristique. Il s'agit du paysage des dunes, des plans d'eau, du site d'oiseaux aquatique (pélican, warang), du site de « Maroum Dieuleuck » (reposoir d'oiseaux), site de balacos (bâtiment historique), sites des salines dans la zone de Mouit, des canons à Gouye reine et le phare de Gandiol. À cela, s'ajoute l'existence de plusieurs campements (Zébrabar, Keur Aminata Diallo, Nokhou boukha). Le fort de Balacos, le phare de pilot et le Parc National de la Langue de Barbarie sont parmi les sites les plus importants. Balacos est un fort qui servait de dépôt d'armes et poste secondaire pour le courrier, il se trouve dans le village de Mouit. Les bateaux qui venaient de l'Europe entraient en Afrique Occidentale par le fleuve, à hauteur de ce village dont la position stratégique poussa les colons à y construire ce fort. Le phare de Pilote se situe dans le village qui porte son nom, à 2,5 km au nord de l'entrée du PNLB. Il fut construit en 1845 pour remplacer l'ancien phare qui se trouvait à Saint-Louis et dont la position n'était plus favorable pour guider les bateaux vers le fleuve.

En définitive, les analyses montrent que la région du Gandiolais est une zone économique et environnementale stratégique. Toutefois, ce potentiel est en proie à une dégradation liée à l'ouverture d'une brèche sur la Langue de Barbarie en 2003. Cette situation exposera davantage la zone à une certaine vulnérabilité grandissante si les choses devaient rester en l'état. C'est pourquoi, au-delà de la curiosité scientifique visant à une meilleure compréhension des phénomènes associés à la brèche et aux impacts dont elle est porteuse, des recherches de plus en plus orientées vers l'action se font jour. Elles sont portées par des acteurs publics avec l'appui de bailleurs de fonds pour donner une envergure opérationnelle aux résultats des recherches de terrain. L'étude bathymétrique dans le Gandiolais rentre dans cette perspective. Elle s'appuie essentiellement sur des mesures *in situ* qui ont exigé des protocoles de recherche relativement bien élaborés.

Figure 11 Aperçu des levés bathymétriques



En plus de la topobathymétrie, des échantillons de sédiments ont été prélevés pour le traitement granulométrique, réalisé au laboratoire de fertilité des sols de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricoles (ISRA) de Saint-Louis

4.2 La granulométrie

Le prélèvement s'est effectué sur 6 transects en raison de 2 transects par site à Doun Baba DIEYE, Pilote Barre et Tassinère. Au total, 30 échantillons sont récoltés sur les séquences géomorphologiques suivantes

- Cordon ,
- haute plage ,
- basse plage ,
- plage sous marne

Pour les échantillons de la plage sous marine, une perche de 6m de longueur avec un rebord inférieur de 30 cm de hauteur a été utilisée. Les coordonnées géographiques des points de mesures sont relevées à l'aide de GPS

Figure 12 Aperçu de la collecte des échantillons de sol



Les analyses granulométriques sont réalisées selon les étapes suivantes. séchage à l'air libre, séchage à l'étuve (18h à 105 degrés), tamisage sur colonne de tamis à 6 fractions et agitation électrique pendant 5 mn avec une amplitude 10, le pesage est réalisé à l'aide d'une balance électrique de précision

Au laboratoire, les outils suivant sont utilisés:

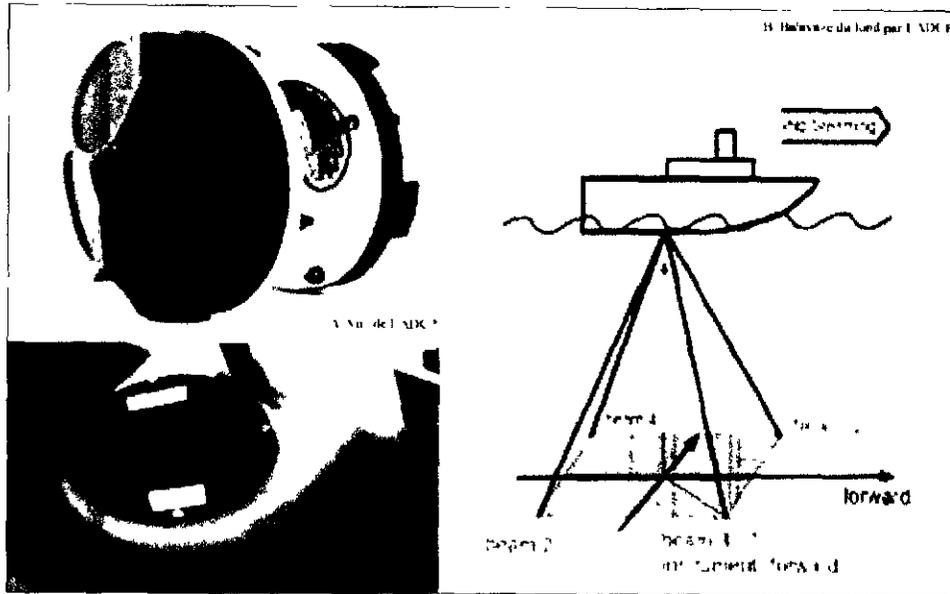
- colonne de tamis à 06 fractions (maille de 0,02 à 2,5 mm),
- balance électrique de précision METLER portée 220 g ,
- agitateur ,
- étuve JOUAN ;
- plateaux en bois (20 X 20 cm) ,
- boîtes à pétrir ;

Les logiciels Grapher, Gradista et Excel sont utilisés pour le traitement des données

4.3 La courantométrie

Les vitesses de l'écoulement ont été mesurées à l'aide d'un profileur de courant ADCP de marque Teledyne L'ADCP comporte des céramiques émettant des faisceaux acoustiques à des fréquences variables, de 75 kHz à 1200 kHz. L'ADCP utilise l'effet Doppler pour mesurer les fluctuations de vitesse dans le cône de chaque faisceau émetteur

Figure 13 Aperçu des levés courantométriques



Un total de 8 transects a été réalisé pour la mesure de vitesses et de débits. Ils sont numérotés P1_8 et P2_8 P1_9 à P6_9.

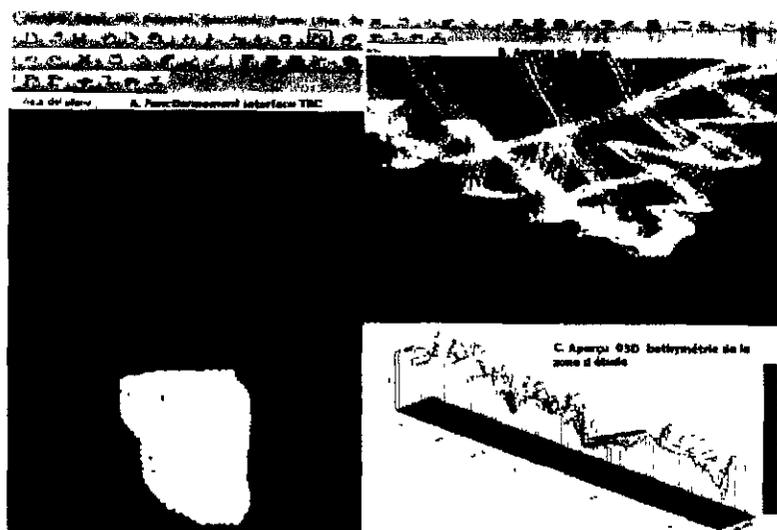
4.4 La collecte et le traitement des données cartographiques

4.4.1 Le modèle numérique de terrain²

Les données terrain sont transférées grâce au logiciel Trimble® Business Center (TBC) sur un PC afin de traiter les lignes de base et de générer des résultats à moins d'un cm près. Ces résultats sont exportés vers *Surfer 9* et *Grapher 8* pour les représentations graphiques en Modèle Numérique de Terrain (MNT) en mode 2D et 3D. Les profils sont tracés le long d'un transect, matérialisé par un tracé rectiligne dans le MNT suivant un azimuth connu et perpendiculaire à la ligne de rivage.

² Un modèle numérique de terrain (MNT) est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. Il correspond à une schématisation du modelé de la région étudiée. L'ensemble des points de la carte établie, correspond à une altitude permettant de travailler sur un modèle surfacique numérique. Le MNT n'intègre pas les objets présents à la surface du terrain : plantes, bâtiments, etc.

Figure 14 Aperçu des MNT



4.4.2 La cartographie des risques liés à l'érosion

La cartographie des risques apparaît comme l'identification et la description d'une façon objective et structurée des risques existants. Le risque caractérise l'expression du danger³ sous la forme d'une grandeur à deux dimensions :

- les caractères d'exposition (la probabilité que se manifeste un danger provoquant une atteinte) d'une part et ,
- le degré de sévérité de cette atteinte (la gravité des conséquences) d'autre part

L'initiative d'établir une cartographie des risques a été dictée par les résultats des mesures in situ de la topobathymétrie. Elle répond donc avant tout, à un cadre d'analyse pour identifier les zones exposées à divers degrés, aux risques liés à la brèche.

Toutefois, compte tenu de la complexité de la nature, il subsiste une part d'incertitude sur l'ampleur des conséquences sur la distribution géographique des risques. C'est pourquoi, par principe de précaution, la cartographie des risques s'est essentiellement basée sur le scénario d'évolution naturelle de la brèche, assorti de :

- **scénario minimal** (situé à 18 m de la falaise du cordon blanc vif à partir de la limite de l'eau à marée haute) et ,
- **scénario maximal** (situé au-delà des 18 m, soit à 30 m de la côte à partir de la limite de l'eau à marée haute)

Cette cartographie s'inspire

- ☞ des tendances fortes de l'évolution de la brèche,
- ☞ des résultats des mesures in situ de l'étude topobathymétrique ,
- ☞ des avis d'experts ,
- ☞ du retour d'expérience (historique des accidents déjà survenus dans la zone notamment à Doun Baba Dièye et des enseignements tirés) ,

³ Propriété potentielle intrinsèque ou capacité de quelque chose (produit, équipement ou procédé) à provoquer une atteinte (effet) de la santé humaine ou de l'environnement

4.4.2.1 Identification des zones à risques

Les zones à risques sont constituées des établissements humains dans l'axe Pilot Barre-Tassinère, des éléments naturels tels que la végétation et les points d'eaux. Les mouvements sédimentaires et les points potentiels de rupture de cordon sont aussi cartographiés car ils constituent des éléments pertinents dans la caractérisation du risque lié à l'érosion. Au total, les éléments cartographiés sont le bâti, le couvert végétal et les points d'eau, les zones potentielles de ruptures

4.4.2.2.1 Le bâti et les établissements humains

▪ Zone à risque selon le scénario minimal (bâti)

Le scénario minimal correspond à la zone qui se situe à 18 m de la falaise du cordon blanc vif à partir de la limite de l'eau à marée haute. Pour chaque village, la zone à risque minimal correspond à cette distance (18 m). Le chiffre 18 correspond à la vitesse moyenne annuelle de recul (d'érosion) en mètre observée en temps réel sur le site de Keur Bernard. La moyenne signifie qu'à chaque fois que la brèche fera face à un village, elle érode la falaise au moins sur 18 m au bout d'une séquence temporelle de 12 mois scénario minimal critique. Dans le cadre du projet ESESEN⁴, des stations mires ont été installées pour mesurer la vitesse d'érosion au droit des villages qui font face à la brèche. Les mires sont des repères métalliques fixés sur le revers de la falaise. Les mesures se font par intervalles régulières tous les 2 mois entre le front de la falaise et le repère fixe. La moyenne est obtenue sur une séquence chronologique de suivi fiable pour discriminer des tendances (octobre 2010-décembre 2011). Les repères spatiaux de la zone à risque sont pris sur le terrain à l'aide du GPS.

- ✓ Coordonnées GPS de la limite de l'eau à marée haute (dernière marée haute du 6 décembre 2014),
- ✓ Coordonnées GPS des limites Nord et Sud de villages de Pilot Barre et Tassinère;
- ✓ Coordonnées GPS de la limite des 18 m sur les extrémités Nord et Sud des villages ciblés

Cependant, le choix de la moyenne n'exprime pas les cas extrêmes liés à la saisonnalité. Dans la série des valeurs intermédiaires, une valeur extrême a été choisie pour exprimer le scénario maximal.

▪ Zone à risque selon le scénario maximal (bâti)

Le scénario maximal correspond à la zone qui se situe au-delà des 18 m, soit à 30 m de la côte à partir de la limite de l'eau à marée haute. Pour chaque village, la zone à risque maximal correspond à cette distance (30 m). Les valeurs intermédiaires sont analysées et le chiffre (recul en m) le plus élevé, obtenu sur le même site pendant la même séquence de suivi. Ce chiffre est valablement utilisé pour exprimer le scénario maximal. Pour délimiter la zone à risque maximal, des repères spatiaux sont pris sur le terrain à l'aide du GPS.

- ✓ Coordonnées GPS de la limite de l'eau à marée haute (dernière marée haute du 6 décembre 2014),
- ✓ Coordonnées GPS des limites Nord et Sud de villages de Pilot Barre et Tassinère ;
- ✓ Coordonnées GPS de la limite des 30 m sur les extrémités Nord et Sud des villages ciblés.

