

13197

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE



*MEMOIRE présenté par*

*Ada NDIAYE*

*pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies de Géosciences  
Option : Environnements Sédimentaires*

**ESSAI DE CARACTERISATION DE L'EVOLUTION  
MORPHOSEDIMENTAIRE DE L'ESTUAIRE  
ET DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL :  
IMPACT DU BARRAGE DE DIAMA**

**Soutenu publiquement le 22 janvier 2000  
Devant la commission d'examen composée de :**

<b>Président :</b>	M. Ababacar	LY	Maître de Conférences	UCAD
<b>Rapporteur :</b>	M. Bachir	DIOUF	Maître – Assistant	UCAD
<b>Examineurs :</b>	Mme. Mariline	DIARA BA	Maître – Assistante	UCAD
	M. Mamadou	FALL	Maître – Assistant	UCAD
	M. Alioune	KANE	Maître de Conférences	UCAD

**Année Universitaire 1999-2000**

13197

Monsieur Ada NDIAYE  
Etudiant-chercheur en Thèse de  
3<sup>ème</sup> cycle au département de Géologie  
UCAD  
Tel: 557 47 18

Dakar le, 12-08-2002

A Monsieur le Responsable de  
l'Observatoire de l'environnement  
de l'O.M.V.S

Je viens joindre à ce présent document la description détaillée de mon sujet de Thèse. En effet, les grandes lignes des résultats obtenus lors du DEA; érosion intense des berges au niveau de la zone d'embouchure, approfondissement du chenal au environs du barrage de Diama, tendance à l'envasement de la zone de retenue, sont en cohérence avec la thématique de mes recherches en Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle et entrent dans la perspective de formation d'un spécialiste en hydrologie et sédimentologie continentales.

Le sujet présente un intérêt scientifique certain. Le régime hydrique des système paraliques du Sénégal, fortement influencé par la pluviométrie, est tributaire depuis quelques décennies de la péjoration climatique. Le fleuve Sénégal faisait face à une invasion marine qui s'étendait chaque année un peu plus vers l'amont. Cela a conduit à la construction du barrage de Diama pour contenir cette montée saline et préserver le réseau hydrographique du fleuve Sénégal. Les études sédimentologiques réalisées préalablement à la construction du barrage Diama sont parfois très succinctes et insuffisantes, en particuliers les études sur le transit sédimentaires. Or, depuis la mise en eau du barrage de Diama, les débits solides et la circulation de l'eau ayant été modifiés, les processus d'érosion-sédimentation le long du fleuve ont changé. Il semble donc nécessaire de connaître l'évolution des cycles sédimentaires dans l'environnement deltaïque, d'autant plus que:

- on ne dispose que de peu ou voire pas de références antérieures;
- les observations actuelles semblent caractériser une érosion des berges et un approfondissement du chenal dans le bief aval, un envasement contant et un colmatage des distributaires amont;
- le développement socio-économique (pêche, irrigation, alimentation en eau potable, navigabilité du fleuve,...) pourrait être remis en cause par une régression du delta.

Face à cette problématique, nous avons soumis à l'équipe de recherche sur la dynamique des environnements sédimentaires du bassin sénégal-mauritanien et de sa marge le sujet "**Etude hydrologique et morphosédimentaire du delta du fleuve Sénégal: impact du barrage de Diama**" avec une méthodologie parfaitement adaptée:

- analyse des documents récents (IRD, OMVS, UCAD,...) couplée à des vérifications sur le terrain;
- réalisation des bilans des entrées et sorties d'eau ainsi que la mesure des débits solides. Cela se fera grâce à des mesures de courants, de hauteur d'eau et une évaluation par sondage de la section du chenal à une station donnée. Ces estimations des volumes d'eau entrés et sortis seront effectuées au cours de cycles de marée selon le rythme annuel saison des pluies , saison sèche. Des prélèvements

simultanées permettront d'évaluer les matières en suspension en rapport avec le volume d'eau;

- détermination des paramètres physiques (température, salinité, turbidité) et chimiques (pH, oxygène dissous, sels nutritifs, chlorophylle) selon les cycles de marée grâce à des mesures au laboratoire et in situ à différentes profondeurs;
- quantification et modélisation des cycles sédimentaires (érosion-sédimentation) grâce à des transects effectués depuis l'amont barrage jusqu'à l'embouchure, à différentes périodes (début, milieu et fin de saison sèche et de crue). Ces transects comprendront des profils bathymétriques réalisés par couplage d'un sondeur et d'un géodimètre ainsi que des prélèvements de sédiments par benne et carottier suivis de leur analyse au laboratoire;
- détermination de l'origine des matières en suspension (M.E.S) et des sédiments de fond par centrifugation et lyophilisation de prélèvements d'eau et par analyses chimique, minéralogique et granulométrique de sédiments;
- étude de la morpho-dynamique actuelle de la langue de Barbarie qui pourra découler de l'exploitation des données bathymétriques et sédimentologiques associée à l'utilisation de photos aériennes et d'images satellites.

Actuellement les études sur la morphosédimentation du chenal principal sont poursuivies depuis novembre 1999. Les études hydrologique, hydrodynamique et sur la morphosédimentation des distributaires amont seront entreprises à partir de l'hivernage 2002. Compte tenu de votre programme, je compte quand même sur votre collaboration, même dans un domaine plus vaste (allant du haut bassin jusqu'à l'embouchure) et dont les résultats pourront servir à une éventuelle Thèse d'Etat.

Je vous remercie d'avance.

UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR  
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES  
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE



*MEMOIRE présenté par*

*Ada NDIAYE*

*pour l'obtention du Diplôme d'Etudes Approfondies de Géosciences  
Option : Environnements Sédimentaires*

**ESSAI DE CARACTERISATION DE L'EVOLUTION  
MORPHOSEDIMENTAIRE DE L'ESTUAIRE  
ET DU DELTA DU FLEUVE SENEGAL :  
IMPACT DU BARRAGE DE DIAMA**

**Soutenu publiquement le 22 janvier 2000  
Devant la commission d'examen composée de :**

<b>Président :</b>	M. Ababacar	LY	Maître de Conférences	UCAD
<b>Rapporteur :</b>	M. Bachir	DIOUF	Maître – Assistant	UCAD
<b>Examineurs :</b>	M <sup>me</sup> . Mariline	DIARA BA	Maître – Assistante	UCAD
	M. Mamadou	FALL	Maître – Assistant	UCAD
	M. Alioune	KANE	Maître de Conférences	UCAD

Année Universitaire 1999-2000

## *Dédicaces*

*A Papa et à ma grande sœur Mbenda NDIAYE (En Mémorium)*

*A ma très chère mère et à mon beau père*

*A mes frères et sœurs*

*A tous mes parents*

*A tous mes amis*

*Je dédie ce travail*

## Remerciements

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance à toutes les personnes qui de près ou de loin ont rendu possible la réalisation et la soutenance de ce mémoire.

- Mes remerciements vont tout d'abord à Monsieur Mouhamadou Bachir DIOUF qui a bien voulu me confier ces travaux et guider mes premiers pas dans la recherche. Sa disponibilité constante, ses critiques et ses suggestions ont permis d'améliorer progressivement la rédaction de mémoire.

Qu'il soit rassuré de ma profonde gratitude et de ma reconnaissance d'avoir bien voulu être rapporteur de ce travail.

- Je remercie profondément Monsieur Ababacar LY, pour ses conseils, ses encouragements et son soutien moral tout au long de mes études universitaires. Je lui témoigne ma profonde reconnaissance d'avoir bien voulu accepter de présider ce jury.

- Je remercie très vivement Madame Mariline BA, à qui je réserve une très grande reconnaissance et une profonde gratitude d'avoir bien voulu guider mes premiers pas à l'utilisation de l'ordinateur et à l'exploitation des données. Merci d'avoir bien voulu accepter de juger ce travail.

- Je remercie très sincèrement Monsieur Mamadou FALL. Qu'il soit rassuré de ma profonde reconnaissance pour sa collaboration et ses critiques qui ont permis d'améliorer ce travail. Merci d'avoir accepté de juger ce travail.

- A Monsieur Alioune KANE du Département de Géographie de la Faculté des Lettres, j'adresse mes sincères remerciements d'avoir bien voulu faire partie de ce jury. Merci d'avoir accepté de juger ce travail.

- Mes remerciements vont également à l'encontre du chef et au collectif des enseignants du Département de Géologie.

- Je remercie également tout le personnel administratif du Département de Géologie. A Madame Elisabeth NDOUR, je réserve une mention spéciale. Qu'elle soit rassurée de ma profonde reconnaissance pour sa collaboration et sa disponibilité. Merci d'avoir accepté de faire la saisie de ce document. A Monsieur Khalifa CISSE, pour son amitié et pour l'aide précieuse qu'il m'a apporté lors de mes travaux de laboratoire.

- Je remercie profondément Madame Anne Marie BODERGAT de l'Université de Lyon, pour sa collaboration et sa sympathie lors des missions sur le terrain.

- Mes amis et promotionnaires, particulièrement ceux du Département de Géologie, vous trouverez ici l'expression de ma profonde reconnaissance et de mon admiration pour votre collaboration et votre sympathie. Mes sœurs et amies Aïssatou DIOP, Fama SOW, Khadidiatou SY et Mariame SY, merci pour votre soutien permanent et inconditionnel.

- Mes sœurs et amies de l'Institut des Sciences de la Terre, soyez rassurées de ma profonde reconnaissance pour votre étroite collaboration et votre sympathie tout au long de ces deux dernières années.

- Mon frère Soulèyemane NDIAYE, merci pour les services rendus pendant mes séjours à Saint - Louis

- Ce travail a pu être réalisé grâce à l'appui financier de *AIRE développement* que nous tenons à remercier profondément.

- Nous remercions également le Laboratoire de Sédimentologie et de Géochimie Marine de Perpignan, le Laboratoire de Morphologie du Département de Géographie et Monsieur FREGUEUR de l'E.S.P. de Dakar, pour le soutien matériel qu'ils nous ont apporté.

- Nous remercions profondément Monsieur DIAGNE, capitaine du port de Saint -- Louis et Monsieur SENE, piroguier à Gandiol, pour les services rendus lors des missions sur le terrain.

## Résumé

La présente étude a pour objectif principal d'appréhender les modifications qui ont pu affecter l'évolution morphologique et sédimentologique de l'estuaire et du delta du Sénégal, suite à la mise en eau du barrage de Diama. Elle a été effectuée de décembre 1997 à avril 1999. Deux méthodes d'analyses ont été adoptées.

L'analyse morphologique a permis de mettre en évidence :

- Une augmentation de la profondeur du chenal en allant vers l'amont et une diminution de la largeur qui s'accompagne d'une accentuation des pentes.
- Des profils bathymétriques très irréguliers vers l'embouchure avec des flancs généralement dissymétriques en aval du barrage de Diama.
- Des phénomènes d'érosion sur les flancs du chenal et les berges, généralement en aval du barrage. Cette érosion est particulièrement observée en fin de saison des pluies.
- Un engraissement relativement faible au milieu du chenal, dans la partie aval du barrage ; cet engraissement s'est fortement accentué dans la partie amont sous l'effet du piégeage des sédiments par le barrage de Diama.

L'analyse sédimentologique a permis de mettre en évidence :

- Des sédiments généralement sableux coquilliers vers l'embouchure ; ces sables sont à grains moyens et homogènes, ce qui indique la prédominance des apports marins à ce niveau. La fraction fine faiblement représentée, se localise au milieu du chenal avec une prédominance des argiles par rapport aux silts.
- Des sédiments plus vaseux notamment au milieu du chenal, avec des sables fins à très fins et plus hétérogènes dès qu'on remonte le bief estuarien. Ces sables deviennent plus grossiers vers les rives en fin de saison des pluies. Les teneurs en fraction fine s'accroissent en amont du barrage sous l'effet du piégeage, avec également une augmentation des teneurs en silts.

L'impact du barrage de Diama sur l'évolution morphosédimentaire de l'estuaire et du delta du fleuve Sénégal peut se résumer à :

- un recul des berges et un approfondissement du chenal aux environs du barrage, liés à l'ampleur et à la fréquence des lâchers d'eau pendant la saison des pluies ;
- une augmentation de la taille des sédiments dans le bief aval de l'estuaire et notamment au niveau des zones d'érosion ;
- une accentuation de l'effet d'envasement en amont du barrage, liée à la fermeture des vannes durant la majeure partie de l'année.

**Mots clés : Fleuve Sénégal, Diama, Barrage, chenal, berge, versant, profil topographique, profil bathymétrique, érosion, accumulation.**



## INTRODUCTION

Les deltas et les estuaires sont des environnements littoraux qui, depuis toujours ont attiré l'activité humaine. Cependant, jusqu'au siècle dernier les mécanismes naturels de leur fonctionnement n'étaient guère modifiés par l'action anthropique. Tout a changé à partir du XIX<sup>ème</sup> siècle et spécialement dans les pays industrialisés où a été mis en marche un processus continu et progressif d'intervention humaine qui a introduit de profonds changements dans leur hydrologie, leur morphologie et leur sédimentologie.

Le delta et l'estuaire du fleuve Sénégal n'ont pas échappé à ces phénomènes avec la construction de deux barrages en vue de la mise en valeur de la vallée :

- le barrage de Diama est édifié au Sénégal en 1985, à 50 km de l'embouchure ;
- le barrage de Manantali est construit en 1988 sur le Bafing au Mali, à quelques 1200 km de l'embouchure.

L'achèvement des travaux et la mise en eau du barrage de Diama en novembre 1985, correspond à l'artificialisation du système hydrologique du fleuve Sénégal.

Aujourd'hui, l'évolution morphologique et sédimentologique du delta et de l'estuaire du fleuve Sénégal subit de plus en plus les contrecoups des travaux d'aménagement aux conséquences parfois inattendues. Parmi les conséquences déjà observées on peut noter :

- une accumulation d'une quantité plus ou moins importante d'alluvions fluviales dans la zone de retenue du barrage (Sall et Kane, 1993);
- une prédominance d'un régime actuel d'érosion dans le chenal en aval du barrage de Diama (Diouf *et al.*, 1990 ; Kane et Barousseau, 1993).

Les modifications du régime hydrologique se répercutent sans cesse sur la dynamique fluviale et pourraient causer des problèmes économiques et sociaux (Michel, 1990). Dès lors, un programme de suivi régulier de l'évolution morphosédimentaire de l'estuaire et du delta du fleuve Sénégal s'impose.

L'objectif de ce travail est de caractériser les modifications morphologiques et sédimentologiques qui ont pu affecter cette partie aval du fleuve, durant une période allant de décembre 1997 à avril 1999.

Le présent mémoire est organisé en deux grandes parties :

- Dans la première partie, nous présentons la zone d'étude avant d'exposer ensuite la méthodologie d'étude utilisée.
- Dans la deuxième partie, nous présentons les résultats obtenus ; d'abord ceux de l'analyse morphologique et ensuite ceux de l'analyse sédimentologique.

**PREMIERE PARTIE :**  
**GENERALITES ET METHODOLOGIE D'ETUDE**

## CHAPITRE I : CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

L'estuaire et le delta du fleuve Sénégal sont situés au nord-ouest du pays entre les méridiens 15°40' et 16°35' de longitude ouest, et les parallèles 15°45' et 16°35' de latitude nord (Fig.1). Ils recouvrent dans leur majeure partie des formations du Quaternaire, appartenant au vaste bassin sédimentaire sénégal-mauritanien, qui est le plus occidental des bassins du littoral ouest-africain.