⁴ In Boubou Aldiouma Sy, Ignacio Alonso Bilbao, Amadou Abou Sy, Isora Sanchez Perez et Silvia Rodriguez Valido, « Résultats du suivi 2010-2012 de l'évolution de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie au Sénégal et de ses conséquences », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 7 | 2013
URL <http://physio-geo.revues.org/3569>, DOI 10.4000/physio-geo.3569

Tableau 5 Repères de la zone à risque (bât)

Limites sur le terrain	X	Y
Limite Sud_Tassinère	338289	1755761
Limite mer marée haute	338281	1755761
Limite scénario minimal	338299	1755761
Limite scénario maximal	338306	1755760
Limite Nord_Tassinère	338456	1757376
Limite mer marée haute	338448	1757376
Limite scénario minimal	338469	1757373
Limite scénario maximal	338486	1757369

Sources: données terrain

Pour plus de précision, les limites sont identifiées sur le terrain par des repères (maison, édifices, etc) Nous avons identifié les limites et les repères en collaboration avec un piroguier, habitant du village de Tassinère La méthodologie du zonage à risque permet de connaître les superficies des zones à risque minimal et maximal pour les villages de Pilot Barre et de Tassinère

Les résultats obtenus ont permis de dégager des tendances lourdes et des évolutions prévisibles sur la base desquelles des scénarii de gestion présentés Les résultats ont débouché sur des recommandations fortes avec des indications pour leur suivi évaluation

5. RÉSULTATS DE L'ÉTUDE

Ce chapitre présente et analyse les résultats issus des mesures in situ, relatives à la bathymétrie (topographie de fond), à la topographie terrestre, à la courantométrie, à la sédimentologie et aux interprétations de données cartographiques (Modèle 2D et 3D)

Les résultats de ces différentes analyses ont permis d'entrevoir des tendances lourdes qui mettent sérieusement en perspective le devenir de la brèche. C'est dans ce cadre qu'une analyse des variantes a été proposée. Elle porte sur deux scénarii présentés sous une forme interrogative : **faut-il stabiliser la brèche ou la laisser évoluer naturellement ?**

Le scénario de la stabilisation de la brèche consiste à mettre en place un dispositif technique qui arrête sa migration actuelle tandis que le scénario de l'évolution naturelle signifie l'option du statu quo ou le scénario sans aménagement.

Au terme de l'analyse, le scénario d'évolution naturelle de la brèche a été retenu et une série de recommandations ont été formulées. Afin d'assurer au mieux la mise en œuvre des recommandations présentées, l'étude intègre donc :

- ✓ La description des modalités d'application de chaque recommandation, notamment les acteurs chargés de sa mise en œuvre, le calendrier et la durée de réalisation, ainsi qu'une estimation de son coût,
- ✓ La description des arrangements institutionnels nécessaires à une mise en œuvre et à un suivi efficace de toutes les recommandations préconisées.

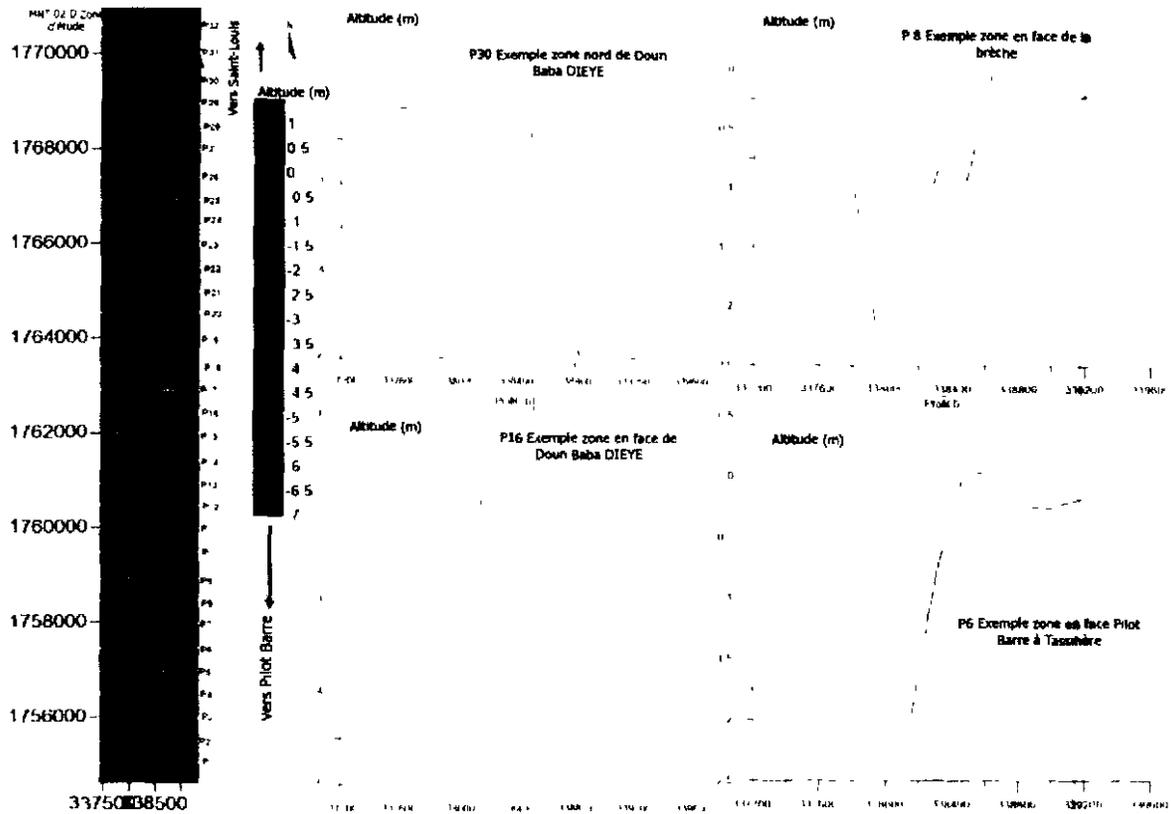
5.1. Analyse des données hydrosédimentaires

L'analyse des données hydrosédimentaires repose sur l'exploitation et le traitement des données topobathymétriques, granulométriques et courantométriques. Les données topobathymétriques collectées au moyen d'un échosondeur multifaisceaux et d'un appareil topographique différentiel de la marque Trimble R3 ont permis sur la base de 32 profils bathymétriques espacés de 250 m et sur fond des levés topographiques terrestres de 05 sites, de générer des cartes bathymétriques et topobathymétriques 2D et 3D. Les interprétations ont permis de caractériser la topographie de fond et les talus sur les rives droite et gauche de la section fluviale de part et d'autre de l'embouchure. Les données granulométriques de 30 échantillons prélevés sur 06 transects du nord de Doun Baba DIEYE au sud de Tassinère ont permis de caractériser le régime sédimentaire de la zone d'étude et surtout de localiser les points de déferlement des vagues par une discrimination des fractions fines et grossières. Les données courantométriques générées par l'ADCP du nord au sud de la zone d'étude ont permis de caractériser les courants en rapport avec les niveaux de profondeur. Ces informations ont été utilisées dans la caractérisation des vitesses au rivage en rapport avec le type de sédimentation (granulométrie) et la nature de fond (bathymétrie), rapporté au profil du talus (topographie terrestre de la plage aérienne). L'ensemble des données ont favorisé la description des tendances et évolutions prévisibles à l'issue desquels des scénarii de gestion sont évalués et recommandés.

5.1.1. Exploitation et analyse des données topobathymétriques

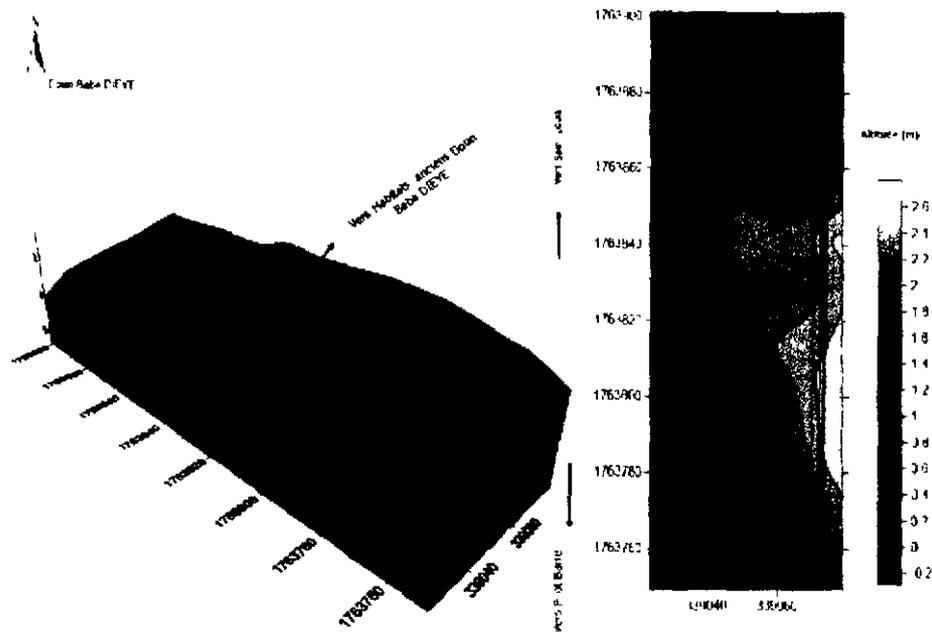
Dans le cadre de l'étude, 32 profils bathymétriques transversaux espacés de 250 m sont délimités dans l'axe Doun Baba DIEYE-Tassinère à partir de Zébrabar jusqu'au nord du cimetière de Doun Baba DIEYE sur une distance de plus de 08 km. Le zonage est fait suivant trois principaux secteurs : Au nord de Doun Baba DIEYE (P32 à P26), en face de Doun Baba DIEYE (P25 à P16), en face de la brèche (P15 à P7) ; de Pilot Barre à Tassinère (P7 à P1). Le zonage est effectué sur la base des coordonnées GPS relevées sur le terrain pendant les campagnes bathymétriques. La figure 15 montre les résultats obtenus.

Figure 15 Profils bathymétriques transversaux (nord de Doun Baba DIEYE sud Tassinère)



Les résultats (figure 15) montrent qu'au nord de Doun Baba DIEYE (P32 à P26), la profondeur moyenne de la section fluviale est de l'ordre de **-2,18m**. Dans ce secteur, les profondeurs varient entre **- 6,19 m et -0,13 m**. En face de Doun Baba DIEYE (P25 à P16 entre le cimetière et l'extrémité de la brèche nord), la profondeur moyenne est de **-3,02 m**. En face de Doun Baba DIEYE ces profondeurs évoluent entre **- 4,8 et -0,4m**. En face de la brèche (P25 à P16, distance qui sépare les extrémités nord et sud), la profondeur moyenne est de **-3,79 m**. Les valeurs extrêmes oscillent entre **-9, 83 et -0, 02 m**. De Pilot Barre à Tassinère (P7 à P1), la profondeur moyenne sur la section de mesure est de l'ordre **-2, 33 m**. Globalement les profondeurs évoluent dans cette zone entre **-3,81 et -2,33 m**. Ainsi, sur la base d'un transect nord-sud (Nord Doun Baba DIEYE-sud Tassinère) les profondeurs du chenal fluvial diminue. Les zones qui se trouvent en amont et en face de Doun Baba DIEYE (voir P30 et P16) présentent des profondeurs plus importantes avec des valeurs pouvant descendre jusqu'à **-9, 83m**. La rupture de pente s'observe à partir de la zone en face de la brèche (coté Gandiol) ou les profondeurs remontent jusqu'à **-2, 5 m (voir P8)**. Cette sédimentation s'accroît dans l'axe Pilot Barre –Tassinère (voir P6). Dans cette zone, les valeurs obtenues sur l'ensemble des profils (P7 à P1) oscillent entre **- 2,6 et -0, 68 m**. A ce niveau, l'ensablement est encore plus important au droit de Pilot Barre (P7 à P4) avec des valeurs moyennes qui oscillent entre **-0,6 et -1 m**. Au sud de Pilot Barre (à partir du phare jusqu'à Zébrabar), on note un léger rehaussement des fonds dû à la position un plus éloignée du site par rapport à la brèche. De plus, cette section est pour le moment abritée par une partie de la rive sud de la brèche. La figure 16 est un MNT 02D et 03D du site de Doun Baba DIEYE en face de la rive nord de la brèche.

Figure 16 MNT 02D et 03D du site de Doun Baba DIEYE



Au regard des résultats présentés dans la **figure 16**, les rives de Doun Baba DIEYE sont entrain de se reconstituer après une forte érosion observée jusqu'en 2012. L'extension des séquences morphologiques témoignent d'une plage en reconstruction avec une microfalaise d'une altitude pouvant atteindre 2m. Ce processus est renforcé par l'engraissement sur la rive Nord de la brèche qui protège l'îlot contre l'action des jets de rives. En face de Pilot Barre, la rive Sud de la brèche s'érode progressivement. Sur ce site, les altitudes sont légèrement au dessus de 1m avec des extrémités incurvées vers l'Est. Ce qui témoigne de la prédominance des forces marines (**Figure 17**).

Figure 17 MNT 02D et 03D des rives nord et sud de la brèche

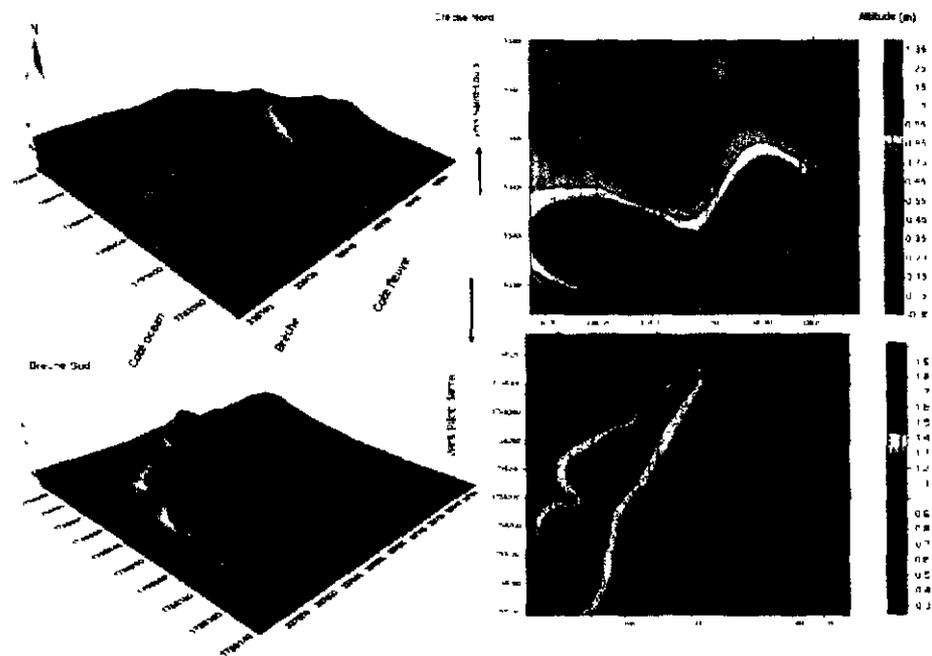
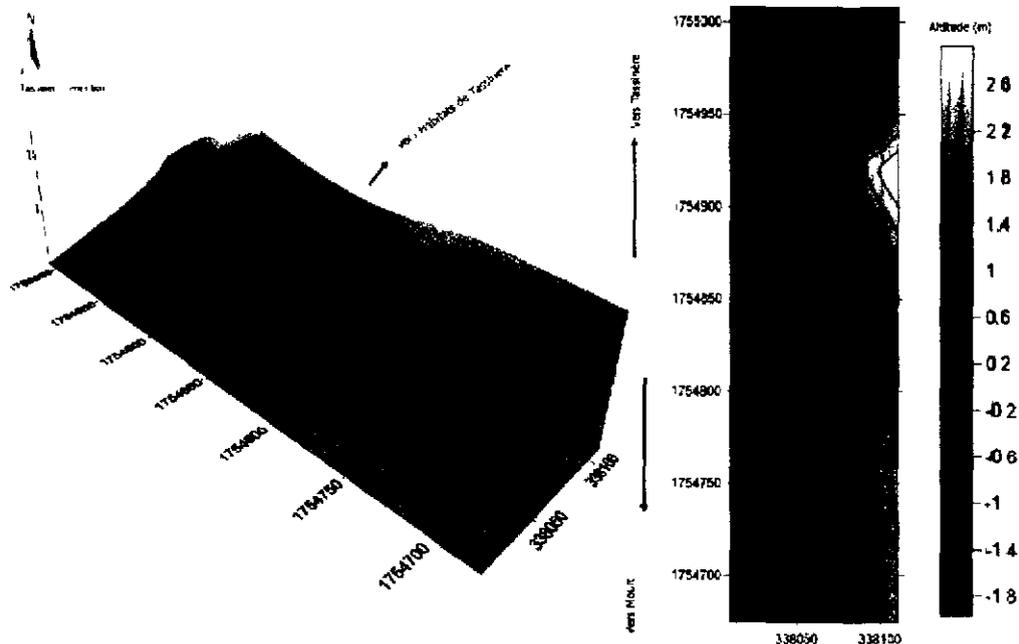
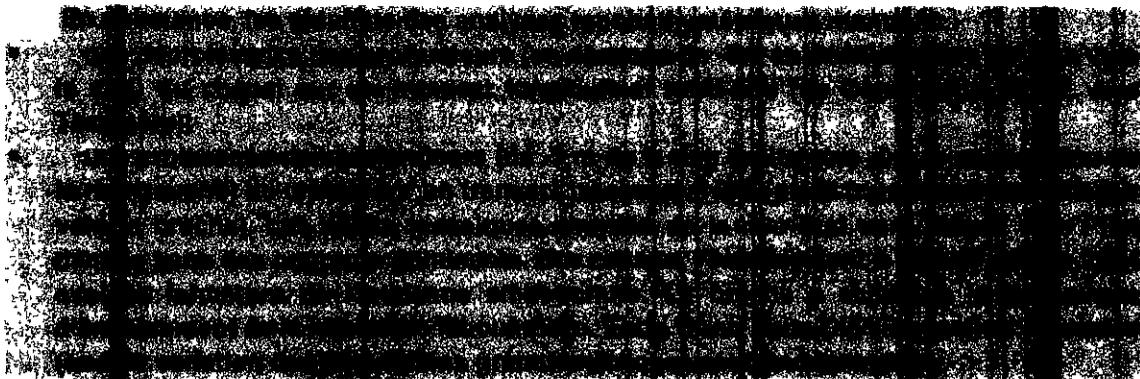
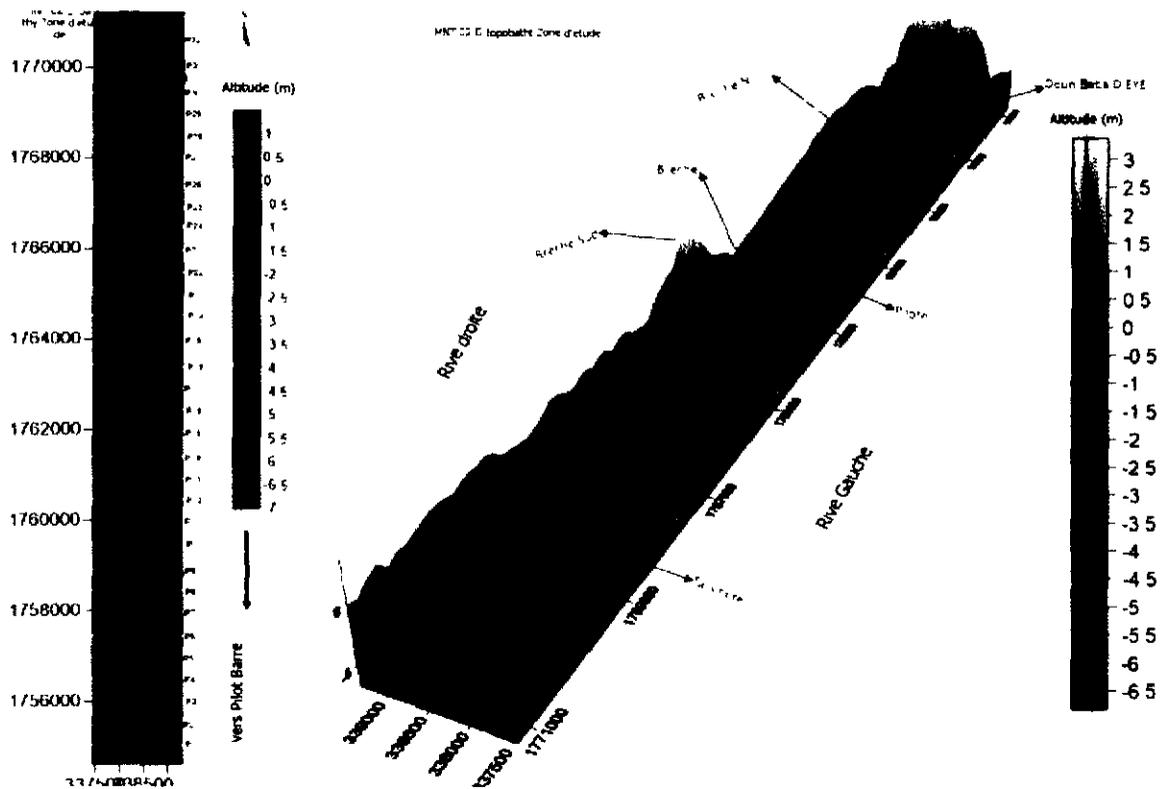


Figure 19 MNT 02D et 03D du site de Tassinère (rive gauche débarquement Zébrabar)



La carte topobathymétrique (**figure 20**) de la zone d'étude offre l'aspect d'un chenal avec une variation sédimentaire très importante. Mais l'analyse des données d'ensemble permet de distinguer deux contrastes sur l'axe d'étude. Sur la partie Nord (axe Doun Baba DIEYE-Brèche), les fonds sont plus importants. Ils descendent en dessous de -6m aux environs de la brèche et deviennent plus accusés vers le nord de l'île où les profondeurs peuvent dépasser -7 m. A certains endroits, la dénivellation atteint -4 m. Sur la section Sud (Pilot Barre-Tassinère), la carte topobathymétrique (**figure 20**) indique une dynamique d'ensablement importante car les fonds dépassent rarement -3 m. Les profondeurs sont plus faibles aux endroits immédiats de la brèche (section qui fait face à Pilot barre) avec des profondeurs de -0,5 m qui alternent avec une dénivellation de -1m. Suivant une lecture nord-sud, le rehaussement topographique du chenal fluvial est perceptible à partir des extrémités de la rive sud de la brèche. Les rives gauche et droite sont séparées par une dépression dont la profondeur peut descendre en dessous de -6 m à certains endroits surtout en face de la rive nord de la brèche. Ces dépressions constituent des couloirs immergés de migration des bancs de sable qui rendent fréquents, les accidents des pirogues qui transitent par la brèche.

Figure 20 Carte topobathymétrique 2D et 3D du Gandiolais (axe Nord Doun Baba DIEYE-sud Tassinère)

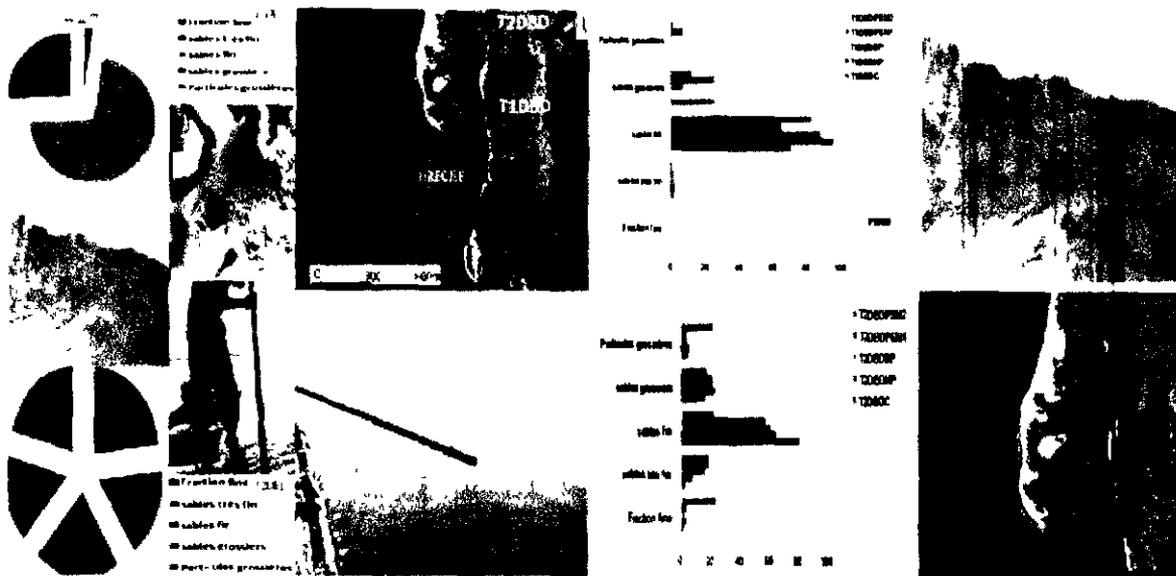


5.1.2. Traitement des données granulométriques

La distribution de la taille des grains des sédiments est contrôlée par l'énergie des vagues. Comme l'eau perd de la vitesse progressivement tout au long de son ascension, la taille des grains qu'elle est susceptible de déposer sur la plage diminue au fur et à mesure de son avancée. Dotée de particules de quartz (abrasifs), elle frappe la base de la falaise (jet de rive). Une fois arrivée en haut, la masse d'eau redescend en prenant progressivement de la vitesse, ce qui lui confère une capacité grandissante d'arracher des particules de plus en plus grosses (jet de retour). Dans la zone de déferlement, le mouvement vertical engendré par la turbulence de l'écoulement est très important. Il met donc en suspension les sédiments en les triant verticalement, les plus fins sont entraînés plus haut tandis que les plus grossiers restent près du fond. Les sédiments se déposent d'autant plus facilement qu'ils sont gros et que l'énergie de la vague diminue. Les gros grains sont donc déposés les premiers tandis que les plus fins sont entraînés plus haut sur la séquence de la plage soumise à la fluctuation de la marée.