### I. Cadre géologique et géomorphologique

#### 1. Cadre géologique

Avec une superficie de l'ordre de 340 000 km<sup>2</sup>, le bassin sénégal-mauritanien s'étend sur 1400 km de long, du Nord du Cap Barbas en Mauritanie, au Sud de Bissau en Guinée Bissau. Sa plus grande largeur se situe à la latitude de Dakar avec 560 km.

Le fleuve Sénégal principale cours d'eau de la partie nord du pays, a entaillé des dépôts éocènes et quaternaires avant de rejoindre l'océan atlantique.

#### 1.1. L'Eocène

L'Eocène, au Sénégal est constitué par les faciès carbonatés de l'Eocène inférieur et moyen et les dépôts argilo-sableux de l'Eocène supérieur.

Au début d'une grande période de régression marine, le fleuve a entaillé profondément le soubassement rocheux d'âge Eocène aux environs de Richard-Toll, puis a déposé des alluvions graveleux (Michel, 1959). Ces dépôts d'âge Eocène inférieur sont partiellement érodés au voisinage de l'anticlinal du lac de Guiers (Monciardini, 1965). Ils sont essentiellement représentés par des faciès biochimiques, constitués par une alternance de lithofaciès allant des argiles aux calcaires. Ces calcaires dolomitiques sont surmontés de 40 m de dépôts quaternaires à l'ouest de Richard-Toll (Michel, 1967).

Aux environs de Bogué, le Quaternaire repose sur les argiles jaunes feuilletées de l'Eocène moyen par l'intermédiaire d'une cuirasse ferrugineuse provenant du démantèlement des buttes du Continental Terminal. L'Eocène supérieur est absent (Monciardini, 1965).

#### 1.2. Le Pléistocène

Le Quaternaire du bassin sénégal-mauritanien est relativement bien connu au Pléistocène. Le Pléistocène inférieur (1 000 000 à 750 000 ans BP) est peu connu dans le bassin.

L'Aouijien (125 000 à 70 000 ans BP) correspond à une période plus ou moins humide, marquée par la transgression marine la plus ancienne observée dans le Quaternaire du bassin sénégal-mauritanien (Diouf et Fall, 1998). Au Sénégal cet épisode transgressif est représenté par des grès calcaires à stratifications entrecroisées à faune riche en foraminifères, Elouard *et al.*, (in Diouf, 1989). Il est encadré par deux épisodes arides correspondant à des régressions marines :

- l'Akcharien (1 000 000 ans BP) ;
- l'Ogolien I (70 000 à 40 000 ans BP).

L'Inchirien (40 000 à 30 000 ans BP), correspond à l'épisode transgressif le mieux connu du Pléistocène au Sénégal. Le climat redevint humide et le niveau marin se relève jusqu'à -20 m. Cet épisode transgressif est caractérisé par la présence de Beach-rocks et de grès littoraux dans le delta du Sénégal (Diouf et Fall, 1998).

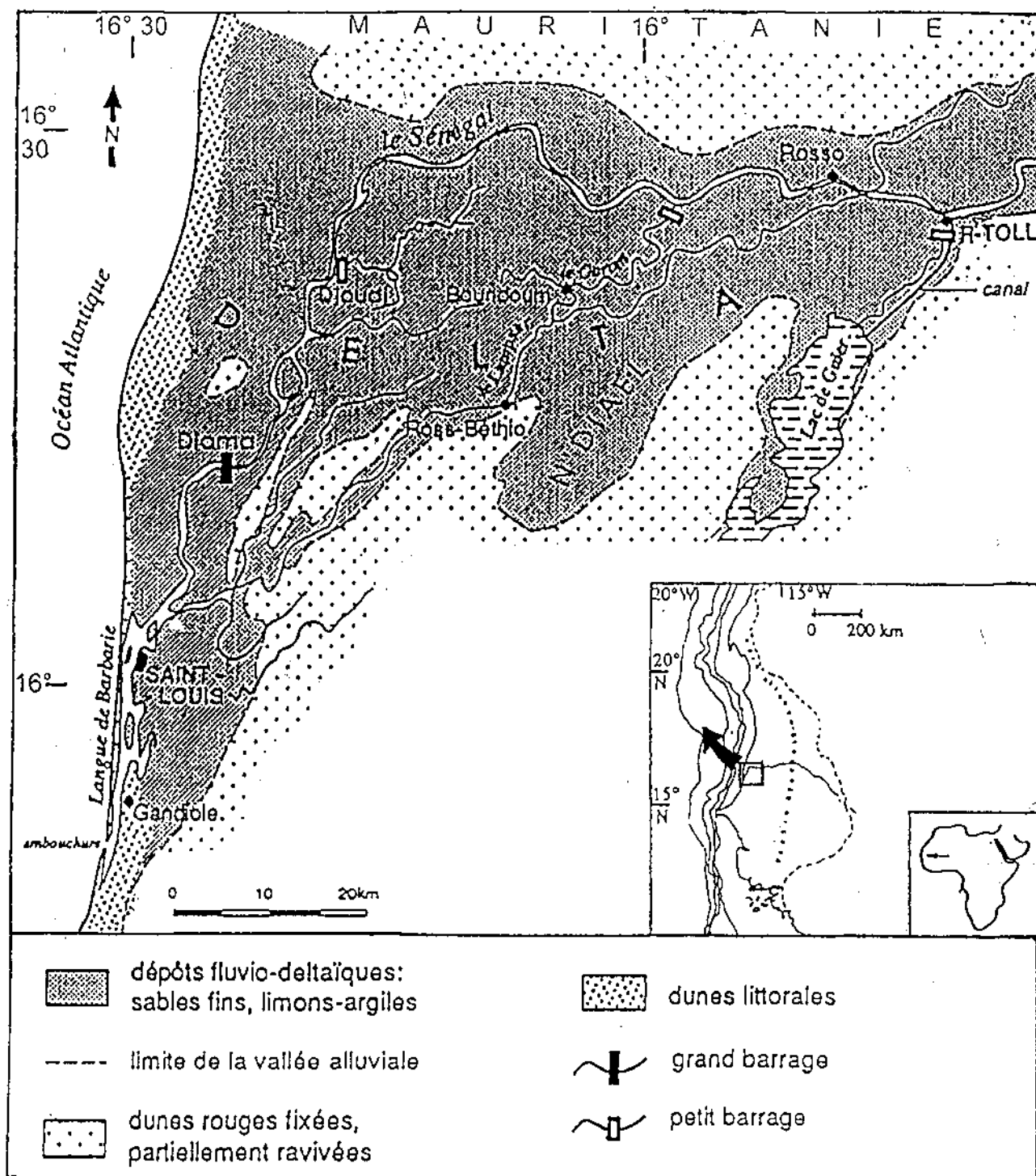


Figure 1 : Localisation du secteur d'étude

Le sommet du Pléistocène est marqué par un épisode aride correspondant à la régression post-inchirienne : l'Ogolien II (20 000 à 12 000 ans BP) Michel, (*in* Diouf et Fall, 1998), au cours duquel le niveau marin atteint -120 m.

### 1.3. L'Holocène

Le Quaternaire récent est de loin la période la mieux connue au Sénégal Lézine ; Fall *et al.*, (*in* Diouf et Fall, 1998).

Le Tchadien (11 000 à 7 000 ans BP) est caractérisé par un climat très humide. Il correspond à un relèvement progressif du niveau marin vers -50 m, ce relèvement s'accompagne dans le bassin sénégalo-mauritanien d'une reprise des précipitations. L'humidification du climat a favorisé :

- la formation de lacs et de marécages dans les dépressions interdunaires des Niayes, entraînant ainsi le dépôt de tourbes ligneuses continentales ;
- la ferruginisation des sols sur les dépôts ogoliens.

Le Nouackchottien (7 000 à 4 000 ans BP), correspond à la transgression marine la plus importante du Quaternaire récent. Au cours de cette période plus humide, le fleuve Sénégal a creusé son lit pour rejoindre l'océan. Cette phase est suivie d'une avancée progressive de la mer dans l'entaille, qui envahit alors la basse vallée (Michel *et al.*, 1968).

Au maximum de la transgression vers 5500 ans BP, la mer a formé un golfe marin qui s'est prolongé jusqu'à Bogué à 250 km de la côte actuelle (Michel, 1967). Cet épisode transgressif déplacera et positionnera le littoral des fonds de -50 m jusqu'à des cotes voisines de celle du niveau marin actuel (Diouf et Fall, 1998).

Le Nouackchottien est caractérisé par des plages à *Anadara senilis* et par une terrasse marine dont le faciès habituel est un sable fin parfois silto-argileux correspondant à la reprise d'un sable dunaire déposé antérieurement (Michel, 1967).

Le Tafolien (4200 à 2000 ans BP), correspond à un épisode régressif au cours duquel, le niveau marin avait à peine baissé en-dessous du niveau actuel. Une importante dérive littorale N-S amenait de grandes quantités de sable (Michel *et al.*, 1968), ainsi se sont formés progressivement des cordons littoraux riches en minéraux d'ilménite, qui auraient isolé des lagunes côtières sursalées.

## 2. Cadre géomorphologique

Au Quaternaire, le bassin sénégalo-mauritanien a connu de nombreux épisodes régressifs marqués sur le continent par la mise en place d'un ensemble de systèmes dunaires (Fig. 1).

### 2.1. Le système dunaire de l'Akcharien

Il se serait mis en place au cours de l'épisode aride anté-aouijien (Diouf et Fall, 1998). Il est marqué par la formation d'ergs dans les régions septentrionales du bassin.

## 2.2. Le système dunaire de l'Ogolien

Ce système ogolien regroupe :

- Les massifs dunaires de l'Ogolien I mis en place au cours de l'épisode aride anté-inchirien. Cette période est marquée par une intensification des actions éoliennes qui seraient à l'origine de la formation de ces massifs dunaires orientés NE-SW. Ces derniers sont moins étendus que ceux de l'Akcharien Michel ; Barbey, (*in* Diouf et Fall, 1998).
- Les massifs dunaires de l'Ogolien II mis en place au cours de l'épisode aride post-inchirien. Ces massifs dunaires formés sur le continent sont orientés NNE-SSW Michel, (*in* Diouf et Fall, *op. cité*).

Ces « dunes rouges » ogoliennes formées au SW de la Mauritanie, constituent actuellement un ensemble de cordons dunaires arasés qui bordent le delta et la vallée du Sénégal. Ils portent des sols subarides brun-rouges, non submersibles qui constituent les terrains du Diéri (Michel, 1990 et 1993). Le long du littoral, ces dunes ogoliennes ont été remaniées au cours de la phase humide du Tchadien. Elles présentent actuellement un modelé particulièrement complexe (Fall, 1986).

## 2.3. Le système dunaire tafolien et subactuel

Pendant la période post-nouakchottienne, le fleuve a édifié en aval de Bogué un delta dans un paysage relativement bas constitué de sables fins, limons-argiles (Fig.1). Ces dépôts fluvio-deltaïques constituent un système de hautes levées, encadré par des cordons dunaires (Michel, 1990 et 1993).

Les dunes tafoliennes, appelées « dunes jaunes » par Tricart (1961), correspondent à d'anciens cordons littoraux orientés N-S selon le sens de la dérive littorale. Elles ont une largeur réduite à l'Ouest. Dans le delta, elles sont masquées par un recouvrement de dunes paraboliques plus récentes de forme et d'orientations différentes (Michel, 1967). Les « dunes blanches » ; semi-fixées par une végétation et en partie ravivées, peuvent être qualifiées de subactuelles. Plus au Sud, dans la région des Niayes, ces dunes vives récentes présentent une morphologie assez complexe. Elles forment une bande large de quelques mètres à quelques centaines de mètres (Fall, 1986).

## 2.4. L'évolution récente

A la fin du Tafolien (2000 ans BP), le niveau marin se relève jusqu'à une cote de +1 à +1,5 m au-dessus du niveau actuel Giresse *et al.*, (*in* Diouf et Fall, 1998). Un climat probablement plus sec que celui de nos jours, favorise le renforcement de l'action éolienne et la formation des dunes littorales plus récentes (Michel *et al.*, 1968).

Au Nord de Saint-Louis, l'avancée de ces dunes paraboliques menaçait les embouchures (Tricart, 1961). Le fleuve s'est détourné progressivement et a pris une direction SSW, liée au déplacement de ses principales embouchures.

Au XVII<sup>ème</sup> siècle, l'embouchure est située dans les environs de Saint-Louis qu'elle atteint avant 1850 (Gac *et al.*, 1981). L'accrétion de sable à l'extrémité du cordon littoral de la Langue de Barbarie a déplacé progressivement l'embouchure vers le Sud. Cette flèche sableuse peu élevée et très mince a connu périodiquement de nombreuses ruptures :

- sept entre 1840 et 1900 ;
- treize entre 1900 et 1981.

Une nouvelle embouchure s'est ainsi formée au nord de l'embouchure précédente située à 27 km au sud de Saint-Louis avant mars 1959 (Michel *et al.*, 1968).

La Langue de Barbarie sépare la mer du fleuve Sénégal, son embouchure instable se situe actuellement à une vingtaine de kilomètres au Sud de Saint-Louis.

## II. Le réseau hydrographique

Le bassin sénégalo-mauritanien est parcouru par quatre artères fluviales majeures qui débouchent sur une côte généralement basse sablonneuse. Ce sont du Nord au Sud : le Sénégal, le Saloum, la Gambie et la Casamance (Fig. 2 A).

Long de 1800 km (Kane, 1985), le fleuve Sénégal est le principal cours d'eau douce de la partie Nord du pays. Il est formé par la rencontre de deux principales rivières dans le haut bassin ce sont :

- le Bafing long de 760 km et qui prend sa source dans le massif du Fouta-Djalou ;
- le Bakoye long de 640 km, et qui prend naissance à proximité de la limite méridionale du plateau Mandingue.

La rive droite reçoit les principaux affluents dont la Kolombiné, le Karokoro et le Gorgol alors que la Falémé est le seul affluent de la rive gauche (Fig. 2 A).

La grande vallée alluviale du Sénégal s'étire sur 430 km de Bakel à Richard-Toll, sa largeur varie de 10 à 25 km. Elle augmente considérablement à l'aval dans la région du Delta (Michel, 1990 et 1993).

Le delta du fleuve Sénégal est occupé par des dépressions dont la plus importante est le lac de Guiers situé sur la rive gauche. Il communique actuellement avec le chenal principal par le canal de la Taoué creusé en 1974. Dans le delta, le fleuve a de nombreux méandres et reçoit plusieurs marigots parmi lesquels, le Garack sur la rive droite, le Diovol, le Gorom et le Djoudj sur la rive gauche (Fig. 2 B).

En aval de Diama, existe tout un système de tributaires dont le Djeuss, affluent barré à la hauteur de Dakar-Bango par un pont barrage et le Thiallakh, bras de l'estuaire qui s'isole à proximité de la Langue de Barbarie au Nord de Saint-Louis (Fig. 2 B). Entre Saint-Louis et l'embouchure, l'estuaire est bordé sur la rive gauche par tout un système lagunaire (Bâ, 1992).





### III. Etat des études antérieures

Depuis la mise en eau des barrages de Diama et de Manantali, de nombreuses études ont été menées dans la vallée, le delta et l'estuaire du Sénégal. Elles ont pour objectif d'appréhender les effets éventuels de ces aménagements sur l'évolution morphologique et sédimentologique du lit du fleuve Sénégal.