Sur les séquences géomorphologiques de la plage, l'infratidal (plage sous-marine) constitue la limite d'action des houles. Au-delà, elles se manifestent sous la forme de vagues dans l'intertidal (basse plage) et le supratidal (haute plage). Les masses liquides, dotées d'une énergie cinétique, transportent des abrasifs qui mitraillent la base des falaises durant les jets de rive (vague déferlante ou brisant). Les jets de retour emportent les sédiments arrachés. Dans le Gandiol, les analyses granulométriques ont permis d'étudier le régime sédimentaire des plages et de localiser les points de déferlement des vagues au droit de divers sites: Doun Baba DIEYE (figure 21), Pilot Barre (figure 22) et Tassinère (figure 23).

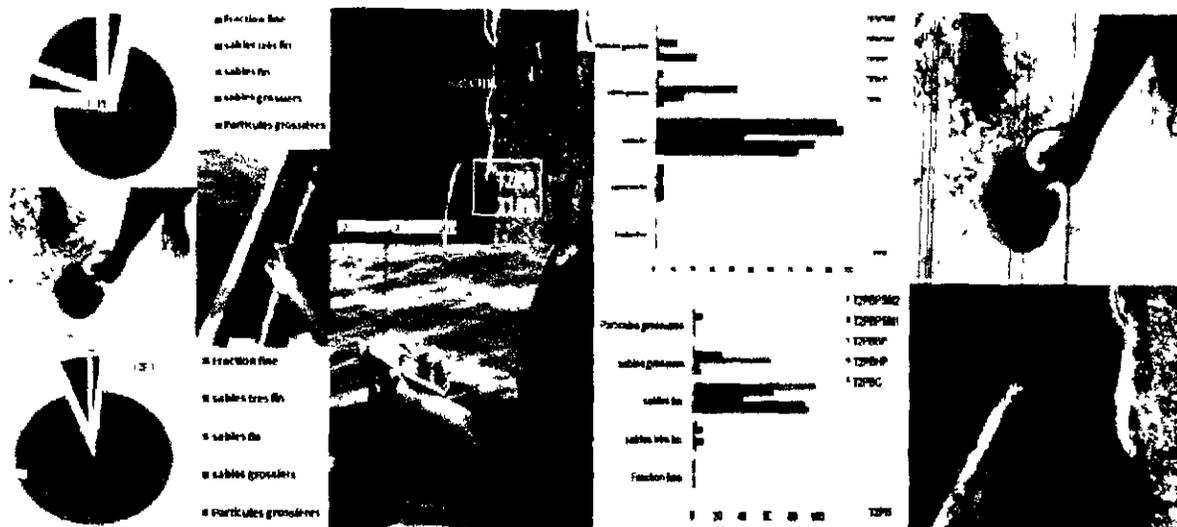
Figure 21 Résultats granulométriques Transects de Doun Baba DIEYE



Le transect 1 (T1DBD) est situé au nord de l'île (figure 21). Les résultats issus de ce transect indiquent des fractions grossières dont les diamètres varient entre 0,5 et 3,15 mm. Sur l'ensemble des 5 échantillons du transect 1, cette fraction constitue 8 à 25 % des échantillons alors que la fraction fine (diamètre 0,02-0,25 mm) représente de 67 à 98 %. Sur le cordon, la fraction grossière correspond à 25,13 % de l'échantillon contre 73,45 % de particules fines. Sur la haute plage, le pourcentage est de 1,06 en particules grossières contre 98,26 % d'éléments fins. Au niveau de la basse plage, les éléments grossiers condensent 8,12 % de l'échantillon contre 91,32 % en faveur des matières fines. La proportion en matières grossières sur les séquences immergées de la plage est très élevée. Elle correspond à 32,57 % pour la séquence sous marine 1 (T1DBDPSM1) et 14,18 % pour la séquence sous marine 2 (T1DBDPSM2). Sur ces points d'échantillonnage, les matières fines correspondent respectivement à 67,32 % et à 84,95 %. La lecture globale du transect 1 montre un taux élevé de la fraction grossière sur le cordon, soit 25,13%. Cette situation peut s'expliquer par des houles qui peuvent y déposer des matériaux de la taille des galets pendant les marées exceptionnelles. Cependant, le taux important des éléments grossiers dans la plage sous marine 1 signifie que cette séquence constitue la zone de ruptures des vagues (point de déferlement). Le transect 2 (T2DBD) est effectué sur la partie Sud de l'île (figure 21). Sur les résultats du Transect 2, le taux de la fraction grossière est plus élevé sur la plage sous marine 2, à l'amont même de la zone de rupture du transect 1. Il apparaît un enrichissement en éléments grossiers avec 37,62 % de l'échantillon sur les séquences immergées de la plage. Le cordon révèle un appauvrissement des particules grossières par rapport au transect 1. Ceci se justifie par le retrait vers l'aval de la zone de déferlement. Un tel résultat témoigne des conditions hydrosédimentaires favorables à la stabilisation de l'île Baba DIEYE.

Au total, à Doun Baba DIEYE, le point de déferlement des vagues se situe au niveau des séquences immergées de la plage (PSM1 et PSM2). Les autres sections de plage (Basse plage, Haute plage, cordon) continuent de s'engraisser en faveur de conditions hydrodynamiques plus calmes. Entre 2 mouvements de marées, des sédiments sont exportés naturellement vers le cordon et inversement. On note cependant des événements exceptionnels (forte houle) qui se signalent par la fréquence plus élevée de la fraction grossière sur le cordon. Une forte agitation n'autorise pas le dépôt des éléments fins. Vers Pilot Barre, plus au sud de Doun Baba DIEYE, le profil granulométrique devient grossier (figure 22).

Figure 22. Résultats granulométriques Transects de Pilot Barre



Le transect 1 (T1PB) est réalisé au nord de Pilot Barre (figure 22). Une lecture Nord-Sud des transects (NS) depuis le secteur de Doun Baba DIEYE indique un enrichissement en éléments grossiers sur les séquences aériennes de la plage. Au nord de Pilote Barre (T1PB), les proportions en éléments grossiers (0,5 et 3,15 mm) correspondent aux proportions suivantes : Cordon (23,58 %), Haute plage (14,81 %), Basse plage (51,74 %), Plage sous marne1 (0,4 %), Plage sous marne 2 (3,54 %). Contrairement aux conditions observées à Doun Baba DIEYE, le transect T1PB indique que le point de rupture des vagues se situe sur la séquence basse de la plage (51,74 %), c'est-à-dire près des habitations. A Doun Baba DIEYE, il s'affine progressivement de l'aval vers l'amont du trait de côte (limite marée haute) alors qu'à Pilote Barre, il grossit sur le même axe. Le transect T1PB, réalisé dans l'extrémité Sud de Pilote Barre (figure 22) confirme cette inversion granulométrique ou la séquence basse de la plage concentre 60,89 % de l'échantillon. Comparée au Transect 1, on note même un enrichissement en éléments grossiers sur la même séquence. Les séquences immergées de la plage (PSM1 et PSM2) présentent des proportions très faibles en éléments grossiers, respectivement 0,04 % et 2,54 %. Sur ces mêmes séquences, les éléments fins correspondent respectivement à 99,43 % et 95,99 %.

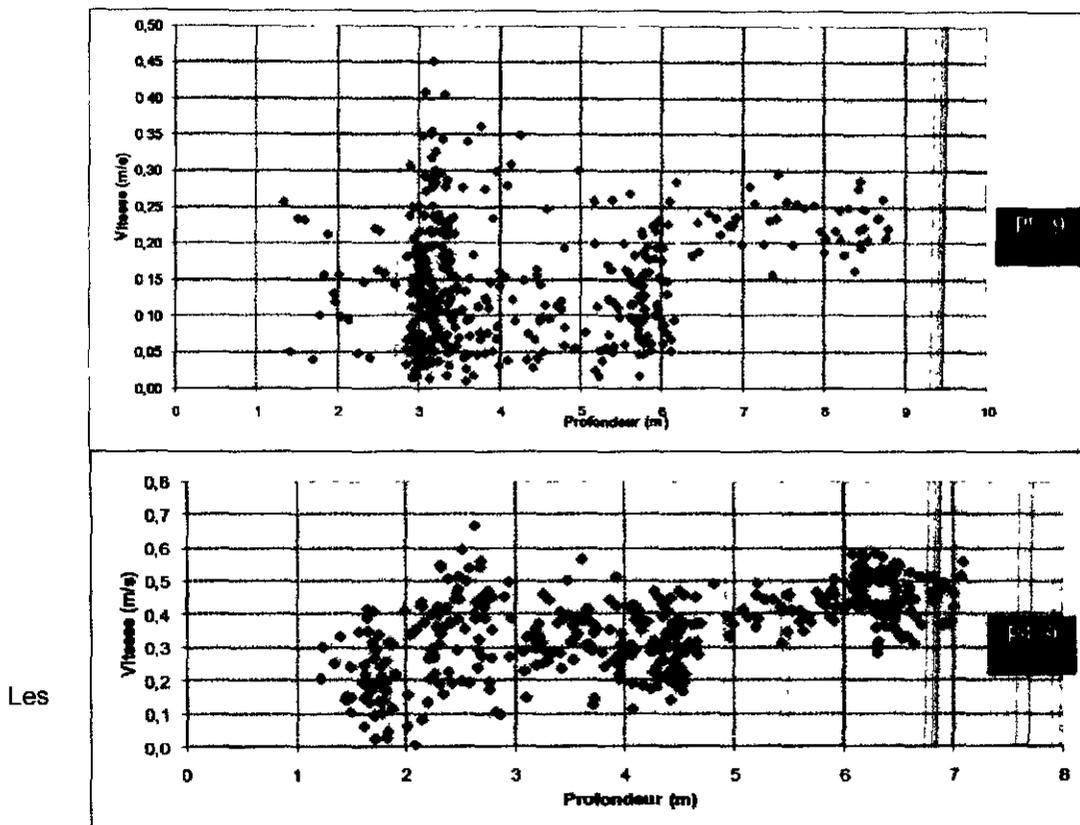
En somme, à Pilote Barre les établissements humains sont dans le segment instable de la plage (point de rupture des vagues), secteur menacé par l'érosion. Cette tendance se poursuit vers Tassinère, un site qui se raccorde à la partie Sud de Pilote Barre (figure 23).

⁸ Ici nous considérons le trait de côte comme la limite de l'eau à marée haute

5.1.3. Etude des données courantométriques

Les plages sableuses micromaréales évoluent sous l'action de la houle qui génère les courants des vagues et les dérives. La houle est un courant de fond, son expression au rivage (vague) intéresse l'analyse morphodynamique de la plage. La houle initie le mouvement sédimentaire mais également le système de courants (vagues ou ondes) qui transporte les sédiments. Les vagues sont donc le résultat de la déformation de l'eau en surface (onde), provoquée essentiellement par le vent. Le mécanisme des vagues est défini par la relation entre la hauteur (H), la période (T) et la longueur (L) de l'onde. Les ondes correspondent à des déformations périodiques d'une interface. En océanographie, les ondes de surface se matérialisent par une déformation de la surface de la mer. Une onde se caractérise par la période, la fréquence, la longueur, la vitesse de propagation et l'amplitude. Les variables qui gouvernent les mouvements des vagues changent avec les profondeurs de l'eau. Dans le cadre de cette étude, les mesures réalisées permettent de caractériser à temps réel, les vitesses des courants dans l'axe Doun Baba DIEYE-Pilot Barre (figure 24 et 25).

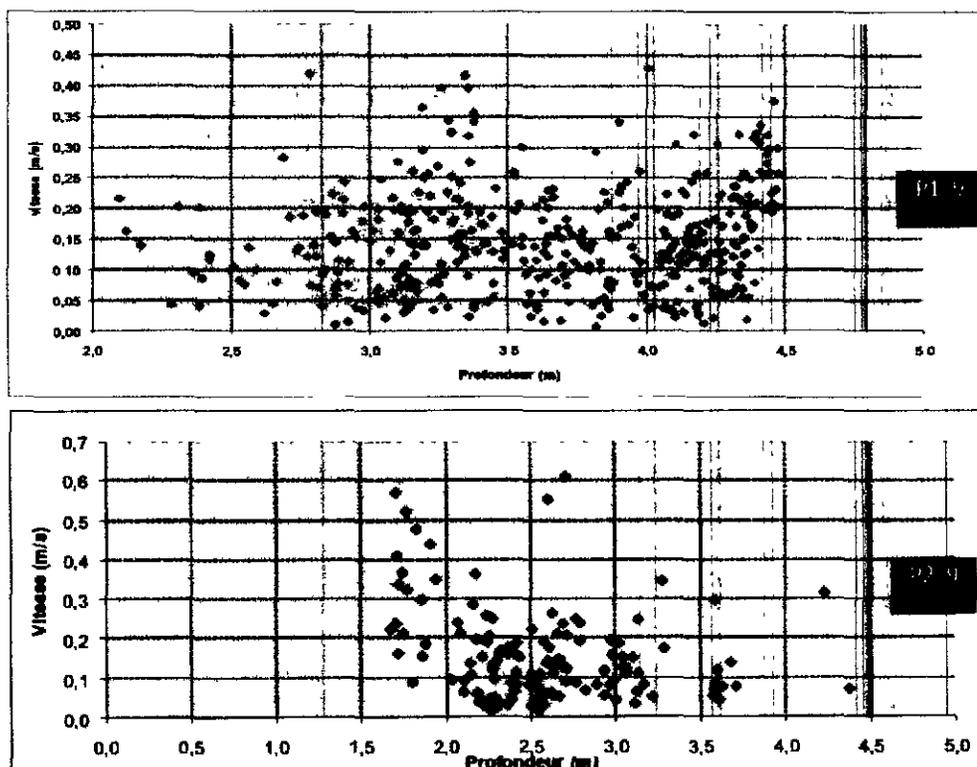
Figure 24 Caractéristiques des courants dans la zone Nord de la brèche (DBD)



Les sections P5_9 et P4_9 sont réalisées successivement au droit de Doun Baba DIEYE à partir de la rive droite sur les extrémités de l'embouchure, coté fleuve. Les mesures s'étalent sur 665,20 m de longueur pour P5_9 et 725,15 m pour P4_9. Le long de la section de jaugeage P5_9, les vitesses des courants varient entre 0,45 et 0,15 m/s avec une moyenne de 0,15 m/s pour une profondeur variant entre 1,32 et 5,96 m (moyenne 4,28 m). Au niveau de la section de jaugeage P4_9, les vitesses varient entre 0,67 et 0,01 m/s avec une moyenne de 0,36 m/s pour des profondeurs variant entre 2,78 et 2,48 m (moyenne 2,67 m). A 21,43 m du rivage (P5_9), la vitesse des courants varie entre 0,67 et 0,44 m/s (moyenne 0,44 m/s) pour une profondeur moyenne de 2,67 m. A 21,29 m du rivage (P4_9),

les vitesses varient entre 0,04 et 0,26 m/s (moyenne 0,16 m/s) sur une profondeur moyenne de 3,20 m. La figure 25 exprime les caractéristiques des courants dans la zone sud.

Figure 25 Caractéristiques des courants dans la zone Nord de la brèche (Pilot barre)



La section de jaugeage P1_9 est réalisée au droit de Pilot Barre à partir de la rive Gauche sur une longueur de 680, 76 m. Sur cet axe, la vitesse des courants varie entre 0,43 et 0,01 m/s (moyenne 0,15 m/s) sur une profondeur qui varie entre 4,48 et 2,10 m (moyenne 3,65 m). La section de jaugeage P2_9 est réalisée au droit de Pilot barre (rive gauche) en face du phare sur une distance de 805,46 m. Elle concentre des vitesses évoluant entre 0,61 et 0,02 m/s (moyenne 0,16 m/s) avec des profondeurs qui varient entre 1,67 et 4,38 m (moyenne 2,57 m). A l'approche du rivage (rive gauche P1_9), à 21,83 m, les vitesses des courants oscillent entre 0,42 et 0,02 m/s avec des profondeurs qui évoluent entre 3,04 et 3,33 m (moyenne 3,15 m). Les rivages de la section P2_9, à 23,78 m de la côte, les vitesses oscillent entre 0,06 et 0,52 m/s avec des profondeurs qui varient entre 2,19 et 1,67 m (moyenne 1,88 m).

L'analyse comparative de la vitesse des courants dans la zone nord et sud, de part et d'autre de la gueule de l'embouchure indique des vitesses particulièrement plus élevées de 0,67 m/s sur les extrémités de l'embouchure (mesures réalisées à partir de la rive droite). Le déferlement se déroule quand les spots de surf libèrent une grande quantité d'énergie qui peut mettre les sédiments en suspension. L'importance de cette action se traduit sur le plan d'eau (axe Doune Baba DIEYE-Tassinère) par la réponse du plancher sédimentaires et les panaches turbides. A l'approche du rivage de Pilot Barre (rive gauche), on observe sur une profondeur qui dépasse rarement 3m (moyenne 2,67 m), des vitesses sensiblement égales à celles mesurées sur la gueule de l'embouchure (0,61 m/s). La faible différence des niveaux de profondeurs témoigne d'une pente faible du lit fluvial.

Elle s'efface au sud et se reconstitue au nord Elle cherche son profil d'équilibre Ainsi, toute intervention mécanique sur la gueule de la brèche ou sur ses rives immédiates nord et sud, remettrait en cause ce profil d'équilibre.

Au regard de ces tendances lourdes observées et des évolutions prévisibles, le devenir de la brèche doit être élucidé. **faut-il stabiliser la brèche ou la laisser évoluer naturellement ?**

6. VERS QUEL SCÉNARIO DE GESTION DE LA BRÈCHE ?

Simple d'apparence, cette question est relativement complexe en considérant les implications socio-environnementales et économiques qui se rattachent à chacune des options envisageables ou sous-jacentes. Dès lors, un arbitrage raisonné et motivé entre ces 2 scénarii est d'autant nécessaire que les autorités sont confrontées à une prise de décision complexe reposant sur divers paramètres.

Le scénario de la stabilisation de la brèche consiste à mettre en place un dispositif technique qui arrête sa migration actuelle, le scénario de l'évolution naturelle signifie l'option du statu quo ou le scénario sans aménagement. Or, une solution doit être trouvée.

En conséquence, l'analyse de chacune de ces 2 options doit se fonder sur une analyse multicritère, intégrant certains paramètres

- la préservation de la Langue de Barbarie (capacité du scénario à maintenir équilibre naturel de la Langue de Barbarie) ;
- la dynamique d'érosion côtière (capacité du scénario à réduire l'érosion) ; ;
- les investissements (les coûts d'investissement des ouvrages de protection et/ou les mesures d'accompagnement pour la réinstallation involontaire des personnes affectées par l'aménagement).

Cette analyse multicritère se fonde sur un certain nombre de principes remarquables :

- l'identification des critères principaux correspondant aux enjeux techniques, économiques, environnementaux et sociaux que soulève la brèche ;
- la détermination des moyens de mesures de la performance de l'enjeu, c'est-à-dire les indicateurs quantifiables représentatifs des critères que l'on cherche à intégrer,
- la détermination de l'accessibilité et de la fiabilité des données servant à mesurer les indicateurs. Les incertitudes et les biais éventuels liés aux données et aux indicateurs ont été identifiés et corrigés sur la base d'un audit s'appuyant sur les critères suivants
- **validité** : les données représentent-elles le résultat désiré de façon satisfaisante ?
- **fiabilité** : les procédures de collecte des données sont-elles stables et consistantes dans le temps ?
- **opportunité** : les données sont-elles actuelles et fréquemment collectées ?
- **précision** : les données ont-elles une marge d'erreur acceptable ?
- **intégrité** : les données sont-elles exemptes de manipulations ?
- **adéquation** : dans quelle mesure les indicateurs caractérisent-ils pleinement les résultats ?

Au terme de l'analyse multicritère, l'étude retiendra le scénario le plus avantageux d'un point de vue environnemental, social, technique et économique

Les différentes recommandations assorties du scénario retenu font l'objet d'un plan de suivi-évaluation avec une identification des acteurs clés

6.1 Le scénario de la stabilisation

Le scénario de la stabilisation de la brèche suppose la mise en place d'un dispositif technique qui arrête sa migration actuelle (2014). L'évaluation de la pertinence de l'option s'analyse par rapport

- au bien-fondé et aux effets attendus d'une fixation de la brèche à sa position actuelle ;
- à la faisabilité technique et aux coûts d'investissement associés à l'option,

6.1.1 Les effets attendus de la stabilisation de la brèche

6 1 1 1 Les effets négatifs

Au regard des tendances fortes qui caractérisent le fonctionnement actuel de la brèche, les effets attendus d'une option de stabilisation sont les suivants

- la sédimentation sur la rive Nord se poursuivrait par accumulation mais sa progression longitudinale sera stoppée car un tel ouvrage constituerait un épi contre les sédiments charriés par le courant de dérive;
- l'ouvrage de stabilisation de la rive Sud arrête sa régression mais n'a aucune emprise sur les ruptures naturelles de cordon dont le comportement est difficilement prévisible,
- des brèches naturelles pourraient alors se créer au droit des villages du Gandiol indépendamment de la stabilisation de l'actuelle embouchure,
- l'érosion intense au droit des villages du Gandiol se poursuivrait notamment pendant les épisodes de fortes houles malgré la fixation des rives Nord et Sud;
- l'énergie des jets de rive restera importante sur la base de la falaise du cordon littoral vif car la nature de la dynamique du point de rupture (embouchure) est contrôlée naturellement depuis la racine du cordon par l'amplitude de la Langue de Barbarie. Or, en ouvrant la brèche à 7 km au sud de Saint-Louis une telle amplitude a été pratiquement divisée par 3, ce qui génère une énergie autrement plus importante, dévastatrice autour du point de rupture (brèche)

Au total, le profil d'équilibre provisoire naturel (amplitude du cordon) atteint actuellement par l'embouchure serait perturbé avec de faibles impacts sur la gestion du risque érosion. Cependant, la fixation de la brèche à sa position actuelle aurait quelques effets positifs

6 1 1 2 Les effets positifs

Plusieurs effets positifs découleront de la stabilisation de la brèche et affecteront plusieurs secteurs d'activités

- **la pêche** les pirogues des pêcheurs peuvent aller et revenir en mer avec moins de risques car les ouvrages de stabilisation devraient maintenir un chenal navigable avec des profondeurs optimales. Les débarquements de poissons peuvent augmenter car des grandes pirogues pourront traverser l'embouchure.
- **le tourisme** Le Parc National de la Langue de Barbarie pourrait être sauvé à condition que d'autres ruptures naturelles ne s'ouvrent pas sur le segment surtout médian de la Langue de Barbarie (cette probabilité est élevée car la Langue de Barbarie et sa brèche naturelle n'ont pas encore atteint leur profil d'équilibre). Ce qui suppose qu'en plus des épis pour stabiliser les rives Nord et Sud de la brèche, un dragage régulier du fleuve sur l'axe Doun Baba DIËYE-ancienne embouchure et des actions de protection de la côte seraient nécessaires.

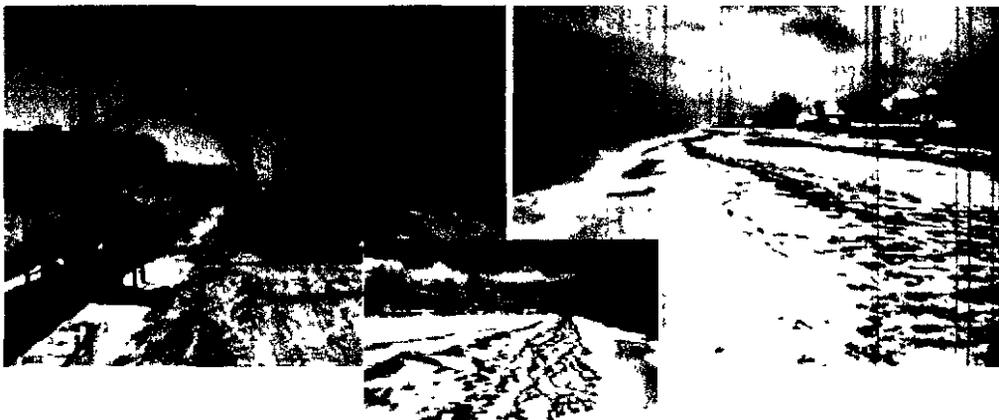
6.1.2 Faisabilité technico-financière de la stabilisation et les opérations complémentaires nécessaires

Au sujet de la faisabilité technique de la stabilisation de la brèche, il faut rappeler que la Langue de Barbarie est une roche sédimentaire meuble très exposée à l'énergie des jets de rives. Les analyses granulométriques indiquent une grande fréquence des particules de quartz (fraction grossière), le taux des fractions fines (limon et argile) est plutôt faible (voir résultats analyses granulométriques). Effectuer des ouvrages lourds sur un faciès meuble avec un profil pédologique verticalement homogène s'avère très délicat et surtout très coûteux car il faut implanter les fondations de l'ouvrage sur la roche compacte. Des ouvrages flottants peuvent être utilisés pour contourner cette

contrainte mais les coûts peuvent s'avérer encore plus onéreux à entretenir au regard des matières qui seront utilisées. De plus, pour que ces ouvrages puissent avoir un impact sur la gestion du risque érosion dans le Gandiol, ils doivent être couplés à d'autres opérations techniques qui occasionneront d'autres coûts comme le dragage. En effet, le **dragage du fleuve sur l'axe Doum Baba DIÈYE-ancienne embouchure s'avérerait nécessaire** pour maintenir une profondeur optimale et réduire l'énergie des courants au droit des villages du Gandiol en cas de stabilisation des rives Nord et Sud de la brèche. La côte de déblaiement pourrait être déterminée avec les résultats de la topobathymétrie (voir résultats topobathymétrie). Les sédiments issus du dragage pourraient être utilisés pour engraisser les zones faibles de la Langue pour réduire les risques de ruptures de cordon. Cependant, le dragage devrait supprimer l'activité de récolte des huîtres qui est apparue récemment avec la diminution de la profondeur du fleuve.