Du point de vue morphologique, les études antérieures (Diouf *et al.*, 1990 ; Kane *et al.*, 1990 ; Kane et Barousseau, 1993 et Sall et Kane, 1993) ont montré que l'évolution du lit du fleuve Sénégal est contrôlée à la fois par la crue de la Falémé et par l'ampleur et la fréquence des lâchers d'eau au niveau des barrages.

Dans la vallée, la baisse généralisée des surfaces inondées s'est accompagnée d'une intensification du ravinement des levés et d'une tendance à la régularisation du sapement des berges. La zone de retenue du barrage est caractérisée par un stockage et un empilement de la matière en suspension (Sall et Kane, 1993).

Dans le bief aval de l'estuaire, les profondeurs du chenal varient en fonction de la distance de l'embouchure. Le chenal est caractérisé par un régime actuel d'érosion qui n'est pas uniforme dans l'espace et dans le temps (Diouf *et al.*, 1990 ; Kane et Barousseau, 1993). Cependant, à l'embouchure, la profondeur du chenal se modifie continuellement à cause du déplacement fréquent de la barre sableuse (Kane, 1985).

Du point de vue sédimentologique, l'essentiel des études (Monteillet *et al.*, 1990 ; Kane *et al.*, 1990 ; Kane et Barousseau, 1993), ont montré que les nouvelles conditions hydrologiques déterminent une dynamique fluviale qui conditionne actuellement une évolution sédimentologique particulière dans l'estuaire du Sénégal.

La diminution de la fraction grossière ( $> 50\mu\text{m}$ ), s'accompagne d'une réduction de la taille des grains de sable vers l'amont. Ces matériaux sont généralement plus coquilliers et plus homogènes vers l'aval (Monteillet *et al.*, 1990).

La fraction fine ( $< 50\mu\text{m}$ ) est faiblement représentée dans les sédiments vers l'embouchure, avec des teneurs assez élevées en argiles. Vers l'amont, en liaison avec des conditions hydrodynamiques plus calmes surtout en saison sèche, elle atteint des teneurs assez élevées avec la prédominance des silts (Kane *et al.*, 1990 ; Kane et Barousseau, 1993).

L'augmentation de la pluviométrie pendant ces dernières années, a tendance à se répercuter sur le fonctionnement du barrage de Diama. Ce qui induit sans cesse des modifications sur l'évolution morphologique et sédimentologique du delta et de l'estuaire du Sénégal. C'est pour ces raisons qu'un programme d'études de suivi régulier a été entrepris, afin de mieux appréhender l'évolution morphosédimentaire de cette partie aval du fleuve Sénégal

#### IV. Les facteurs de la morphogénèse

##### 1. Les facteurs climatiques

##### 1.1. La pluviométrie

Stations	Total annuel (mm)				
	1986	1987	1988	1989	1990
Podor	246	201	310	340	132
Richard -Toll	204	132	236	237	187

Tableau 1: Variation de la pluviométrie annuelle au nord du Sénégal (d'après Bâ, 1992 )

Le bassin du Sénégal est caractérisé par un climat de type tropical humide, les précipitations mensuelles atteignent partout un maximum dans l'année entre juillet et septembre. La pluviométrie détermine le type de climat ; selon Kane (1985), on distingue :

- un domaine tropical de « transition », entre les isohyètes 2000 mm et 1500 mm. La durée de la saison des pluies est de 8 mois ;
- un domaine tropical « pur » entre les isohyètes 1500 et 750 mm. La saison des pluies a une durée de 5 mois ;
- un domaine sahélien en-dessous de 750 mm. La durée de la saison des pluies est d'environ 3 mois ;
- le Delta appartient à un domaine subcanarien dont la saison des pluies a une durée de 2 à 3 mois.

Cependant, depuis le début de la sécheresse en 1968 (Bâ, 1992), la diminution de la pluviométrie s'accompagne d'un raccourcissement de la saison des pluies suivant les années (Tab. 1).

##### 1.2. Les vents

Le bassin du fleuve Sénégal se situe dans la zone d'influence du Front Intertropical (F.I.T.). Les vents sont caractérisés exclusivement par les alizés maritimes et continentaux pendant la saison sèche. Pendant la saison des pluies, la mousson s'installe sur l'ensemble du bassin du Sénégal. Des vents locaux apportent des nuances climatiques (Kane, 1985).

Dans le domaine continental, des vents de sable sont fréquents pendant la saison sèche. En effet, sous l'action de la sécheresse et de la pression anthropique, les vents se sont intensifiés de 1979 à 1989. Des vitesses maximales supérieures à 20m/s sont enregistrées seulement pendant la période allant de 1985 à 1989 (Sall, 1993).

Dans la vallée, l'ablation et le transport particulaire se sont accentués en liaison avec un accroissement à la fois des vitesses et de la turbulence du vent. Le paysage du moyen Delta est une mosaïque d'aires de déflation et de champs de nebkas. Les actions éoliennes se révèlent déterminantes dans la formation et l'extension de ces champs de nebkas (Sall, 1993).

##### 1.3. Les températures

Les températures augmentent globalement du sud vers le nord et de la côte vers l'intérieur du bassin. La moyenne annuelle est élevée mais les températures mensuelles varient largement avec des maxima observées pendant les mois qui précèdent la saison des pluies. Les températures les plus faibles s'observent aux mois de janvier - février (Reizer, 1974).

Le delta est sous l'influence océanique, avec la présence de l'alizé maritime qui contribue à l'atténuation des températures pendant la saison sèche. Pendant la saison des pluies, s'installe la brise de mer : vent diurne, léger et doux. Fréquent en début d'après-midi, il contribue à rafraîchir le climat (Kane, 1985).

#### **1. 4. L'évaporation**

Elle est minimale pendant la saison des pluies et atteint une intensité maximale durant la saison sèche entre les mois de mars et de mai.

La quantité moyenne d'eau évaporée par an est de l'ordre de 2360 mm et par conséquent, l'évaporation ne peut être compensée par la pluviométrie (environ 200 mm/an) (Bâ, 1992). Ainsi la vallée du fleuve Sénégal est soumise à un fort déficit hydrométrique pendant la saison sèche. Par contre, dans le delta, l'évaporation est plus faible à cause des températures plus fraîches qui règnent sur le littoral (Kane, 1985).

#### **2. Les facteurs anthropiques**

Sous l'effet de la sécheresse, l'extension de l'intrusion saline vers l'amont était devenue un problème majeur pour les populations de la basse vallée du fleuve Sénégal. La remontée de la langue salée jusqu'à 300 km environ de l'embouchure a entraîné, après de nombreuses études menées par l'O.M.V.S, la construction du barrage anti-sel de Diama. Plus tard, le barrage de Manantali, réservoir d'eau pour les cultures de décrue est construit sur le Bafing.

##### **2.1. Le barrage anti - sel de Diama**

Ce barrage fonctionne depuis 1985. Il a été édifié à 50 km en amont de l'embouchure, son objectif principal est :

- d'arrêter la remontée des eaux salines dans le lit du fleuve pendant la saison des basses-eaux (de janvier à juillet) ;
- de créer un réservoir d'eau douce en amont et d'améliorer les conditions de remplissage des réservoirs d'eau secondaires (le lac de Guiers, le lac Rkiz et l'Aftout es Saheli).

Les vannes sont fermées pendant la saison sèche de novembre à juin et ouvertes progressivement après les premières pluies de juin-juillet afin de garder un niveau d'eau constant en amont, nécessaire pour les cultures de décrue et pour l'irrigation (Fig. 3).

##### **2.2. Le barrage de Manantali**

Ce barrage fonctionne depuis 1988. Il a été construit sur le Bafing à quelques 1200 km de l'embouchure. C'est un réservoir d'eau et son objectif principal est d'assurer :

- l'irrigation des terres cultivées dans la vallée,
- la navigabilité du fleuve Sénégal de Saint-Louis à Kayes pendant toute l'année,
- la production d'énergie électrique pour les Etats membres de l'O.M.V.S.

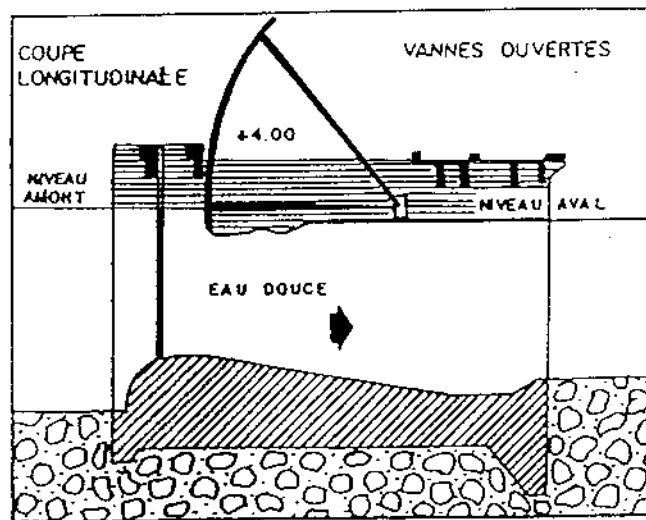
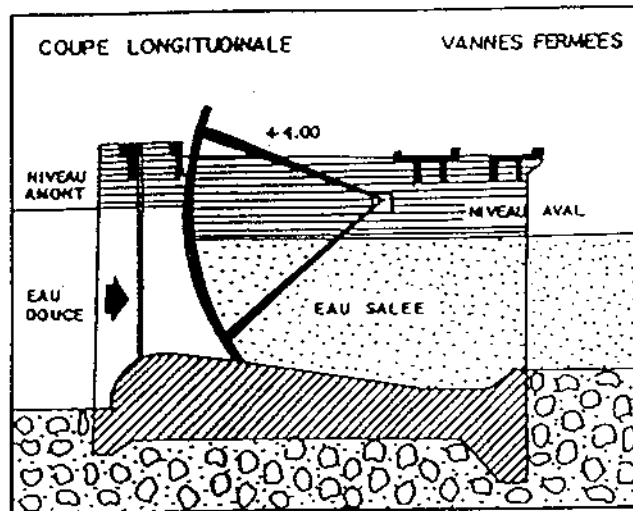


Figure 3 : Schéma de fonctionnement du barrage de Diama (d'après Bâ, 1992)

L'aménagement global de la vallée à la suite de l'achèvement des deux barrages pose beaucoup de problèmes économiques et sociaux. Les modifications du régime hydrologique se répercuteront sans cesse sur la dynamique fluviale (Michel, 1990).

### **3. Les facteurs hydrodynamiques**

#### **3.1. Le régime de l'avant - barrage**

Le régime hydrologique naturel du fleuve Sénégal est de type tropical humide (Frécaut, 1982 ; Kane, 1985). Il est caractérisé par une seule saison annuelle de crue (entre juin-juillet et octobre-novembre), avec des débits pouvant atteindre  $5000\text{m}^3/\text{s}$ . Les étiages sont très prononcés et les débits peuvent descendre en-dessous de  $5\text{m}^3/\text{s}$  (Reizer, 1974).

Les variations de turbidité sont très nettes. En période de crue la turbidité est extrêmement élevée et la charge solide peut dépasser  $200\text{mg}/\text{l}$ , par contre pendant les étiages, la charge solide chute et atteint  $10\text{mg}/\text{l}$  environ (Kane, 1985).

Dans l'estuaire, la marée est de type semi-diurne, l'onde de marée a une forme sinusoïdale et le jusant a la même durée que le flot. Vers l'amont, la marée devient dissymétrique, le jusant devient plus long que le flot.

Pendant les périodes d'étiage, sous l'effet du marnage la langue saline peut se ressentir jusqu'à  $450\text{km}$  en amont (Kane, 1985). Pendant les périodes de crue, l'eau douce s'installe d'une manière générale dans toute la vallée du Sénégal.

#### **3.2. Le régime de l'après-barrage**

Le régime artificiel dépend des pluies dans le haut bassin et du fonctionnement des barrages de Diama et de Manantali avec alternance de hautes-eaux et basses-eaux régulées par les barrages (Bâ, 1992).

Dès lors, la fermeture des vannes du barrage de Diama pendant l'étiage empêche simultanément, pendant huit mois de l'année, les échanges entre les eaux continentales et les eaux marines qui définissent le domaine paralytique. Toutefois, les lâchers effectués d'eau pendant les crues permettent un mélange des eaux.

L'absence de zone d'échanges pendant la saison sèche se traduit par une accumulation de sels nutritifs à l'amont du barrage, par oxydation de la matière organique qui appauvrit considérablement le milieu en oxygène dissous. Tandis qu'à l'aval du barrage les teneurs en oxygène dissous restent encore élevées (Bâ, 1988).

D'une manière générale, en période d'étiage les teneurs en charge solide varient d'environ  $20\text{mg}/\text{l}$ . Elles sont sensiblement plus élevées en amont du barrage de Diama que dans l'estuaire (Bâ, 1993) ; en période de crue, ces particules fines sont remises en suspension et peuvent atteindre un maximum de  $400\text{mg}/\text{l}$ .

Depuis la mise en eau du barrage de Diama, on s'attendait à un fonctionnement inverse de l'estuaire du Sénégal du fait que tous les émissaires des bras principaux ainsi que le fleuve sont barrés. Cependant, malgré la fermeture des vannes pendant les huit mois de l'année, la salinité diminue vers l'amont et le jusant semble prédominant sur le flot. Ceci traduit un fonctionnement dynamique normal de l'estuaire en aval du barrage de Diama (Diop, 1990).

Toutefois au cours des lâchers d'eau effectués pendant la saison de pluies, le flot devient à peine perceptible et la vitesse du jusant devient plus élevée en surface que sur le fond. Cependant, le flot reste toujours prédominant sur le fond à l'embouchure (Bâ, 1992).

## CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODOLOGIE D'ETUDE

### I. Acquisition des données sur le terrain

Elle est effectuée au cours de campagnes dont le nombre varie en fonction des changements météorologiques majeurs : 2 à 3 campagnes par an. Au cours de notre étude, l'évolution morphologique et sédimentologique du delta et de l'estuaire du fleuve Sénégal est suivie pendant les deux principales saisons climatiques de l'année, en fin de saison des pluies (novembre-décembre) et en saison sèche (avril-mai). Ce suivi a été réalisé durant une période allant de décembre 1997 à avril 1999.

#### 1. Données morphologiques

Le suivi topobathymétrique s'appuie sur des stations permanentes implantées en remontant le fleuve depuis l'embouchure jusqu'à Richard-Toll situé à 160 km environ en amont (Fig. 4).

Chaque station est représentée par une borne repère constituée par un tube pvc de 60 cm environ enfoncée à 50 cm de profondeur et coulée dans du béton. Une tige métallique dépassant de 5 à 10 cm est placée au centre du tube bétonné, elle sert de repère fixe pour les opérations de relevé topobathymétrique. L'ensemble est peint en rouge pour un meilleur repérage.

##### 1.1. Le suivi topographique

Il est effectué à l'aide d'un géodimètre à rayon laser placé au niveau de la borne repère de chaque station. L'appareil permet de définir un angle par rapport à un repère fixe, angle qui sera le même durant toute la période de surveillance afin de permettre une comparaison rigoureuse des profils dans le temps. L'orientation de chaque profil est approximativement normale à la rive.

Le réflecteur est déplacé par un porteur qui marque à chaque fois les changements de pente. La distance et la dénivelée par rapport à la borne repère sont obtenues par lecture directe sur le géodimètre.