Par ailleurs, la stabilisation de la brèche induira la **protection de la côte par la pose d'un géotube au droit des villages du Gandiol**. Le dragage permettrait de maintenir des conditions hydrodynamiques plus calmes au droit des sites d'habitation. Si les matériaux extraits du dragage sont utilisés pour minimiser des ruptures de cordon, la pose d'un dispositif comme le géotextile devrait permettre de récupérer des plages plus rapidement.

Figure 27 : Récupération technique de plages au Mexique



Photos 5a-b, 6 (a) Geotextile tube installation in October 2004. (b) Sand accumulation process: comparison view. Stabilized shoreline in June 2005, eight months after geotextile tube installation. (c) Natural sand accumulation is restoring the eroded beach.

Source : <http://axisingenieria.com.mx/servicios/ingenieria/>

5a La membrane du géotube est remplie avec du sable au moyen d'une pelleteuse. Le dispositif est installé parallèlement à la plage à partir de la zone de rupture des vagues. C'est un cordon de sable semi-immersé dont la côte d'installation est définie sur la base **des données topobathymétriques** de la section de plage. Le volume de sable à mettre dans la membrane est calculé en fonction de la vitesse des courants. Ce qui fait que la technique du géotube dépend des caractéristiques hydrosédimentaires de chaque plage donnée. Ce dispositif est efficace dans la récupération technique des plages (5b, 6, 7) microtidaux (faible marnage). Un tel dispositif serait par exemple utile pour les sites à dynamiques sédimentaires contrastées comme **les plages de Goxumbacc et de Guet Ndar, (la ville de Saint-Louis du Sénégal)**. Dans le Gandiol, les sites qui font face à la brèche connaissent des conditions hydrodynamiques plus intenses (voir résultats courantométrie) et la dynamique de la plage est régressive. Les techniques d'enrochement de haute plage seraient plus aptes à réduire la vitesse de l'érosion au droit des villages. Puisque la récupération de la plage se fait de façon naturelle après le passage de l'embouchure, il apparaît peu opportun de poser un géotube. De plus, son acquisition s'avère onéreux et sa réalisation nécessite une ingénierie spécialisée.

Conclusion : Les effets attendus de l'option de stabilisation sont:

- des impacts négatifs sur l'équilibre naturel de la Langue de Barbarie même s'il y'aura des effets positifs sur la pêche avec la réduction des accidents et l'augmentation des mises à terre; des effets positifs sur le tourisme de vision avec la sauvegarde du Parc National de la Langue de Barbarie,
- des impacts moyens sur le risque érosion au droit des villages du Gandiol car même si la brèche est stabilisée, l'érosion ne peut être que minimisée,
- un investissement lourd qui nécessite beaucoup de moyens financiers et techniques pointues avec un dragage régulier du fleuve et des ouvrages de protection de la côte en sus d'un entretien assidu

6.2 Le scénario d'évolution naturelle

Le scénario d'évolution naturelle signifie «laisser la brèche évoluer naturellement» Plusieurs impacts découleront de ce scénario :

- **L'agrandissement de l'embouchure :** Une sédimentation plus lente au nord contre une érosion plus rapide au sud justifie l'élargissement progressif de la passe. Les ruptures naturelles de cordon sur la rive Sud accentuent la vitesse d'élargissement de la passe. Ces ruptures peuvent devenir plus fréquentes sur la rive Sud car le segment médian (axe hydrobase-Tassinère) est la portion la plus fragile de la Langue.
- **La poursuite de la migration de l'embouchure vers le sud.** Cette dynamique d'ensemble (sédimentation au nord, érosion au sud et ruptures naturelles de cordon) se traduit par une migration méridionale de l'embouchure par bonds successifs vers sa position de 2002 qui constitue la limite d'extension de la Langue. Une telle extension correspondrait à l'amplitude d'équilibre précaire d'avant brèche. Ce mouvement n'est pas synonyme de disparition de la Langue de Barbarie car le cordon se reconstitue à partir du Nord dans son mouvement d'ensemble vers le profil d'équilibre naturel. Un tel mode de fonctionnement caractérisait les anciennes embouchures sur la Langue de Barbarie.
- **Le maintien d'une érosion rapide au droit des villages du Gandiol :** Avec l'ensablement du chenal, l'érosion gardera son intensité au droit des villages qui se trouvent sur la ligne de migration de l'embouchure mais l'intensité va diminuer en raison de l'augmentation de la largeur de l'embouchure (qui a pour effet de briser l'énergie des courants). La cartographie des risques sur le bâti indiquent les sections transversales qui sont menacées de Pilot Barre à Tassinère (voir résultats analyses cartographiques). En cas d'application du scénario d'évolution naturelle, des mesures de protection de ces zones qui supportent un chapelet de villages à partir de Pilot Barre, devraient être prises.
- **La reconstitution naturelle de la plage après le passage de l'embouchure.** Les observations à Doun Baba DIËYE indiquent actuellement une tendance globale à la reconstitution du cordon sur une centaine de mètre. La langue en se reconstituant au nord, forme un écran qui protège l'île contre les vagues incidentes. En toute logique, la sédimentation se poursuivra sur la rive Nord. L'énergie marine s'exerçant sur le plancher sédimentaire se trouvera davantage affaiblie, ce qui favorise l'engraissement des plages dans les zones libérées par l'emprise de l'embouchure. En cas d'application du scénario d'évolution naturelle, la décision devrait cibler la revalorisation des espaces libérés par l'embouchure.
- **La poursuite de l'ensablement du fleuve :** La rive Nord fonctionne comme un pôle d'accumulation et/ou de redistribution de débits solides qui alimentent la formation de bancs de sable à l'intérieur et/ou à proximité de la brèche (cf. carte topobathymétrique du Gandiolais). Les quantités de sable décapées sur la rive Sud sont charriées vers le fleuve en direction de Pilot barre (cf. carte topobathymétrique du Gandiolais) dans le sens des courants dominants. Une partie des débits solides dans le bassin versant du Sénégal sont entraînés dans la lagune de Mboumbaye pendant les épisodes de crue, accentuant le

Tableau 7 Type d'intervention en fonction du scénario choisi

Scénario stabilisation de la brèche	Scénario d'évolution naturel
1 Stabilisation technique des rives nord et sud de la brèche	1 Déplacement des habitants sur une marge de sécurité
2. Engraisement techniques des zones de faiblesse sur la rive sud	2 Enrochement latéral au droit des villages du Gandiolais et revégétalisation des sites libérés
3 Dragage du fleuve sur l'axe Doun Baba DIEYE-ancienne embouchure	3. balisage régulier du chenal navigable pour sécuriser le passage des pirogues
4. Régénération technique de la plage par pose de géotube au droit des villages du Gandiolais	4. Suivi continu des dynamiques hydrosédimentaires dans le Gandiolais

En comparant les deux scénarios, on constate que l'option d'évolution naturel n'intègre ni le dragage ni la pose d'un géotube.

Au regard des impacts négatifs sur l'équilibre naturel de la Langue de Barbarie et de la lourdeur des moyens techniques et financiers nécessaires, le scénario de stabilisation de la brèche est déconseillé. La stabilisation de la brèche demeure très complexe car le delta du Sénégal est un appareil à effet de houle (Montillet, 1988). C'est pour cette raison qu'une partie des sédiments charriés transite dans la lagune par la brèche, justifiant l'apparition des bancs de sable (plancher sédimentaire). En partant de l'analyse et de l'évaluation des effets attendus de chaque scénario, l'étude recommande l'application du scénario d'évolution naturelle. «Laisser la brèche évoluer naturellement» jusqu'à ce que la Langue de Barbarie retrouve son équilibre. Accompagner alors ce processus par la conception de stratégies souples pour minimiser la vitesse de recul de la falaise du cordon vif. Son comportement depuis l'ouverture de la brèche traduit une prévision complexe des types de réponses de la dynamique que toute action anthropique peut faire dégénérer de façon pratiquement incontrôlable. Les recommandations liées à l'application du scénario d'évolution naturelle a fait l'objet d'une proposition détaillée.

6.4 Recommandations

L'utilité de l'étude réside dans l'énonciation de recommandations qui permettront d'avoir un tableau de bord clair. Ainsi, les recommandations sont de nature à améliorer les conditions de vie des populations et de faire face à l'occurrence de risques naturels. Elles sont d'ordre stratégique et opérationnel. Elles portent principalement sur des perspectives de capitalisation des acquis susceptibles d'améliorer les interventions futures.

6.4.1 Rappel des conclusions de l'étude

En partant de l'analyse et de l'évaluation des effets attendus de chaque scénario, l'étude recommande l'application du scénario d'évolution naturelle «Laisser la brèche évoluer naturellement» jusqu'à ce que la Langue de Barbarie retrouve son équilibre. Les principales recommandations assorties de ce scénario sont au nombre de 04 (quatre)

- Le recasement des populations exposées à la brèche sur un site,
- Enrochement latéral au droit des villages du Gandiolais et revégétalisation des sites libérés,
- balisage régulier du chenal navigable pour sécuriser le passage des pirogues,
- Suivi continu des dynamiques hydrosédimentaires dans le Gandiolais,

6.4.2 Le recasement des populations exposées à la brèche: pourquoi il faut recaser les populations ?

Au regard de la cartographie des risques, une frange importante des populations de Pilote Bar-Tassinière sont exposées à la furie des vagues de la brèche. Ainsi, une part importante des biens et des personnes seront affectées. Ils en résultent des Personnes Affectées de façon multiforme :

- Pertes de parcelles d'habitation
- Pertes de bâtis et d'équipements
- Pertes de revenus
- Des liens sociaux sont distendus avec la réinstallation involontaire

Si le nombre de personnes affectées est supérieur ou égale à deux cent (200), il sera nécessaire de procéder à un Plan d'Action et de Réinstallation (PAR) et si le nombre est inférieur à 200 personnes, l'étude appropriée est le Plan Succinct de Réinstallation (PSR).

La principale recommandation est d'avoir une démarche proactive par rapport aux enjeux suivants

A. Sur la procédure

Le bailleur doit provisionner dans son budget les études complémentaires (Etude d'impact environnemental de chaque scénario, Plan d'action et de réinstallation). A cet effet, cette présente étude pose les jalons des études complémentaires à conduire.

B. Sur les sites de recasement des populations

Au regard de la cartographie des risques, après Doun Baba Dièye et Keur Bernard, Pilote Bar est actuellement attaqué par la brèche dans sa partie nord et d'ici janvier ou février les dégâts peuvent être plus importants à cause des fortes tempêtes. D'où l'urgence, de recaser les populations sinistrées et celles directement menacées.

A cet égard, la commune de Ndiébène Gandiol dispose déjà d'un site de recasement de 25 ha (N°136, Domaine de l'Etat) situé à Pilote à environ 150 m du fleuve. Ce site pourra contenir 1500 parcelles. D'ailleurs, actuellement 600 de ces parcelles sont déjà affectées à des sinistrés de la brèche. Sont concernés par ce site, les habitants de Tassinère puisque ce village ne dispose pas de zone d'extension. La difficulté majeure à laquelle reste confrontée la mairie est l'absence d'encadrement et de mesures d'accompagnement pour recaser les populations attaquées par la brèche ou en phase de l'être.

A ce titre, la principale recommandation est l'accompagnement de la politique de recasement des populations par l'Etat en partenariat avec les bailleurs de fonds. Cet accompagnement peut s'entendre à plusieurs niveaux

- La réhabilitation économique des personnes affectées par la Brèche,
- L'indemnisation des personnes affectées par la brèche

Le suivi de la réinstallation des PAB sera mené par la commune de Ndiébène Gandiol en collaboration avec les services déconcentrés de Saint-louis (DREEC, ADC, domaines, Hydraulique, Tribunal départemental, Gouverneur de Saint-louis, service des pêches,).

6.4.3 Faire un enrochement latéral au droit des villages du Gandiolais et revégétaliser les sites libérés

Tâche protéger la côte par un enrochement latéral et accompagner la resédimentation de la plage par des actions de reboisement

Objectif: en cas d'application du scénario d'évolution naturel, un enrochement latéral de la berge permettrait de réduire considérablement la vitesse de recul de la falaise droit de la brèche (village). La revégétalisation des sites libérés comme Doun Baba DIÈYE améliore leur reconstruction naturelle

Hots spots:

- La section à sécuriser s'étendrait de Pilot Barre à Tassinère (carte des risques),
- La hauteur de l'ouvrage est déterminée par la topographie du site (résultats analyses topobathymétriques);
- Pour apprécier la résistance de l'ouvrage, le choix des roches (beachrocks) est fait en fonction de la force des courants et de la granulométrie de la plage (voir résultats courantométriques et granulométriques),
- Le dispositif est installé depuis la limite moyenne de la mer à marée haute jusqu'à la zone de surf (zone de rupture des vagues),
- Les dispositifs sous la forme d'épis et ou de brise lame sont déconseillés en raison de leur impacts sur le transit sédimentaire,
- L'entreprise qui réalise l'aménagement doit s'approprier des résultats de l'étude bathymétriques du Gandiol surtout des données bathymétriques (voir model 2D et 3D de l'axe Pilot Barre-Tassinère) et granulométriques (carte de la distribution des populations de grains dans l'axe Pilot Barre-Tassinère),
- Le reboisement cible les sites situés au nord (espaces qui se reconstituent naturellement suite à la migration méridionale de la brèche). Les espèces doivent être fixées sur le cordon à partir de la limite maximale de la marée ordinaire. L'espèce *Casuarina equisetifolia* (filao) est recommandée en raison de son adaptation aux conditions hydroclimatiques et pédologiques de la zone d'étude

Ce travail doit être fait en rapport avec les services des eaux et forêts. Actuellement, les sites prioritaires sont

- Rive Nord de la brèche,
- Ile Doun Baba DIÈYE;
- Keur Bernard,

6.4.4 Faire un balisage régulier du point de passage des pirogues pour minimiser les risques d'accidents.

Tâche: faire un balisage régulier de la brèche

Objectif: Faire un balisage régulier du point de passage des pirogues pour minimiser les risques d'accidents

Hots spots:

Ce travail ne concerne que la section de passage des pirogues (au droit de la brèche). Le travail de balisage en cours avec l'ANAM devrait alors se poursuivre. Renforcer cette action afin de maîtriser les des accidents de pirogues liés aux bancs de sable autour de la brèche

- Faire des campagnes bathymétriques le long de la brèche,
- Localiser les bancs de sable autour du chenal,

Les sections dynamiques sont

- Partie interne (deltas intérieurs, coté fleuve),
- Partie externe (deltas extérieurs, coté océan),
- Les passes (gueule de la brèche)

En raison des conditions hydrodynamiques très intenses dans cette zone, il serait plus pratique de procéder à une bathymétrie par la méthode Lidar car les embarcations de type pirogue peuvent avoir des difficultés à s'approcher des secteurs très instables

6.4.5 Faire un suivi continu des dynamiques hydrosédimentaires dans le Gandiolais

Tâche Suivi de l'érosion-sédimentation et salinisation

Objectif: En cas d'application du scénario d'évolution naturelle de la brèche, le suivi permettrait d'améliorer à temps réel, les connaissances du système et de procéder à une modélisation pour une gestion efficace des effets attendus. A terme, cette tâche renforce l'expertise en matière de gestion du littoral.

Hots spots:

- Océan (section en face de la Langue de Barbarie),
- Fleuve (du barrage de Diama à l'ancienne embouchure),
- Brèche (rive Nord et rive Sud, points de ruptures naturelles),
- Rive Est de la lagune de Mboumbaye (section Pilot Barre-ancienne embouchure);
- Espaces maraichers (de la côte vers le continent);

Mettre en place un réseau de stations en mer, le long du fleuve (partie estuaire) et sur le continent (espace maraichers) pour évaluer afin d'anticiper les risques (modélisation)

Outils et méthodes:

- Stations topographiques différentiel,
- Stations marégraphiques,
- Stations de mires,
- Stations piézométriques,

Typologie des données:

- Données topographiques;
- Données courantométriques,
- Données bathymétriques par la méthode Lidar,
- Données de salinité,

6.4.6 Le suivi-évaluation des recommandations

6 4 6 1 Sur le recasement des populations impactées

Le but principal du processus de Suivi est de s'assurer que les principales recommandations de l'étude sont réalisées. Dans cette optique, le processus devra prouver qu'effectivement les PAB ont reçu des compensations justes et équitables, qu'elles ont été compensées avant d'avoir à libérer leurs terres ou que leurs biens soient perdus, et que leur niveau de vie est au moins équivalent sinon meilleur que celui d'avant l'occurrence de la brèche.

Le tableau qui suit donne un aperçu des paramètres de suivi de la recommandation sur le recasement des populations affectées par la brèche (PAB), les responsabilités de suivi, les indicateurs et la période de suivi et les objectifs de performance.

Tableau 8 Suivi de la recommandation sur le recasement des populations

Paramètre de suivi	Responsable	Indicateurs / Période	Objectifs de performances
Participation	Mairie Gandiol / Ndiébène Bureau	Nombre et typologie des PAB Nombre de participation des PAB Effectif des ménages et des personnes ayant fait l'objet d'un déplacement physique du fait de la brèche	Toutes les PAB ainsi que leurs biens ont été recensés
Négociation et indemnisation	Comité de suivi de la mise en œuvre des recommandations	Nature et montant des compensations par PAB Nombre de PV d'accords signés (Trimestriel)	Toutes les PAB à indemniser ont été indemnisées Un consensus est trouvé sur les indemnisations de toutes les PAB
Processus de déménagement et de réinstallation	Comité de suivi de la mise en œuvre des recommandations	Nombre de PAB sensibilisés (Mensuel)	Toutes les PAP à réinstaller sont installées aux sites de recasement conformément aux prévisions
Résolution des tous les griefs légitimes	Comité de suivi de la mise en œuvre des recommandations	Nombre de conflits Types de conflits PV résolutions (accords) (Mensuel)	Tous les conflits sont résolus à l'amiable
Satisfaction des PAB	Mairie / Bureau d'études	Nombre de PAB sensibilisés Type d'appuis accordés Nombre de PAB satisfaits (Trimestriel)	Toutes les PAB sont satisfaites des conditions de réinstallation

6 4 6 2 *Sur les autres recommandations techniques*

Le tableau 9 résume les recommandations assorties de l'application du scénario d'évolution naturelle de la brèche. Il s'agit essentiellement d'un tableau qui décrit l'ensemble des mécanismes devant permettre de passer du niveau stratégique au niveau opérationnel. Pour ce faire, il décrit les mécanismes liés

- ✓ aux principales composantes environnementales affectées et aux opérations techniques de sauvegardes préconisées ,
- ✓ au suivi et à la mise en œuvre des recommandations (les responsabilités de mise en œuvre et de suivi) ;

6.4.7 Les acteurs institutionnels en charge du suivi des recommandations

Les principaux acteurs du suivi des recommandations sont nombreux et variés (Ndiaye, Mariétou, 2013)¹² Ils interviennent selon différentes échelles .

Pour une mise en œuvre correcte des activités liées au suivi des recommandations de l'étude, des arrangements institutionnels sont nécessaires pour anticiper sur les impacts négatifs de la brèche. Ainsi, il s'agit de créer une synergie inter-institutionnelle pour prendre en charge les questions liées à l'assistance technique et aux différentes mesures d'accompagnement.

Dans le cadre d'une planification opérationnelle, la DEEC (y compris la DREEC de Saint-Louis) devrait travailler en partenariat étroit avec les services régionaux impliqués dans la gestion de la brèche.

Du point de vue des dispositions institutionnelles, au niveau régional, le suivi environnemental incombera en premier chef à la DEEC eu égard à sa mission régalienne.

Au plan opérationnel, elle sera appuyée au niveau régional par les acteurs suivants :

- **le comité local de gestion de la brèche ;**
- **le comité départemental de surveillance de la brèche ;**
- **L'équipe Check point constituée du Gouverneur qui en assure le secrétariat ;**
- **les collectivités locales de saint-louis et de Ndiébène Gandiol**
- **le Laboratoire Leidi de l'université de Saint-louis ;**
- **le Syndicat du tourisme**
- **l'association des pêcheurs**

Le tableau 10 identifie pour chacun de ces acteurs les rôles et responsabilités

¹² Communication sur la brèche à l'occasion du Colloque associé à la 21e édition du Festival International de Jazz de Saint-Louis, du 16 au 17 mai 2013 portant sur les politiques de gestion de l'actuelle embouchure quel bilan après 10ans de fonctionnement ?

Tableau 10 Acteurs du suivi des recommandations

Acteurs	Membres	Missions/rôles
Le comité local de gestion de la brèche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sous préfet de Rao ▪ Commune Rurale de Ndiébène Gandiol ▪ les chefs de village ▪ le commandant de la brigade de Rao ▪ le chef du CADL de Rao ▪ le service des pêches ▪ le conservateur du Parc national de la Langue de Barbarie 	Alerter, informer et opérationnaliser l'interdiction de navigation sur la brèche
Le comité départemental de surveillance de la brèche	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Préfet et services techniques de la région concernée 	Veiller sur l'effectivité de l'interdiction de la navigation.
L'équipe Check point	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le Gouverneur et le Service Régional des pêches et de la Surveillance de Saint-Louis assurent le secrétariat 	Dispositif de suivi et de contrôle en mer des embarcations de pêche de type artisanal en matière de sécurité et de respect de la réglementation en vigueur
Les collectivités locales de Saint-Louis et de Ndiébène Gandiol	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Région de Saint-Louis et commune de Ndiébène Gandiol 	Documents de planification et Forum
L'université de Saint-Louis	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Le Laboratoire Leidi 	Projet et programmes de recherche
Le Syndicat du tourisme	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Opérateurs touristiques 	Protection des intérêts des touristes
L'association des pêcheurs	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tefess-Diamalaye 	Sensibiliser les pêcheurs

production agricole, Université de Las Palmas de Gran Canaria, Laboratoire Leidi de l'Université Gaston Berger de Saint-Louis, 35p

GILIF (2002). Vers une gestion intégrée du littoral et du bassin fluvial Programme pilote du delta du fleuve Sénégal et de sa zone côtière PNUE/UCC-Water /SGPRE 53p

GAC J.Y., KANE A., MONTEILLET J. (1981). Migrations de l'embouchure du fleuve Sénégal depuis 1850. Cahiers ORSTOM, Géologie, XII (1), 73-75

GAC et al., (1990) Environnement et qualité des eaux du Sénégal. Rapport scientifique n. 3, multigr., projet EQUASEN de la CEE, TS2/0198 f/EDB, DG XII programme STD, Bruxelles, 1, novembre 1990, 63 p

GUILCHER A (1954) Rapport sur une mission d'étude de la langue de Barbarie et l'embouchure du Sénégal, M.A.S., 56 pages

KANE A (1985) Le bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particuliers. Invasions marines dans la vallée du fleuve. Contribution à l'hydrologie fluviale en milieu tropical humide et à la dynamique estuarienne en domaine sahélien Thèse 3e cycle, Univ Nancy II, 205 p

KANE A., BARUSSEAU J.P (1993) Caractéristiques hydrologiques, sédimentologiques et morphologiques du Bas estuaire du Sénégal Rapport C.A.M.P.U.S., pp 53-62

KANE A. (1997). L'après barrage dans la vallée du fleuve Sénégal Modification hydrologiques, morphologique, géochimique et sédimentologiques Conséquences sur le milieu naturel et les aménagements hydrologiques, Thèse de doctorat d'Etat de Géographie physique, UCAD, 551p

KANE et al., (2004). Coastal Impacts of Water Abstraction and Impoundment in Africa Cas du bassin du fleuve Sénégal, LOICZ / START AfrCat FOUNDATION PROJECT, 91p

MICHEL, P (1968) «Morphogenèse et pédogenèse Exemples d'Afrique Occidentale». *Sols afric*, vol. 13, N° 2, pp 171-194

MICHEL P. (1973) Les bassins des Fleuves Sénégal et de la Gambie (étude géomorphologique). Thèse d'Etat Mémoire I.R.D., N°63, 752 p

MICHEL, P et SALL, M (1984) Le développement rural en question paysages, espaces ruraux, systèmes agraires Maghreb, Afrique noire, Mélanésie, Mémoire I.R.D., N°108.

MONTEILLET J (1986) Environnement sédimentaire et paléocologie du delta du fleuve Sénégal au Quaternaire (évolution d'un écosystème fluvio marin tropical au cours des derniers 10 000 ans) Thèse d'Etat Univ Perpignan, 266 p

NICOLAS J.P. (1953) Note sur l'importance relative des divers facteurs agissant sur la morphologie de la Langue de Barbarie MA S Bull., Saint-Louis, 8 p novembre 1988 pp 17-35

SALL M (2006) Crue et élévation du niveau marin à Saint-Louis du Sénégal : impacts potentiels et mesures d'adaptation, thèse, Université de Maine, 332p

SALL M.M (1982). Dynamique et morphogenèse actuelles au Sénégal Occidental Thèse d'Etat U.L.P. Strasbourg I. 604 p

SY A.A., SY B.A. (2010). « Dynamique actuelle du cordon littoral de la grande côte sénégalaise de Saint-Louis à Niayam et ses conséquences » in Revue de géographie du Laboratoire Leidi, UGB, n°8, p. 197-214

SY A.A., SY B.A. (2010) « Dynamique actuelle du cordon littoral de la grande côte sénégalaise de Saint-Louis à Niayam et ses conséquences » in Revue de géographie du Laboratoire Leidi, UGB, n°8, p. 197-214.

SY A.A., SY B.A., Ignacio AB, Isora SP, Silvia RV. (2013). « Résultats du suivi 2010-2012 de l'évolution de la brèche ouverte sur la Langue de Barbarie au Sénégal et de ses conséquences », *Physio-Géo*

TERMES DE REFERENCE

1. INFORMATIONS GÉNÉRALES

1.1 Pays bénéficiaire

République du Sénégal

1.2 Pouvoir adjudicateur

Madame le Régisseur du Projet GIZC
Direction de l'Environnement et des Etablissements
Classés du Sénégal

106, rue Carnot – Division Gestion du Littoral
BP 6557 DAKAR-Etoile - SENEGAL
Tél : (221) 33 823 98 83
Courriel (e-mail) : diorSIDIBE@yahoo.fr
abdoudiarra2002@yahoo.fr

1.3 Éléments d'information utiles concernant le pays bénéficiaire

L'extraction de sable sur les plages comme sur le plateau continental, la forte pression démographique, la pollution, () et le changement climatique ont fini par accentuer le phénomène de l'érosion qui menace la survie de millions de personnes sur les côtes africaines et du monde en général

Au Sénégal, ces populations sont aujourd'hui menacées par le relèvement du niveau de la mer, avec le recul du trait de côte de l'ordre de 0,5 à 1 m par an d'après les études de vulnérabilité des côtes sénégalaises réalisées dans le cadre du Plan d'actions national d'adaptation (PANA) Les conséquences d'un tel phénomène naturel touchent tous les secteurs clés de l'économie nationale à travers la baisse de la productivité agricole (processus de salinisation des terres avec l'intrusion marine), la réduction de la biodiversité marine (modifications des upwellings), les risques d'inondation des infrastructures portuaires et routières, la destruction des équipements touristiques et les pertes de plages pour ne citer que ces exemples.