##### 1.2. Le suivi bathymétrique

Pour la réalisation des profils submergés, le géodimètre est utilisé pour mesurer les distances par rapport à la borne repère. Les profils bathymétriques sont enregistrés par un sondeur Fuso-150, installé dans une pirogue. L'opérateur matérialise toutes les 15 secondes, sur le papier sondeur, des « tops » qui marquent les profondeurs correspondant aux distances lues sur le géodimètre.

#### 2. Données sédimentologiques

Elles sont obtenues par échantillonnage le long de chaque profil et suivant les variations de profondeur. Les prélèvements de sédiments du fond, exécutés à la benne, sont réalisés généralement sur les deux rives et au milieu du chenal.

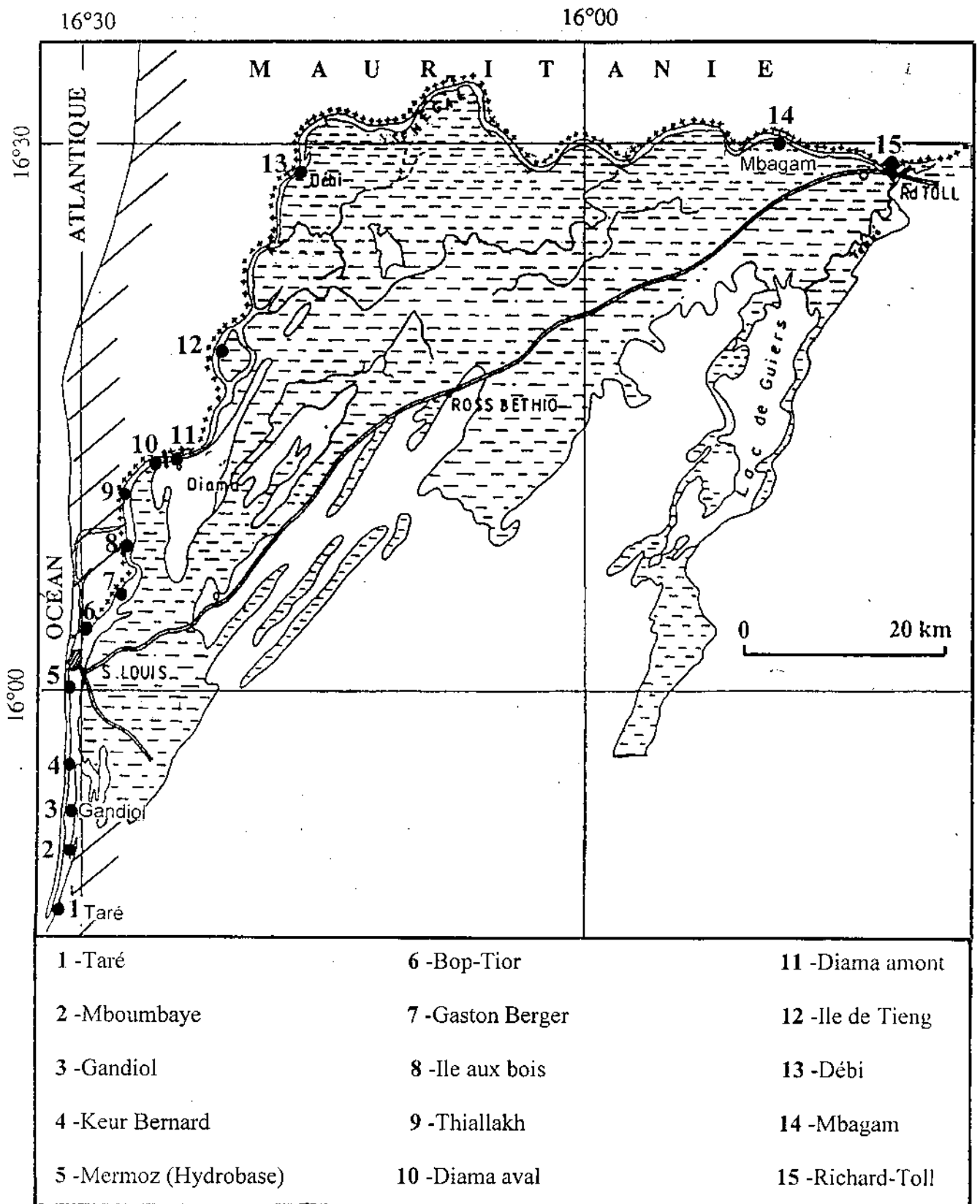


Figure 4 : Localisation des stations

## II. Traitement des données au laboratoire

### 1. Données morphologiques

Pour les profils aériens, grâce à l'utilisation du logiciel Excel, les résultats obtenus sont représentés par un graphe qui indique la variation de la surface topographique en fonction de la distance lue sur le géodimètre.

Le dépouillement des profils bathymétriques permet d'établir une courbe distance/profondeur qui illustre la morphologie des fonds qu'on relie ensuite aux données des profils en domaine émergé pour obtenir des profils topobathymétriques.

Pour chaque profil des pentes moyennes ont été exprimées en pourcentage selon la formule :

$$P(\%) = (\Delta H / \Delta D) \times 100 \quad \text{avec} \quad H = \text{dénivelée (m)} \quad \text{et} \quad D = \text{distance (m)}.$$

### 2. Données sédimentologiques

Une fois au laboratoire, les échantillons de sédiments sont lavés. Le lavage est réalisé par tamisage sous l'eau à l'aide d'un tamis de 50 $\mu$ m, de manière à ce que la fraction fine soit séparée de la fraction grossière. Chaque fraction est séchée à l'étuve à 50°C.

#### 2.1. Granulométrie des sables (fraction > 50 $\mu$ m)

Les fractions grossières séchées sont ensuite granulométriquement caractérisées par une colonne de 18 tamis de Norme AFNOR allant de 2mm à 0,04mm.

Pour chaque échantillon, un poids de 100 grammes au maximum fera l'objet du tamisage. L'intensité vibratoire de la tamiseuse est maintenue constante et la durée de tamisage pour chaque échantillon est de 15mn. Cependant, il est souvent nécessaire de diviser la colonne en deux parties.

Après le tamisage, les refus cumulés sont pesés et les valeurs obtenues sont reportées sur une fiche de tamisage. Ces valeurs pondérales sont ensuite converties en pourcentage et l'utilisation du logiciel Excel, nous a permis de tracer pour chaque échantillon une courbe cumulative sigmoïde en coordonnées semi - logarithmiques.

##### 2.1.1. Paramètres granulométriques de Folk et Ward (1957)

Les courbes cumulatives obtenues ont permis de déterminer un certain nombre de paramètres de position correspondant aux quartiles suivants :

$$Q_5 - Q_{16} - Q_{25} - Q_{50} - Q_{75} - Q_{84} - Q_{95}. \text{ (en unités } \phi \text{), avec}$$

$$\phi = \text{Colog}_2 d ; d \text{ étant le diamètre des grains (en mm)}$$

Les paramètres sédimentologiques sont calculés à partir de ces différents quartiles, en utilisant les formules de Folk et Ward (1957).

- **Médiane** :  $Q_{50}$  est la dimension des particules telle que 50% est plus fin et 50% plus grossier.



$$\text{- Moyenne : } M_z = \frac{Q_{16} + Q_{50} + Q_{84}}{3} \quad (\varphi)$$

La moyenne correspond au diamètre moyen des particules, le type de sable est déterminé en utilisant la classification de Wentworth (Tab. 2)

	2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,002	Diamètre (mm)
	Sable très Grossier	Sable grossier	Sable moyen	Sable fin	Sable très fin	Silts	Argile	
-1	0	1	2	3	4	9	Diamètre ( $\varphi$ )	

Tableau 2 : Classification granulométrique de Wentworth

**- Indice de Triage ou Déviation Standard de Folk et Ward**

$$\sigma_i = \frac{Q_{84} - Q_{16}}{4} + \frac{Q_{95} - Q_5}{6,6}$$

L'indice de triage détermine le degré de classement des matériaux ; plus  $\sigma_i$  est faible meilleur est le classement (Tab. 3).

**- Indice d'Asymétrie ou Skewness**

$$S_K = \frac{(Q_{16} + Q_{84}) - 2 Q_{50}}{2(Q_{84} - Q_{16})} + \frac{(Q_5 + Q_{95}) - 2 Q_{50}}{2(Q_{95} - Q_5)}$$

L'indice d'asymétrie détermine le degré d'étalement des matériaux par rapport à la médiane. L'asymétrie prend des valeurs négatives lorsque l'étalement se fait du côté des sédiments grossiers et des valeurs positives lorsqu'il se fait du côté des sédiments fins (Tab. 3).

**- Indice d'Acuité ou Kurtosis**

$$K_G = \frac{(Q_{95} - Q_5)}{2,44(Q_{75} - Q_{25})}$$

L'Indice d'Acuité mesure le degré d'angulosité d'une distribution par rapport à la normale, elle est dite platykurtique lorsque la courbe de fréquence est aplatie, leptokurtique lorsqu'elle est aiguë et mésokurtique lorsque la distribution est proche de la normale (Tab. 3)

Classement ( $\sigma_1$ )		Asymétrie ( $S_k$ )	Kurtosis ( $K_G$ )
Très bien classé	0,35	Très négative -1,00	Très platykurtique 0,67
Bien classé	0,50	Négative -0,30	Platykurtique 0,90
Moyennement classé	1,00	A peu près symétrique -0,10	Mésokurtique 1,11
Mal classé	2,00	Positive +0,10	Leptokurtique 1,50
Très mal classé	4,00	Très positive +0,30	Très leptokurtique 3,00
		+1,00	

Tableau 3 : Signification de quelques paramètres granulométriques des sables (d'après Folk et Ward, 1957)

### 2.1.2. Homogénéité des matériaux

L'allure de la courbe cumulative permet de déterminer l'homogénéité des matériaux.

- Les courbes unimodales présentent une seule sigmoïde, elles caractérisent la distribution d'une seule population.
- Les courbes plurimodales présentent plusieurs sigmoïdes. Dans ce dernier cas, la distribution est caractérisée par un assemblage de plusieurs populations issues chacune d'un phénomène particulier. Elle est définie par une formule modale :

$$F = M_1 (P_1) + M_2 (P_2) + \dots + M_n (P_n), \text{ avec}$$

$M_1, M_2, \dots, M_n$  étant les modes des différentes populations.

$P_1, P_2, \dots, P_n$  étant leurs pourcentages dans le mélange.

### 2.2. Granulométrie des matériaux fins (fraction < 50 $\mu$ m)

Les matériaux fins (< 50 $\mu$ m), ont fait l'objet d'une analyse microgranulométrique à l'aide d'un sédi-graphe. L'appareil utilise le principe de la sédimentation des particules en suspension basé sur la loi de Stokes. Cette loi exprime la vitesse de chute des particules dans un liquide, chaque particule étant assimilée à une sphère.

$$V = \frac{2r^2}{9} \times \frac{(d_1 - d_2)}{\eta} \times g, \text{ avec}$$

$V$  = vitesse de chute des particules (en secondes).

$R$  = rayon de la particule supposée sphérique.

$d_1$  = densité de la particule.

$d_2$  = densité du liquide de suspension.

$\eta$  = viscosité du liquide.

$g$  = accélération de la pesanteur.

L'analyse granulométrique de la fraction fine a été effectuée au sédigraphe 5100 du Laboratoire de Sédimentologie et de Géochimie Marine de l'université de Perpignan (France).

- Dans un premier temps, une masse de 3 grammes de l'échantillon à analyser est mise dans un flacon de 50ml. On y ajoute 50 cc d'héxamétaphosphate à 1%, le tout est mis sur un agitateur mécanique. Après homogénéisation de la suspension, l'échantillon est passé au Sédigraph 5100.
- L'appareil est connecté à un ordinateur au niveau duquel on crée un fichier comportant les références de l'échantillon (numéro et nom de l'échantillon), le diamètre maximum, le diamètre minimum, la température, la densité et la viscosité du liquide de suspension.

A l'aide d'une pompe, la suspension est passée à travers une cellule à échantillon traversée par un mince faisceau de rayons X. L'intensité des rayons X traversant la cellule, mesure la concentration des particules en suspension à une hauteur de sédimentation diminuant en fonction du temps. Le logarithme de l'intensité des rayons ayant traversé la cellule est représenté en pourcentage cumulatif de masse plus fine sur l'axe des ordonnées (Y). Sur l'axe des abscisses (X), est indiqué en échelle logarithme le diamètre sphérique équivalent correspondant au temps écoulé et à la hauteur de sédimentation.

L'appareil couvre un domaine compris entre 100 et  $0,1\mu\text{m}$ , mais les courbes cumulatives obtenues couvrent un domaine compris dans la classe du sédiment à analyser (entre 50 et  $0,30\mu\text{m}$ ).

Les paramètres de distribution (Médiane et Mode) obtenus à partir des courbes cumulatives et des histogrammes de fréquences, sont donnés directement par l'ordinateur.

- La médiane détermine la dimension des particules telle que 50% est plus fins et 50% plus grossiers.
- Le mode correspond au diamètre de grain le plus fréquent.

**DEUXIEME PARTIE :**  
**PRESENTATION DES RESULTATS**

### CHAPITRE III : ANALYSE MORPHOLOGIQUE

Au cours de l'étude, l'évolution morphologique de l'estuaire et du delta du fleuve Sénégal a été suivie pendant deux saisons climatiques. Ce suivi qui concerne, d'une part la morphologie aérienne et d'autre part la morphologie du chenal, a été réalisé en partant de l'embouchure jusqu'à Richard-Toll (Fig. 4).

En aval de Saint-Louis, où le chenal est limité par des cordons dunaires, les sondages bathymétriques ont été couplés à des levés topographiques. En amont de Saint-Louis, les conditions de levés topographiques n'étaient pas réunies, seuls les sondages bathymétriques ont pu être réalisés.

La comparaison des profils au niveau de chaque station permet d'apprécier les mouvements sédimentaires (érosion - accumulation), mais aussi l'effet des eaux de crue sur la morphologie du chenal.

#### I. Evolution morphologique à l'aval du barrage de Diama

Elle a été suivie sur deux saisons climatiques entre décembre 1997 et avril 1999. Les profils bathymétriques ont été réalisés uniquement pendant la campagne de 1998. L'ensemble des résultats numériques sont représentés dans les tableaux de l'annexe I.

##### 1. Station de Taré (embouchure)

Les profils aériens sont caractérisés par des pentes faibles (Fig. 5 a-b). Sur la rive gauche, le chenal est limité par des cordons dunaires, la pente est d'environ 1,8% (Fig. 5a). Par contre, la rive droite limitée par la flèche sableuse de la Langue de Barbarie, les pentes moyennes sont relativement plus faibles et varient entre 0,6% en juillet 1998 et 0,8% en décembre 1998 (Fig. 5b).

Ces profils topographiques présentent une allure générale irrégulière caractérisée par une alternance de parties concaves et de parties convexes. La comparaison des profils montre une succession de mouvements d'érosion et d'accumulation. Les berges sont dominées par une érosion alors que les cordons dunaires sont le siège d'une accumulation.

Le chenal fluvial est caractérisé par des profils bathymétriques très irréguliers. L'axe du chenal localisé du côté de la rive droite se situe à des profondeurs variant entre 4,5m en juillet 1998 et 5,3m en décembre 1998. Par suite du sapement des berges, sa largeur passe de 409m en juillet à 432m en décembre (Fig.5c).

Le flanc droit du chenal présente des pentes assez fortes variant entre 4,8% en juillet et 5,1% en décembre. Par contre, le flanc gauche est caractérisé par des pentes plus fortes vers le haut du profil (6,6% à 6,7%) devenant faibles vers le bas (1,1% à 1,2%).

La comparaison des profils bathymétriques, montre des mouvements d'érosion au milieu du chenal et sur les berges, alors que le flanc gauche est le siège d'une accumulation (Fig.5 c).

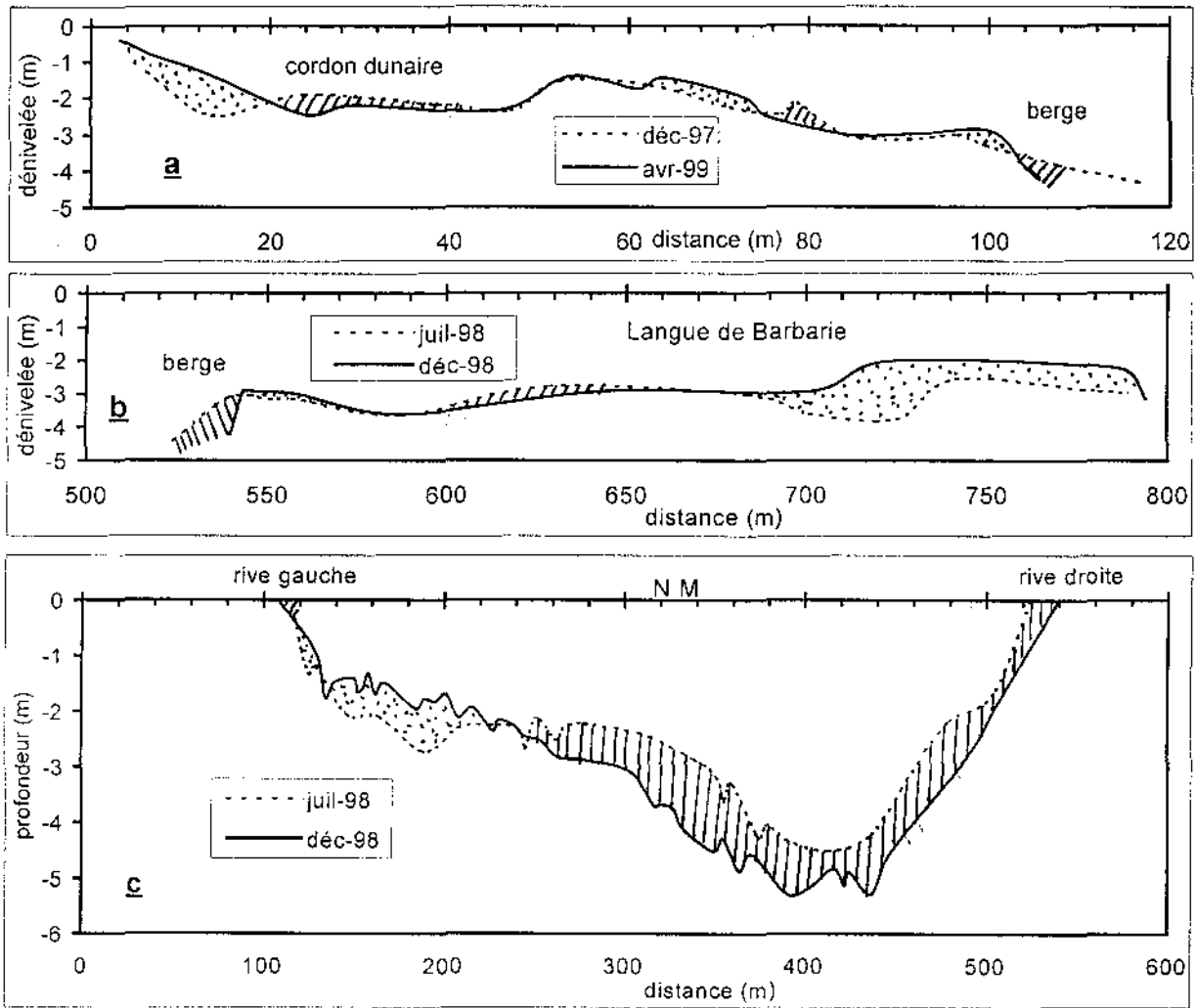


Figure 5 : Comparaison des profils à la station de Taré

- a : Profils topographiques (rive gauche)
- b : Profils topographiques (rive droite)
- c : Profils bathymétriques



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

## 2. Station de Mboumbaye

La rive gauche est toujours bordée par des cordons dunaires comme à l'embouchure (Fig. 6a). Les profils topographiques présentent une allure caractérisée par une alternance de parties concaves et de parties convexes. Le cordon dunaire est caractérisé par des pentes très faibles vers la base, variant entre 0,9% en décembre 1997 et 0,6% en décembre 1998.

La comparaison de ces profils aériens entre décembre 1997 et décembre 1998 montre une alternance de mouvements d'accumulation et d'érosion vers le haut du cordon dunaire. Par contre vers la base, ces mouvements sont relativement équilibrés, alors qu'il y a une très légère accumulation sur la berge.

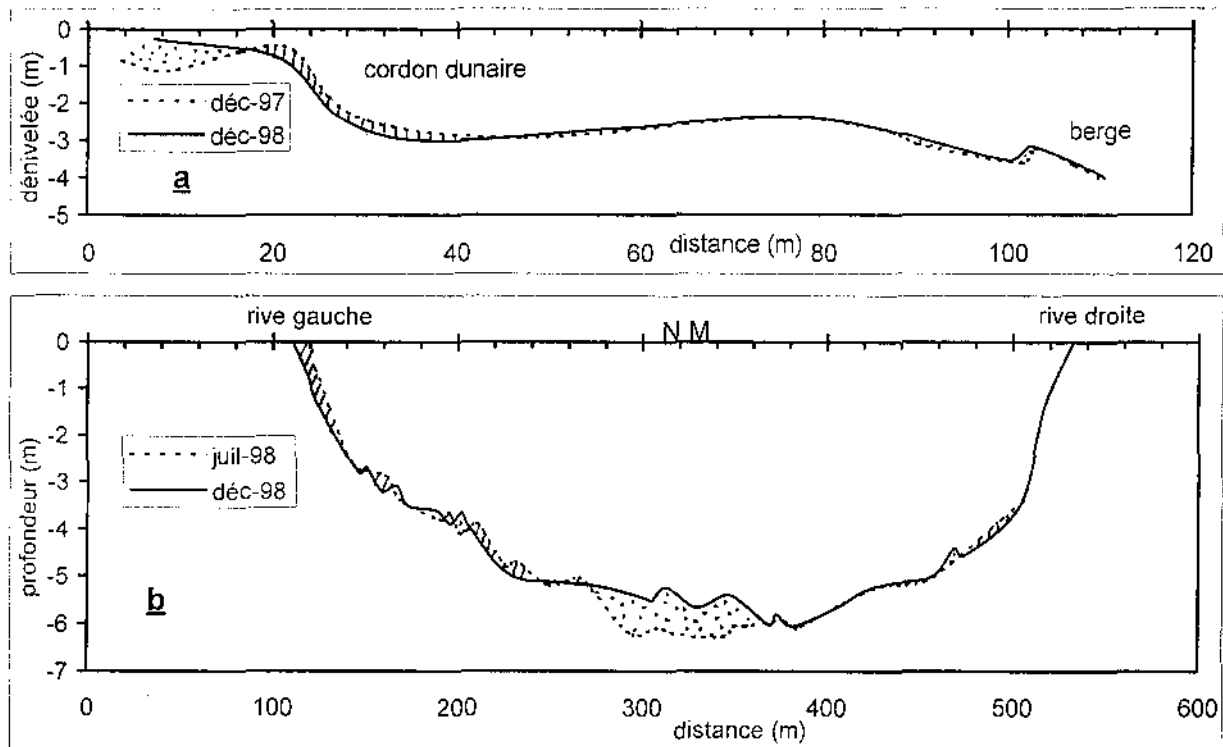


Figure 6 : Comparaison des profils à la station de Mboumbaye

a : Profils topographiques (rive gauche)

b : Profils bathymétriques



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

Le chenal est caractérisé par des profils bathymétriques toujours irréguliers. L'axe du chenal se localise sensiblement au milieu à des profondeurs variant entre 6,2m en juillet 1998 et 6,1m en décembre 1998. La largeur du chenal est de 421m en décembre 1998 (Fig. 6 b).

Le versant de la rive droite plus raide, présente une pente très forte vers le haut du profil en décembre 1998 (12,4%), devenant relativement faible vers le bas (2,1% à 2,2%). Par contre vers la rive gauche, le versant du chenal est caractérisé par des pentes relativement fortes vers le haut du profil (7,9% à 9,9%) devenant faibles vers le milieu du chenal (2,6%).

La comparaison des profils bathymétriques entre juillet et décembre 1998, montre un engraissement au milieu du chenal, alors que les versants sont dominés par des mouvements d'érosion (Fig. 6 b).

### 3. Station de Gandiol

Seule la rive droite a fait l'objet d'une analyse morphologique (Fig. 7a). Elle est limitée par la Langue de Barbarie qui est toujours basse.

En décembre 1997, le profil aérien est caractérisé par une succession de parties concaves et de parties convexes, il présente une pente faible (0,9%). En décembre 1998, il devient relativement rectiligne et présente une pente moyenne plus douce (0,6%), sauf au niveau de la berge où elle devient plus abrupte.

La comparaison des profils topographiques montre une succession de mouvements d'érosion et d'accumulation avec une prédominance des phénomènes érosifs (Fig. 7a).

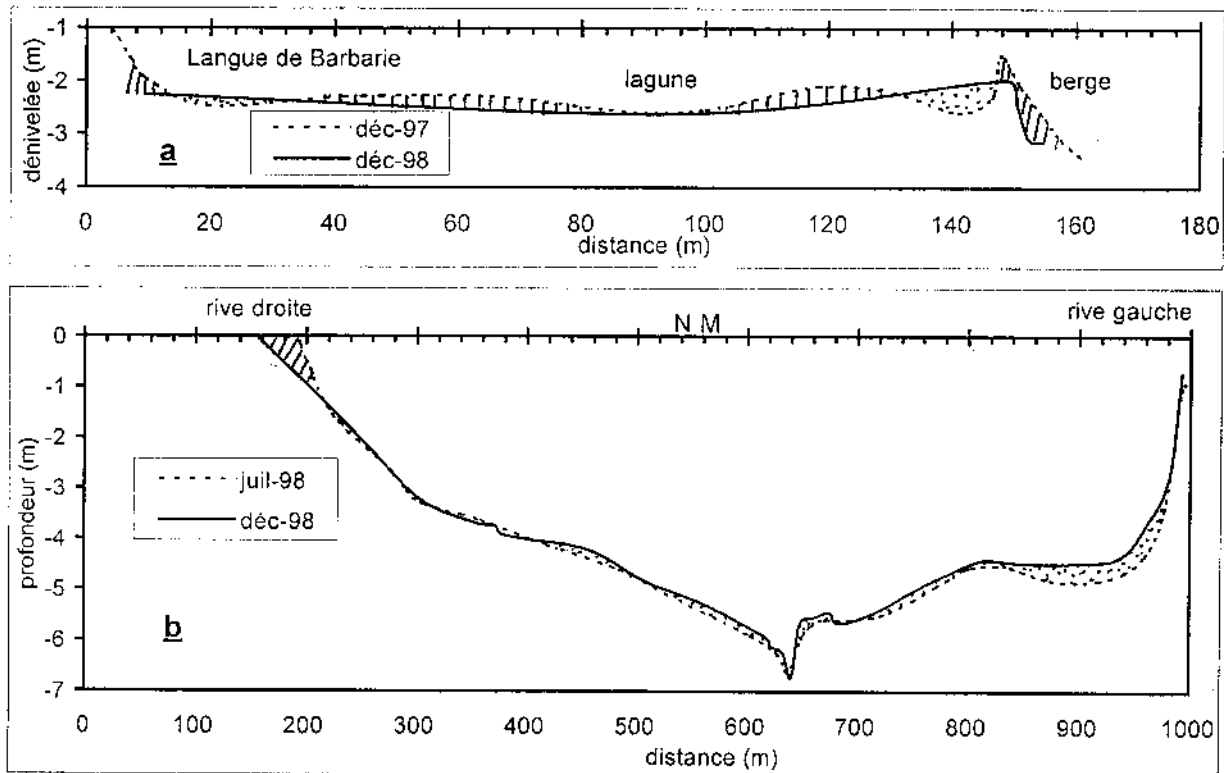



Figure 7 : Comparaison des profils à la station de Gandiol

a : Profils topographiques (rive droite)

b : Profils bathymétriques

 érosion

 accumulation

Le chenal fluvial est caractérisé par des profils bathymétriques toujours irréguliers (Fig. 7 b). L'axe du chenal se localise sensiblement vers la rive gauche, le fond est étroit et présente une forme caractéristique en V. Sa profondeur maximale passe de 6,6m en juillet 1998 à 6,7m en décembre 1998, sa largeur est d'environ 837m en décembre.

Le versant de la rive gauche présente des pentes moyennes fortes vers le haut du profil (9,8% en Juillet et 9,2% en décembre), alors que vers le bas les pentes sont très faibles (0,4% à



0,5%). Le versant de la rive droite est caractérisé par des pentes faibles vers le haut du profil (2,2% à 2,5%) devenant très faible vers le bas (0,9%).

La comparaison des profils bathymétriques entre juillet et décembre 1998 (Fig. 7 b), montre une prédominance de l'accumulation en bas de versant de la rive gauche et au milieu du chenal, sauf au niveau de l'axe où nous avons observé un léger approfondissement dû à l'érosion. Le versant de la rive droite est caractérisé par une alternance de mouvements d'érosion et d'accumulation, avec une accentuation de l'érosion au niveau de la berge. Le versant de la rive gauche, limité par une digue installée en face du phare de Gandiol semble en équilibre.

#### 4. Station de Keur Bernard

Comme à Gandiol, seule la rive droite limitée par les cordons dunaires de la Langue de Barbarie a fait l'objet d'une analyse morphologique (Fig. 8a).