C'est dans ce contexte que le Gouvernement du Sénégal a accordé une priorité fondamentale à la lutte contre l'érosion côtière et à l'adaptation aux changements climatiques

Depuis 2005, Le gouvernement du Sénégal met en œuvre divers programmes et projets en vue de l'adaptation à l'érosion côtière. En effet, la zone côtière sénégalaise, d'une longueur de 700 km de côte, est menacée par ce phénomène d'érosion côtière qui exacerbée par le réchauffement climatique, est devenue une préoccupation majeure au cours des dernières années. Ainsi, vu l'urgence et le nsque associé pour certaines populations et infrastructures des ouvrages de protection ou des solutions d'aménagements ont été effectués, notamment sur les zones les plus vulnérables comme Saint-Louis, Rufisque, Saly, Joal, Dakar et la Casamance

C'est dans ce cadre que s'inscrit le projet de gestion intégrée des zones côtières du Sénégal financé par l'Union Européenne.

1.4 Situation actuelle dans le secteur concerné

❖ Au niveau juridique et institutionnel

Les réponses qui ont été apportées par le Sénégal, en matière de protection du milieu marin et côtier peuvent ainsi être résumées :

Le code de l'Environnement : loi 2001-01 du 15 janvier 2001

La loi 2001-01 du 15 janvier portant Code de l'Environnement 2001 et son décret d'application n°2001-282 du 12 avnl 2001 règlementent la gestion et la préservation du milieu marin, notamment les cas de dégradation et déterminent les sanctions applicables aux infractions environnementales en milieu marin et côtier. Ainsi, elle définit les principes de précaution et d'actions préventives afin de prévenir tout risque de dommage graves, irréversibles à long terme et qui doit conduire à agir pour

prévenir les atteintes à l'environnement

Son article L69 dispose qu'aucune occupation du Domaine Public ne doit porter atteinte ni le libre accès des D P Maritime et Fluvial ni la libre circulation des personnes et des biens ni être source d'érosion ou de dégradation du site. Il réglemente aussi la nature des équipements dans les espaces proches du rivage qui doivent être légères et démontables.

Le respect des dispositions de l'article L 48 du Code de l'Environnement relatives à l'évaluation environnementale préalable des politiques, stratégies, plans programmes et projets, constitue un engagement fort du gouvernement.

Par ailleurs, notons que d'une part, le code de l'environnement est en révision, et d'autre part, un **projet de loi littoral** est dans le circuit pour renforcer les instruments légaux de protection du milieu côtier contre toutes les formes d'agression.

Cette loi devrait permettre de réglementer l'urbanisme et les équipements dans les espaces proches ou éloignés du rivage et de fixer un cadre juridique pour les nombreuses décisions concernant la Protection, l'Aménagement et la Mise en Valeur du littoral

❖ **Sur le plan organisationnel et des capacités techniques**

Afin de faire face aux problèmes causés par les CC, le Sénégal s'est doté depuis 1994 d'un Comité National sur les Changements Climatiques (COMNACC) qui a été institué en 2003 par arrêté n°1220 du 07 mars 2003 du Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MEPN).

Cependant, devant l'ampleur des effets néfastes des CC et l'urgence de la situation ainsi observée sur le littoral, le Gouvernement du Sénégal a mis en place un cadre institutionnel plus fort lui permettant d'assurer la coordination des interventions dans ce domaine par l'édition du décret n° 2011-1689 portant création du COMNACC placé sous l'autorité du MEPN

Le Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature à travers la Direction de l'Environnement et des Etablissements Classés s'est doté d'une nouvelle structure notamment la Division Gestion du Littoral Elle a pour -(entre autres)- mission .

- de faire le suivi des programmes et projets de gestion du littoral et d'adaptation aux changements climatiques et à ses effets connexes,
- d'assurer l'application de la réglementation sur les zones côtières sénégalaises,
- d'appuyer les promoteurs de projets à la mise en œuvre des plans de gestion des zones côtières,
- etc

Dans le même ordre d'idées, il a été créé un **comité de pilotage des activités de protection du littoral** avec pour mission entre autres :

- initier toute réflexion ou action de nature à contribuer à une meilleure connaissance du phénomène d'érosion côtière ;
- donner des avis sur l'orientation des programmes et projets relatifs au littoral ;
- proposer au Gouvernement toute mesure de portée nationale pouvant concourir à une meilleure protection du littoral

1.5 Programmes liés et autres activités des bailleurs de fonds

En synergie avec différentes institutions et organisations nationales/internationales, divers programmes et projets sont mis en œuvre par le MEPN au niveau des sites les plus vulnérables et au niveau national. Ces actions se résument généralement à faire l'analyse économique des options d'adaptation selon les sites pilote, réaliser les travaux (études) de faisabilité et d'ingénierie pour la mise en œuvre d'actions d'urgence et à développer des outils dynamiques de suivi des données géo spatiales

- **Le Projet Adaptation aux Changements climatiques et côtiers en Afrique de l'Ouest (Projet ACCC)** financé par le Fonds Mondial pour l'Environnement (FEM)
- **Le Projet d'Intégration de l'Adaptation aux Changements climatiques dans le développement durable au Sénégal (INTAC)** qui vise à mettre en œuvre des approches

intégrées et globales d'adaptation tout au long du littoral et à réaliser des ouvrages de protection côtière

- **Le Projet d'adaptation à l'érosion côtière dans les zones vulnérables au Sénégal**, financé dans le cadre du Fonds d'Adaptation aux Changements Climatiques (FACC), en vertu du Protocole de Kyoto pour aider les pays en développement particulièrement exposés aux effets et impacts néfastes du Changement Climatique(CC)
- **Le programme régional de lutte contre l'érosion côtière de l'UEMOA**. Le programme vise à lutter efficacement contre l'érosion dans les Etats de l'UEMOA en vue d'assurer la préservation de leurs potentialités socio-économiques.
- **Le Projet COAST (Développement et mise en œuvre de mécanismes pour une gouvernance du tourisme durable et une gestion des zones côtières)** sous le financement du Fonds pour l'Environnement Mondial (FEM)
- La Banque mondiale a entrepris une étude "**économique et spatiale de la vulnérabilité et de l'adaptation des zones côtières au changement climatique au Sénégal**" Cette étude prévoit de doter le Sénégal d'un outil dynamique de suivi du littoral

L'ensemble de ces études ont été complétées par celle de l'UE à savoir le projet de gestion intégrée des zones côtières du Sénégal (PGIZCS) Il s'agit d'une étude sur tout le littoral qui permettra, in fine, d'obtenir un plan de gestion intégrée des zones côtières, un système d'information géographique (SIG) et des études détaillées au niveau de quatre zones que sont la zone de St Louis, du Cap Vert, de la Petite Côte et de la Casamance.

On rappellera que la planification GIZC adoptée par le projet s'est appuyée sur une démarche participative large impliquant un grand nombre d'acteurs locaux et représentants des administrations centrales et délocalisées. Le processus s'est construit autour de trois phases : diagnostic, analyse intégrée, et planification incluant l'identification d'actions concrètes conduisant à initier le plan GIZC adopté. Le retour espéré de cette approche est une appropriation par les acteurs des actions à réaliser. Le recours aux structures participatives a d'ailleurs été recommandé dans la stratégie nationale GIZC comme appui à une bonne gouvernance du littoral.

2. OBJECTIFS ET RÉSULTATS ESCOMPTÉS

2.1 Objectif général

L'objectif général de la présente étude est le suivant.

L'objectif du marché est la réalisation d'une étude bathymétrique visant à mieux connaître les conditions morpho-sédimentaires et érosives prévalant dans une partie du fleuve Sénégal, dans la Communauté rurale de Ndiébène Gandiol entre la partie nord de l'île Doun baba Dieye et Tassinère en vue de décider sur les actions de protection anti-érosive souhaitables au niveau de certains villages du Gandiolais dont un possible dragage éventuel à conduire sur le tronçon indiqué.

2.2 Objectifs particuliers

Le(s) objectif(s) particulier(s) du présent contrat sont le(s) suivant(s):

1. Conduire un relevé topo-bathymétrique du fleuve entre la pointe nord de l'île Doun Baba Dieye et Tassinère accompagné de mesures de courant et de prélèvements de sédiments
2. Analyse approfondie des résultats obtenus en vue d'une meilleure compréhension de la dynamique sédimentaire et de courant prévalant au niveau de la brèche/embouchure et de sa proximité amont et aval
3. Conduire une analyse granulométrique des sédiments prélevés et son interprétation

2.3 Résultats à atteindre par le contractant

- Une carte topo bathymétrique modèle 2D et 3D des sections mesurées
- Présentation des résultats des mesures de terrain et leur analyse

6.4 Bureaux

N/A

6.5 Installations et équipement mis à disposition par le contractant

Le contractant doit veiller à ce que les experts disposent du matériel nécessaire et de ressources satisfaisantes, notamment en matière d'administration, de secrétariat et d'interprétation, pour pouvoir se consacrer pleinement à leur mission. Il doit également transférer les fonds nécessaires au financement des activités prévues au titre du contrat et s'assurer que le personnel est rémunéré régulièrement et en temps voulu.

6.6 Matériel et expérience

Aucun bien d'équipement ne sera acheté pour le compte du pouvoir adjudicateur/du pays bénéficiaire au titre du présent marché de services ni transféré au pouvoir adjudicateur/au pays bénéficiaire à la fin du contrat. Tout bien d'équipement qui devra être acheté par le pays bénéficiaire pour les besoins du marché fera l'objet d'une procédure d'appel d'offres de fournitures distincte.

7. RAPPORTS

7.1 Rapports obligatoires

Le contractant soumet les rapports suivants en français en un original et trois copies :

- **Rapport préliminaire** à fournir après la synthèse des données et avant la campagne de mesures de terrain. Ce rapport décrira le résultat des recherches documentaires, des contacts établis et de la première visite de terrain et des leçons apprises. Il inclura sa proposition de campagne de mesures pour approbation avant réalisation. Le contractant devra obtenir l'approbation du rapport par le pouvoir adjudicateur avant de démarrer les mesures de terrain.
- **Projet de rapport final** - Ce rapport sera soumis au plus tard 15 jours après la fin des mesures de terrain. Le rapport inclura l'ensemble des données récoltées, les cartes produites, et les principales conclusions de l'étude tant sur le plan topo-bathymétrie, courants, sédiments, nécessité éventuelle de dragage, et recommandations pour ouvrages de protection.
- **Rapport final** avec les mêmes spécifications que le projet de rapport final, incluant tous les commentaires sur le projet de rapport, reçus des parties concernées. Le rapport final sera fourni au plus tard 10 jours après la réception des commentaires sur le projet de rapport final. Le rapport final doit être fourni avec la facture correspondante.

7.2 Présentation et approbation des rapports

Les rapports susmentionnés seront présentés au gestionnaire du projet indiqué dans le contrat. L'approbation de ces rapports incombe au gestionnaire du projet.

8. SUIVI ET ÉVALUATION

8.1 Définition d'indicateurs

Le prestataire recommandera un certain nombre de mesures de suivi au niveau bathymétrie, suivi de l'érosion et déplacement de la brèche.

8.2 Exigences particulières

Le soumissionnaire devra montrer qu'il a conduit au moins deux campagnes de mesures topo-bathymétriques et qu'il possède l'expérience adéquate pour utiliser l'équipement suivant :

- Echosondeur mono ou multifaisceaux
- Logiciels de calculs/simulation de bathymétrie et dynamique sédimentaire
- Sondes de mesures salinité pour milieux marins ou lagunaires

- Prélèvements/ carottage sédiments

Avant de se lancer dans la campagne de mesures, le contractant devra faire un premier sondage sur la nature et profondeur des fonds à mesurer, en effet, par petits fonds il est difficile de traiter les signaux qui présentent des réflexions multiples entre le fond et la coque du bateau, dans ce cas, l'utilisation d'un échosondeur mono- faisceaux sera probablement plus indiquée. De même en cas de fonds très vaseux, une trop grande partie du signal émis sera diffusé, et la quantité d'énergie acoustique réfléchi est alors trop faible pour un bon rapport signal sur bruit.

S'il n'en possède pas, le contractant devra faire appel à une embarcation appropriée pour conduire les mesures dans des conditions sécuritaires et techniques respectant les règles de l'art y inclus pour la sécurité de son personnel.

Le gestionnaire du projet remettra des cartes du site précisant les coordonnées exactes des endroits de mesure.