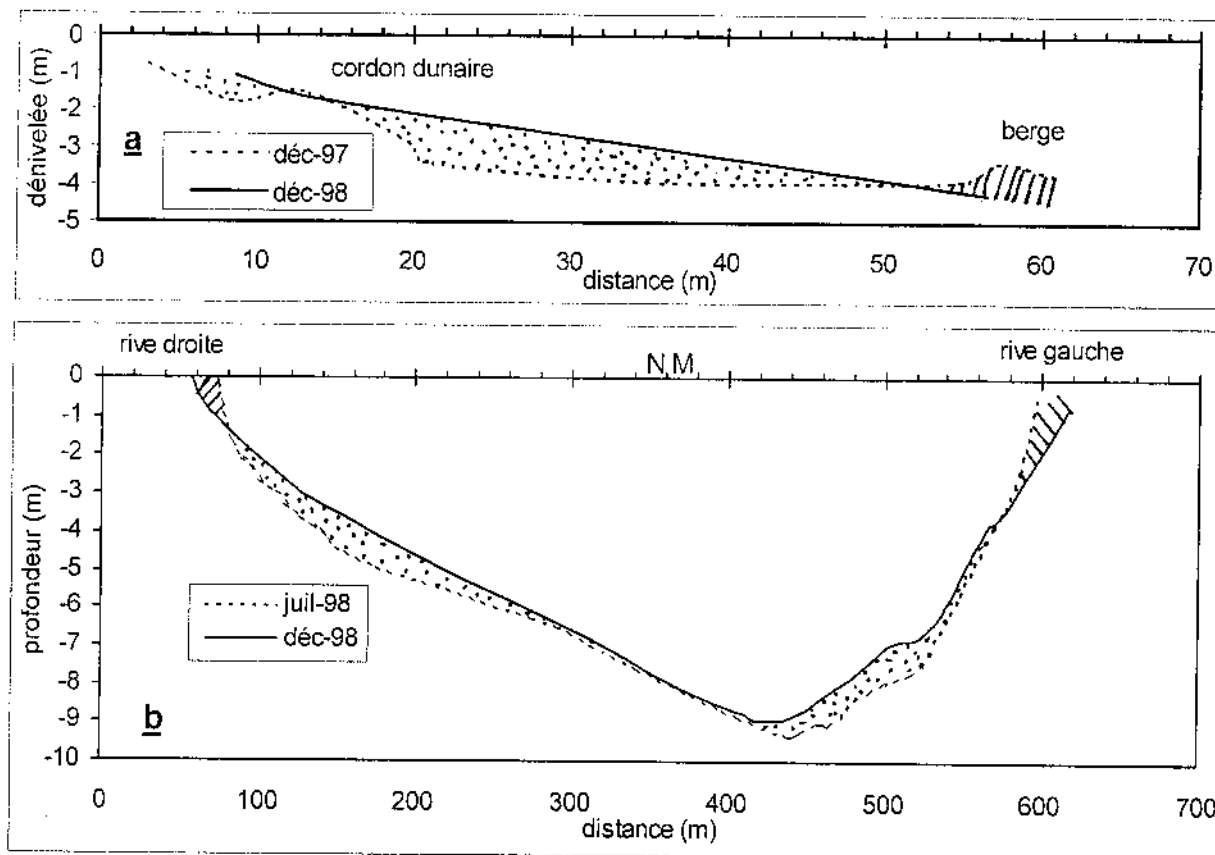


Figure 8 : Comparaison des profils à la station de Keur Bernard

a : Profils topographiques (rive droite)

b : Profils bathymétriques



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

Le profil topographique est relativement plus accidentée en décembre 1997 et présente une allure convexe vers le haut des dunes et sur la berge alors que la base des dunes est rectiligne (Fig. 8a). En décembre 1998, le cordon dunaire s'engraisse tandis que la berge s'érode. Le profil devient rectiligne et plus pentu ; sa pente passe de 0,8% à 5,9%.

Le chenal fluvial est caractérisé par des profils bathymétriques relativement plus réguliers que les précédents. L'axe du chenal se localise du côté de la rive gauche. Sa profondeur passe de 9,3m en juillet 1998 à 8,9m en décembre 1998, avec une largeur d'environ 560m (Fig. 8 b).

Le versant de la rive gauche plus abrupte présente une pente forte, qui passe de 9,6% en juillet à 6,3% en décembre. Le versant de la rive droite présente une pente plus douce variant entre 5,3% en juillet et 4,4% en décembre.

La comparaison des deux profils montre une prédominance de l'accumulation sur les versants et au milieu du chenal, avec cependant un léger équilibre en bas de versant de la rive droite. Par contre les berges sont dominées par des mouvements d'érosion (Fig. 8 b).

### 5. Station de Mermoz

La rive gauche est basse, ses pentes (très faibles) varient entre 0,5% en décembre 1997 et 0,3% en décembre 1998 (Fig. 9 a). Cependant, la rive droite plus accidentée, est caractérisée par une alternance de parties concaves et de parties convexes. Ses pentes (fortes) varient entre 6,8% en décembre 1997 et 6,2% en décembre 1998 (Fig. 9 b).

La comparaison des profils topographiques entre décembre 1997 et décembre 1998 montre une prédominance de l'érosion sur la rive gauche. Sur la rive droite, le cordon est dominé par l'érosion, alors que la berge s'engraisse.

Le chenal fluvial est caractérisé par des profils bathymétriques plus réguliers (Fig. 9 c). L'axe du chenal localisé du côté de la rive droite, se situe à des profondeurs variant entre 7,4m en juillet 1998 et 7,2m en décembre 1998. Le chenal a une largeur de 764m en décembre 1998.

Le versant de la rive droite présente des pentes variant entre 4,7% en juillet et 4,5% en décembre. Tandis que celui de la rive gauche est plus pentu vers le haut du profil (5,7% à 4,7%) et sa pente devient faible vers le bas (0,9% à 1,1%).

La comparaison des deux profils montre une prédominance de l'érosion sur tout le versant de la rive gauche. Alors que, le versant de la rive droite et le milieu du chenal sont caractérisés par une forte accumulation (Fig. 9 c).

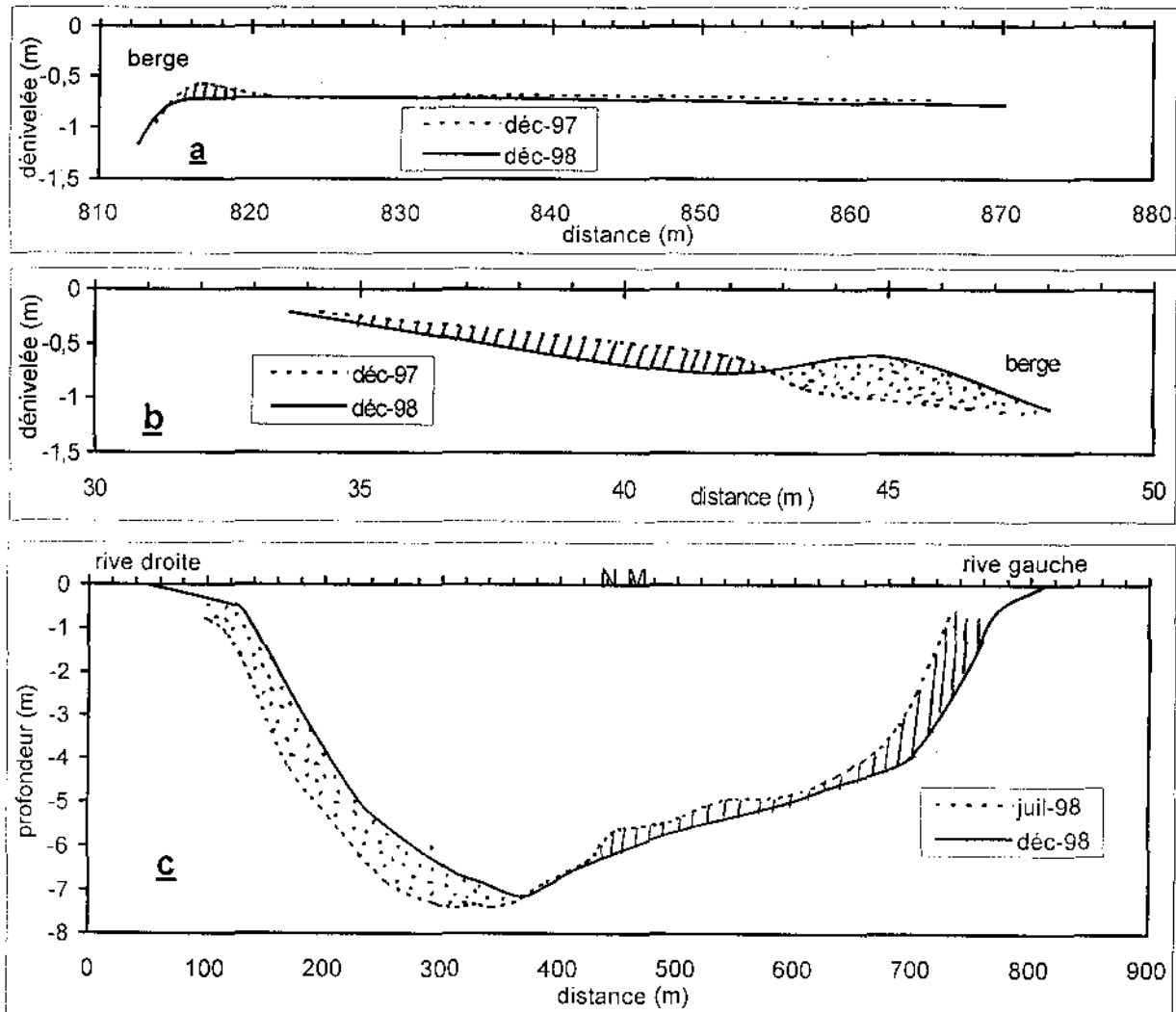


Figure 9 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Mermoz

- a : Profils topographiques (rive gauche)
- b : Profils topographiques (rive droite)
- c : Profils bathymétriques

 érosion

N M : niveau moyen du fleuve

 accumulation

## 6. Station de Bop-Tior

Seuls les profils bathymétriques ont été réalisés en amont de Saint-Louis. Au niveau de cette station, ils sont relativement plus réguliers mais présentent un haut fond vers la rive gauche. L'axe du chenal localisé du côté de la rive droite se situe à des profondeurs variant entre 8m en juillet 1998 et 7,6m en décembre 1998. La largeur du chenal est d'environ 752m (Fig. 10).

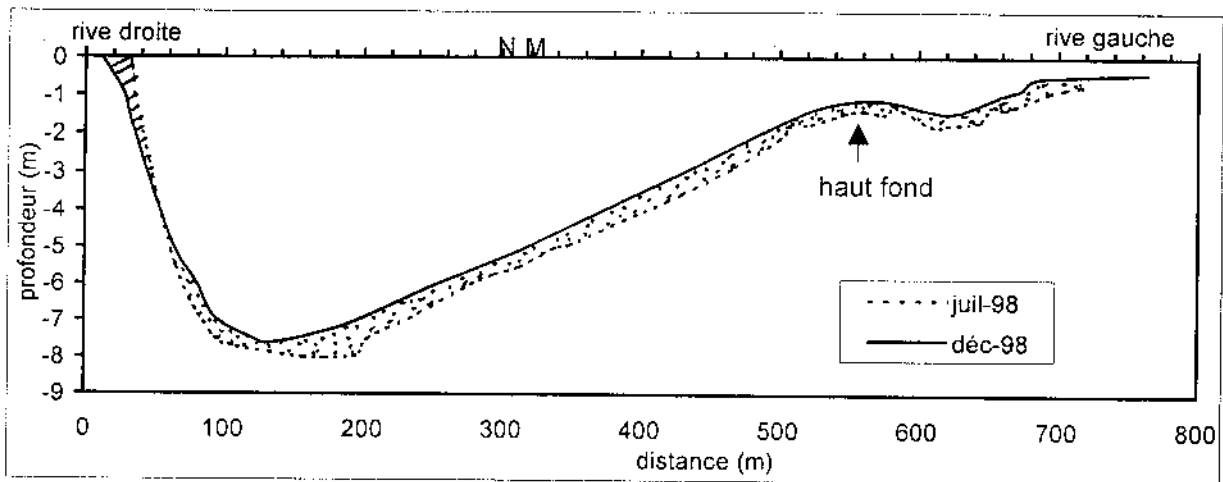


Figure 10 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Bop Tior



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

Le versant de la rive gauche est caractérisé par une pente moyenne faible (1,8%), alors que le versant de la rive droite plus abrupte présente une pente forte variant entre 11,4% en juillet et 11,2% en décembre 1998.

La comparaison des deux profils bathymétriques, montre la prédominance des dépôts sur tout le profil entre juillet et décembre 1998. Alors que, le haut du profil et la berge de la rive droite sont dominés par l'érosion.

### 7. Station de Gaston-Berger

Le chenal fluvial est caractérisé par un profil bathymétrique plus régulier en juillet 1998 (Fig. 11). Contrairement à ce que nous avons observé dans la majeure partie des cas depuis l'embouchure, l'axe du chenal se localise du côté de la rive gauche. Les profondeurs du chenal varient entre 10,5m en juillet 1998 et 11,0m en décembre 1998 et sa largeur est de 384m.

Le versant de la rive droite présente des pentes moyennes variant entre 4,2% en juillet et 4,0% en décembre, par contre le versant de la rive gauche plus abrupte présente de très fortes pentes qui varient entre 16,5% en juillet et 15,0% en décembre.

La comparaison des deux profils montre une prédominance de l'érosion sur tout le profil sauf au niveau de certaines parties du chenal et du versant de la rive droite où les mouvements semblent équilibrés (Fig. 11).

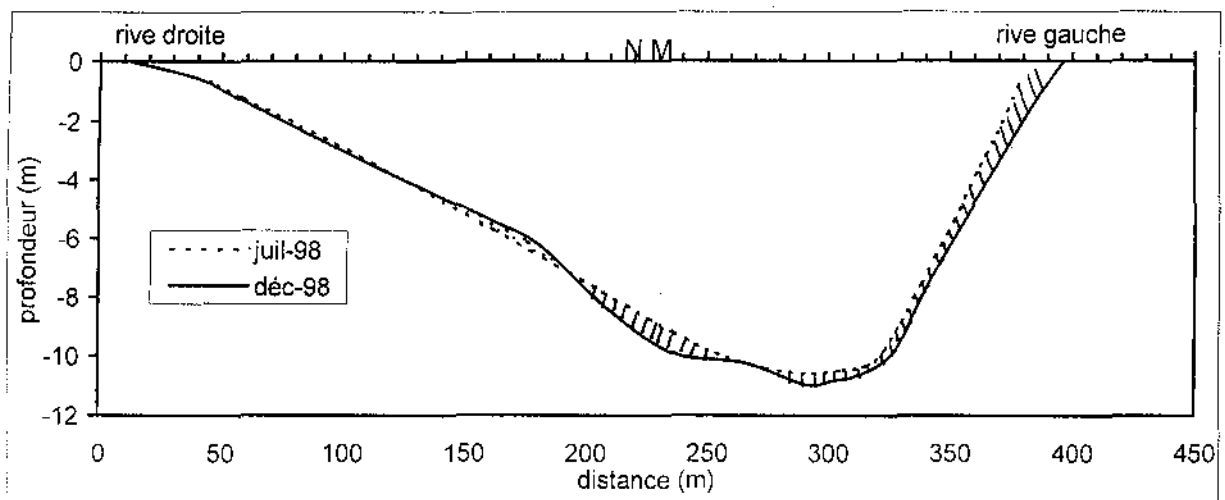


Figure 11 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Gaston Berger



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

### 8. Station de Thiallakh

L'axe du chenal se localise de nouveau vers la rive droite et à des profondeurs variant entre 11,2m en juillet 1998 et 11,5m en décembre 1998 (Fig. 12). La largeur du chenal fluvial est d'environ 527m et les profils bathymétriques sont relativement moins réguliers.

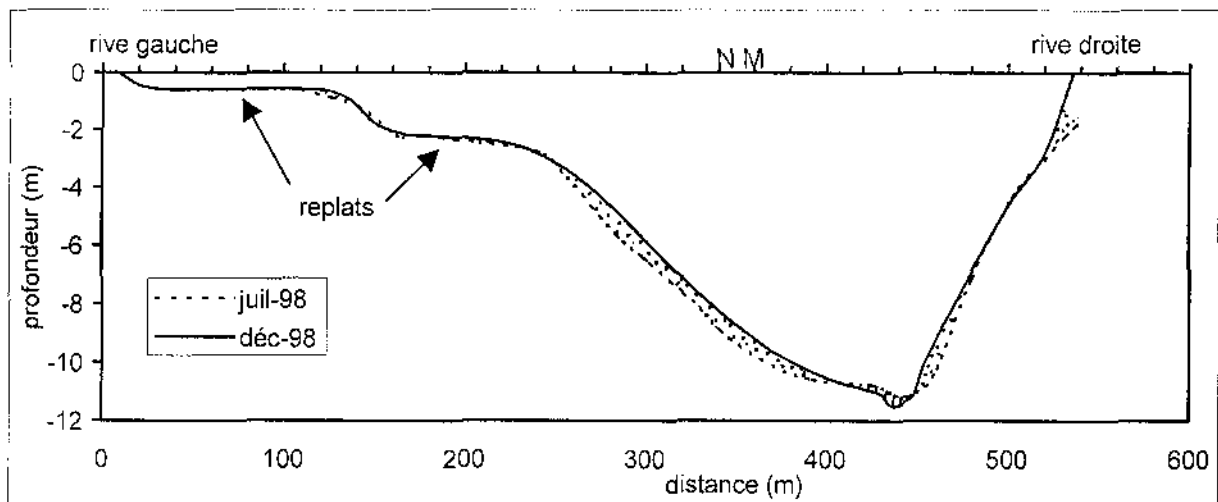


Figure 12 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Thiallakh



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

Ces profils bathymétriques présentent sur le flanc gauche une série de replats. Ce flanc est caractérisé par des pentes très faibles (0,5% à 0,7%) vers le haut du profil et fortes vers le bas (4,4% à 5,2%). Le flanc droit beaucoup plus abrupt est caractérisé par des pentes très fortes qui varient entre 11,8% en juillet et 12,3% en décembre.

La comparaison des profils entre juillet et décembre 1998, montre une alternance de mouvements d'érosion et de dépôt. Sur les flancs, l'accumulation a largement dominé, alors qu'au milieu du chenal nous avons observé un léger approfondissement dû à l'érosion. Cependant, ces mouvements sont relativement équilibrés au niveau des replats.

### 9. Station de Diama aval

Le chenal fluvial est caractérisé par un profil bathymétrique plus régulier en juillet et son axe localisé encore vers la rive droite se situe à des profondeurs variant entre 11,9m en juillet 1998 et 11,8m en décembre 1998. Le chenal a une largeur d'environ 537m (Fig. 13).

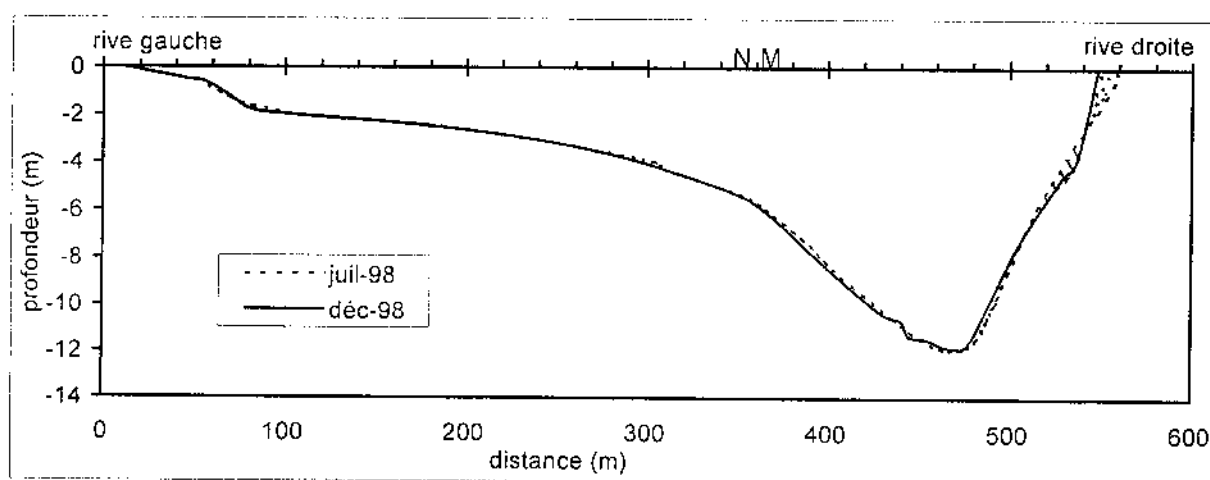


Figure 13 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Diama aval



érosion

N.M. : niveau moyen du fleuve



accumulation

Le flanc gauche présente des pentes moyennes faibles vers le haut du profil (1,2% à 1,4%), devenant fortes vers le bas (6,1% à 6,5%). Par contre, le versant de la rive droite plus raide est caractérisé par des pentes très fortes variant entre 12,0% et 14,3%.

La comparaison des deux profils bathymétriques montre une alternance de mouvement d'érosion et d'accumulation. L'érosion est particulièrement localisée sur les flancs et les rares dépôts observés ont lieu au milieu du chenal et sur la berge de la rive droite. Ces mouvements sédimentaires s'équilibrent sensiblement vers le haut du flanc gauche.

### Conclusion

La morphologie aérienne de l'estuaire en aval de Saint-Louis, est caractérisée par un relief relativement plus accidenté sur sa rive droite. Le chenal fluvial est bordé dans ce secteur par une série de cordons dunaires. Ces derniers bordent la rive gauche vers l'embouchure, alors

que la Langue de Barbarie relativement plus basse à ce niveau, devient plus accidentée entre Gandiol et Saint-Louis.

Vers l'embouchure, ces cordons dunaires sont caractérisés par des pentes moyennes généralement faibles (< 2%) aussi bien sur la rive gauche que sur la rive droite. Entre Gandiol et Saint-Louis, où la rive droite est caractérisée par un relief plus élevé constitué par le cordon littoral de la Langue de Barbarie, les pentes sont fortes et dépassent parfois 5%.

Les mouvements sédimentaires sont caractérisés généralement par une alternance d'érosion et de dépôts. Cependant, nous avons constaté une accumulation sur les dunes et un sapement des berges dans la majeure partie des profils.

Le chenal fluvial présente des profils bathymétriques très irréguliers vers l'embouchure devenant de plus en plus réguliers vers l'amont. Les flancs sont généralement dissymétriques sauf à Mboumbaye, où ils sont à peu près symétriques. Le chenal présente des profondeurs maximales relativement faibles vers l'embouchure (4,5m à 5,3m), devenant fortes vers l'amont où elles atteignent 11,8m à 11,9m à l'aval immédiat du barrage de Diama.

L'évolution des mouvements sédimentaires entre les deux saisons climatiques (début et fin de la saison des pluies de 1998) a montré généralement une prédominance de l'accumulation au milieu du chenal. Cependant, nous avons constaté une érosion des flancs du chenal et des berges entraînant ainsi leur recul et un élargissement du chenal.

## II. Evolution morphologique à l'amont du barrage de Diama

### 1. Station de Diama amont.

Les profils bathymétriques sont caractérisés par des flancs sensiblement symétriques et réguliers. Le milieu du chenal est large et irrégulier, il se situe à des profondeurs maximales variant entre 11,5m en juillet et 11,4m en décembre. Le chenal a une largeur d'environ 366m en décembre (Fig. 14).

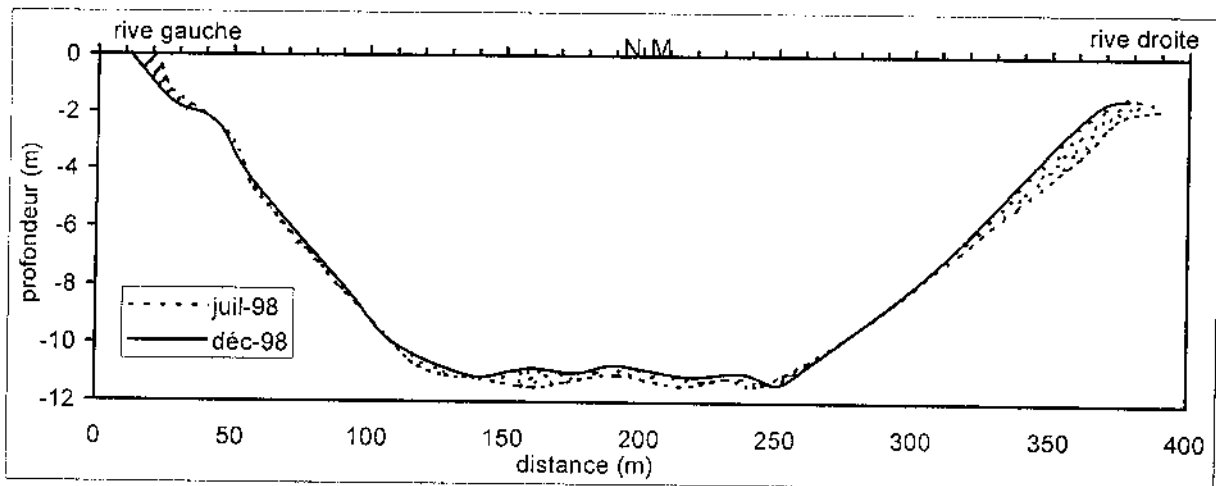


Figure 14 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Diama amont



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

Les flancs du chenal sont caractérisés par des pentes fortes à très fortes. Elles sont moins fortes sur le flanc droit (7,9% à 8,6%), alors que le flanc gauche, un peu plus abrupt, présente des pentes plus fortes variant entre 10,7% et 11,6%.

La comparaison des deux profils bathymétriques (juillet 1998 - décembre 1998) montre une prédominance de l'accumulation surtout au milieu du chenal et vers le haut du flanc droit. Par contre, le flanc gauche est caractérisé par une faible accumulation vers le bas du profil et par des phénomènes érosifs vers le haut du profil et sur la berge.

## 2. Station de Mbagam

Le chenal fluvial est caractérisé par des profils bathymétriques réguliers (Fig. 15). La largeur du chenal est d'environ 360m et ses profondeurs maximales, moins élevées que celles de la station de Diama amont, varient entre 9,5m en juillet et 9,1m en décembre 1998.

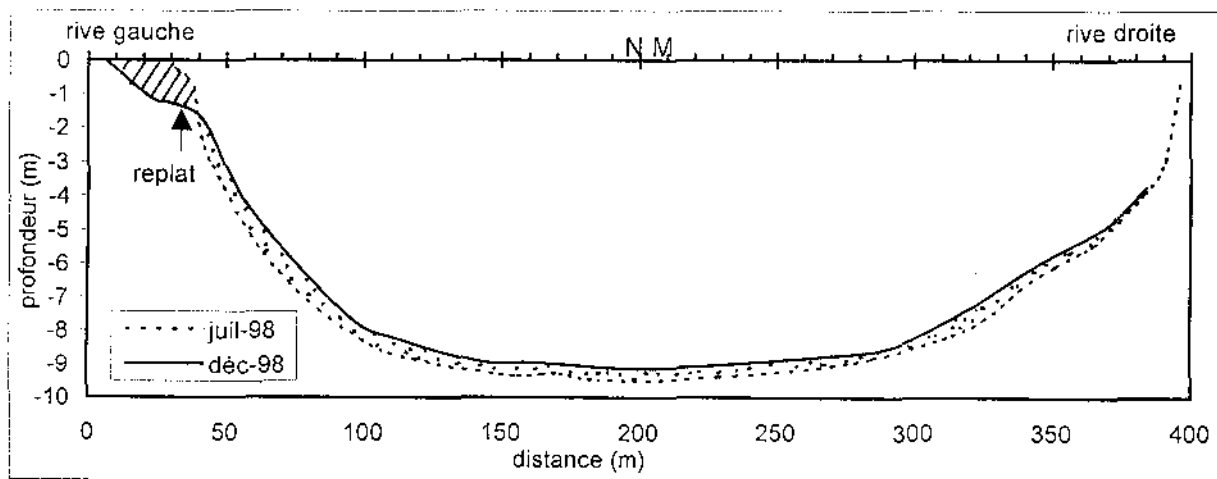


Figure 15 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Mbagam



érosion

N M : niveau moyen du fleuve



accumulation

Les flancs du chenal sont sensiblement symétriques et présentent une allure concave. Le flanc gauche est caractérisé par des pentes très fortes variant entre 10,9% et 12,2%. Sur le flanc droit, ces pentes deviennent plus douces et varient en 5,2% et 5,9%.

La comparaison des profils bathymétriques entre juillet et décembre 1998 montre une prédominance des dépôts sur tout le profil, sauf vers le haut du flanc gauche où une érosion favorise la formation d'un replat en décembre 1998.

## 3. Station de Richard-Toll

Les profils bathymétriques redeviennent relativement irréguliers et la profondeur du chenal augmentent davantage et atteint des valeurs maximales variant entre 14,1m en juillet 1998 et 13,7m en décembre 1998. La largeur du chenal est d'environ 300m (Fig. 16).



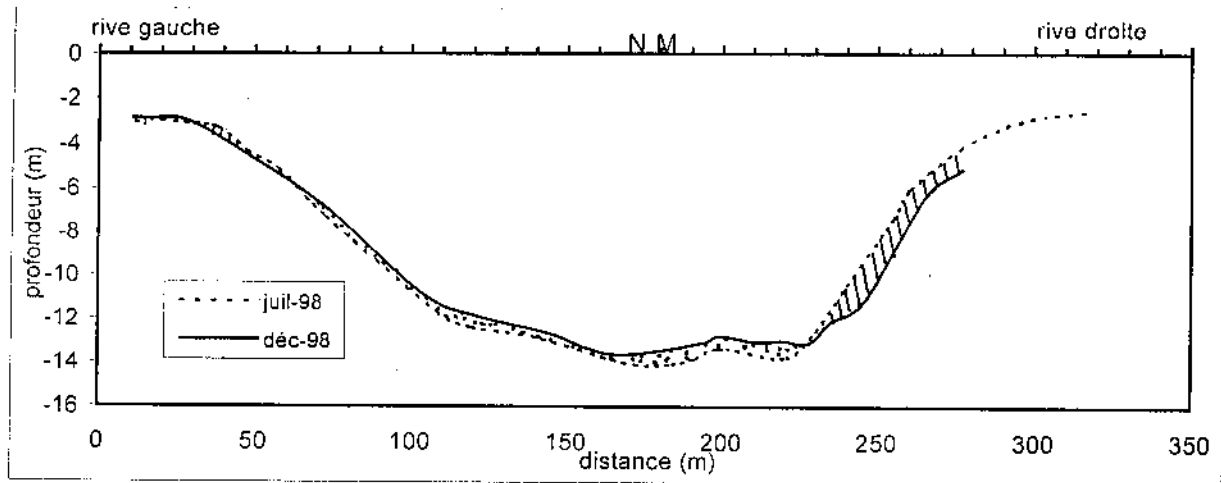
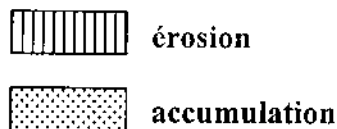


Figure 16 : Comparaison des profils bathymétriques à la station de Richard -Toll



N M : niveau moyen du fleuve

Les flancs du chenal présentent une allure convexe. Le flanc droit plus abrupt, est caractérisé par des pentes très fortes variant entre 17% en juillet et 16,4% en décembre. Le flanc gauche moins raide, présente des pentes moins élevées, elles varient entre 12,2% en juillet et 11,5% en décembre.

La comparaison des profils bathymétriques entre juillet et décembre 1998, montre un engraissement au milieu du chenal. L'érosion a sensiblement affecté le haut du flanc gauche et s'est amplifiée sur tout le flanc droit.

### Conclusion

Dans ce secteur amont, le chenal fluvial présente un fond relativement plus régulier que celui situé en aval du barrage. Il devient plus profond et moins large. Les flancs sont dans l'ensemble sensiblement symétriques et les pentes très élevées, passent d'un maximum de 11,6% à Diama amont à un maximum de 17% à Richad-Toll.

L'évolution des mouvements sédimentaires entre les deux saisons climatiques (début et fin de la saison des pluies de 1998), montre généralement une prédominance de l'accumulation au milieu du chenal et sur le flanc droit. Les mouvements d'érosion ont lieu généralement sur les berges comme à l'aval. Cependant, ils sont légèrement plus intenses sur la rive gauche.

## CHAPITRE IV : ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE

### I. Analyse granulométrique des sables

Elle a été réalisée selon la méthodologie exposée à la page 16. La confrontation des différents paramètres granulométriques met en évidence les variations de taille et de distribution des grains dans les stocks sédimentaires dans le temps et dans l'espace au cours de la période considérée.

Les résultats exposés ici concernent des échantillons prélevés sur quinze stations, en partant de l'embouchure jusqu'à Richard-Toll (Fig. 4).

L'ensemble des valeurs des indices granulométriques et les formules modales des sédiments à caractère plurimodal sont représentées dans les tableaux de l'annexe II

#### 1. Evolution des sables à l'aval du barrage de Diama

##### 1.1. Station de Taré (embouchure)

Globalement les sables renferment peu de fragments de coquille. Les teneurs les plus élevées sont enregistrées en décembre 1998 et elles varient entre 3,4% sur la rive gauche et 4% au milieu du chenal. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 17.

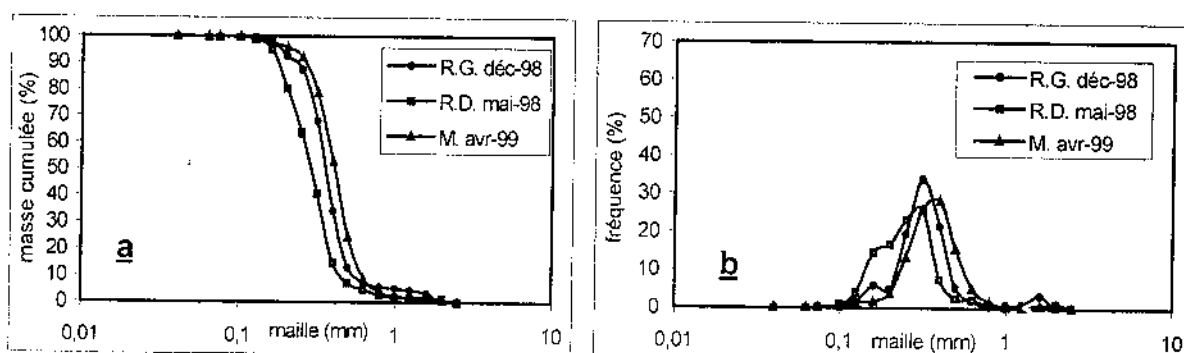


Figure 17 : Courbes granulométriques à la station de taré

**a** : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

R.D. : rive droite

**b** : courbes de Gauss

M. : milieu

Les sables sont généralement à grains moyens ( $2\phi < M_z < 1\phi$ ), cependant la fraction la plus grossière est localisée sur la rive gauche et au milieu du chenal. Ils sont généralement moyennement triés ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ), et les meilleurs classements s'observent sur la rive gauche et au milieu du chenal.

Les matériaux sont caractérisés par une distribution à peu près symétrique ( $-0,10 < S_k < +0,10$ ) et généralement leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ). Ils sont généralement homogènes sauf en décembre 1998 où ils montrent une tendance hétérogène caractérisée par des courbes bimodales (Fig. 17).

## 1.2. Station de Mboubaye

Le matériel n'a presque pas évolué par rapport à l'embouchure. Comme à la station de Taré, il renferme également peu de fragments de coquille avec une teneur maximale de 5% observée sur la rive gauche en décembre 1998. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 18.

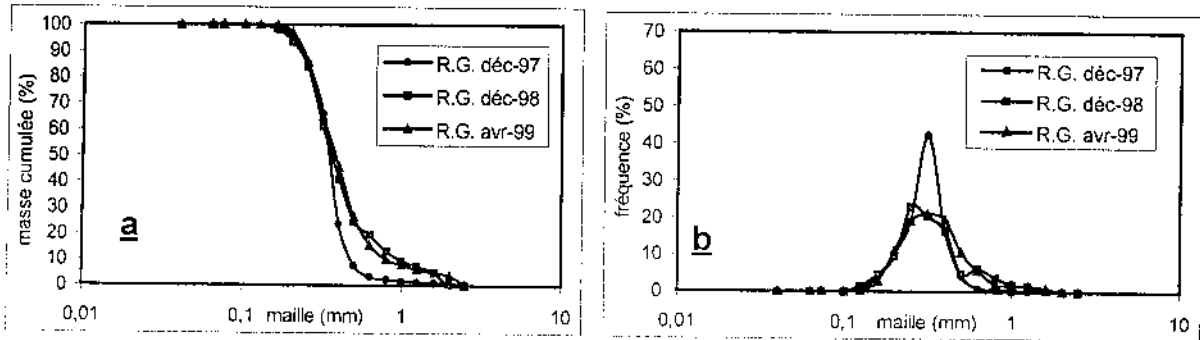


Figure 18 : Courbes granulométriques à la station de Mboubaye

a : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

b : courbes de Gauss

Les sables sont généralement à grains moyens ( $2\phi < M_z < 1\phi$ ), les plus grossiers se localisent au milieu du chenal et sur la rive gauche. Ils sont moyennement triés ( $0,5 < \sigma_1 < 1$ ), à bien triés notamment en décembre 1997 ( $0,35 < \sigma_1 < 0,5$ ).

La distribution est leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) à mésokurtique ( $0,9 < K_G < 1,11$ ) et l'asymétrie est généralement positive sauf en décembre 1997 où elle montre une tendance négative. Les sables sont généralement homogènes, mais ils montrent parfois une tendance hétérogène caractérisée par des courbes bimodales notamment en fin d'hivernage de 1998 (Fig. 18).

## 1.3. Station de Gandiol

Les fragments de coquille deviennent négligeables dans les sédiments. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 19.

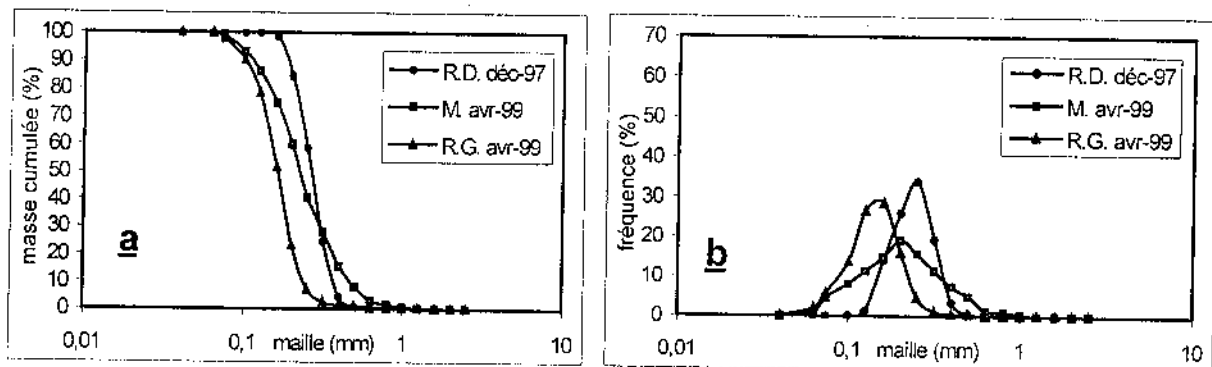


Figure 19 : Courbes granulométriques à la station de Gandiol

Les sables sont généralement à grains fins en saison sèche ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ), à moyens en fin d'hivernage ( $2\phi < M_z < 1\phi$ ), avec un taux de grossiers toujours plus élevé sur la rive gauche. Ils sont généralement mieux classés que ceux des deux premières stations ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ), les meilleurs classements s'observent sur la rive droite surtout en fin d'hivernage.

Ces matériaux sont caractérisés par une distribution à peu près symétrique ( $-0,10 < S_k < +0,10$ ), et généralement leptokurtique sur les rives ( $1,11 < K_G < 1,5$ ), alors que le milieu du chenal montre une tendance mésokurtique ( $0,9 < K_G < 1,11$ ). Les sables sont homométriques et caractérisés généralement par des courbes unimodales (Fig. 19).

#### 1.4. Station de Keur-Bernard

Les matériaux n'ont pas beaucoup évolués par rapport à Gandiol. Les fragments de coquille sont presque absents. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 20.

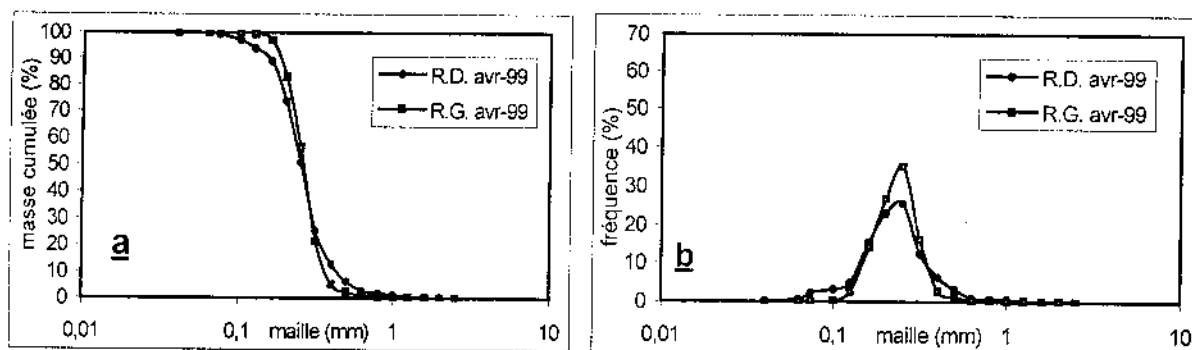


Figure 20 : Courbes granulométriques à la station de Keur Bernard

a : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

b : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

Les sables sont à grains moyens ( $2\phi < M_z < 1\phi$ ), cependant ils sont légèrement plus grossiers en fin d'hivernage surtout sur la rive gauche. Contrairement à ce que nous avons observé de l'embouchure à Gandiol, leurs teneurs deviennent négligeables au milieu du chenal. Ils sont généralement bien classés, les meilleurs classements s'observent comme à Gandiol sur la rive droite surtout en fin de saison des pluies ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ).

Le matériel est caractérisé par une distribution à peu près symétrique ( $-0,10 < S_k < +0,10$ ) et généralement leptokurtique sur la rive gauche ( $1,11 < K_G < 1,5$ ), alors que la rive droite montre une tendance mésokurtique ( $0,9 < K_G < 1,11$ ). Les sables sont dans l'ensemble homogènes et caractérisés par des courbes unimodales (Fig. 20).

#### 1.5. Station de Mermoz

Nous avons constaté l'absence totale des fragments de coquille dans les sédiments. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 21.

Les sables sont à grains fins sur la rive gauche ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ) et deviennent plus grossiers vers la rive droite surtout en fin de saison des pluies, ils sont négligeables au milieu du chenal. Ces matériaux sont dans l'ensemble bien classés ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ) et les meilleurs classements s'observent généralement sur la rive droite.

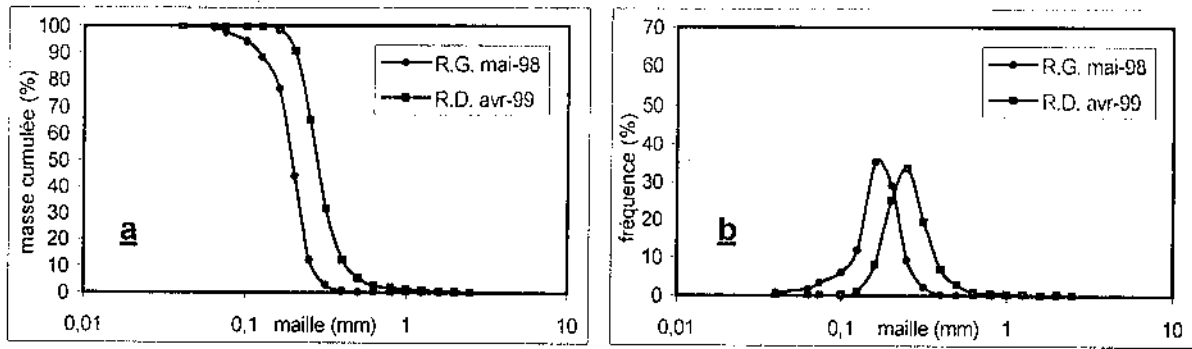


Figure 21 : Courbes granulométriques à la station de Mermoz

a : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

b : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

La distribution est généralement leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ), l'asymétrie est négative sur la rive gauche et positive sur la rive droite dans la plupart des cas. Les sables sont généralement homométriques, caractérisés par des courbes unimodales (Fig. 21).

#### 1.6. Station de Bop-Tior

Les sédiments renferment très peu de fragments de coquille, moins de 1% localisés surtout vers la rive droite. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 22.

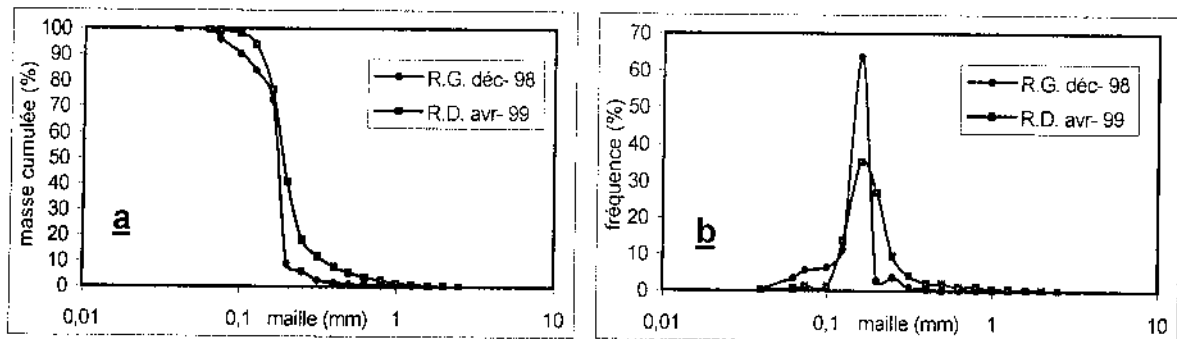


Figure 22 : Courbes granulométriques à la station de Bop Tior

a : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

b : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

Les sables sont généralement à grains fins ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ), cependant ils sont plus grossiers sur la rive droite comme à la station de Mermoz. Ils sont généralement bien classés sur la rive gauche ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ) et moyennement classés sur la rive droite ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ).

La distribution des matériaux est généralement très leptokurtique ( $1,5 < K_G < 3$ ), à asymétrie négative sur la rive gauche et leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) à asymétrie positive sur la rive droite. Les sables sont généralement homométriques, sauf pour les campagnes de 1998 où ils sont hétérométriques et caractérisés par des courbes bimodales.

### 1.7. Station de Gaston-Berger

Les fragments de coquille sont faiblement représentés dans les sédiments. Cependant nous y avons observé des tubules ferruginisés notamment dans les sédiments prélevés sur la rive droite (jusqu'à 3,4% de la fraction grossière). Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 23.

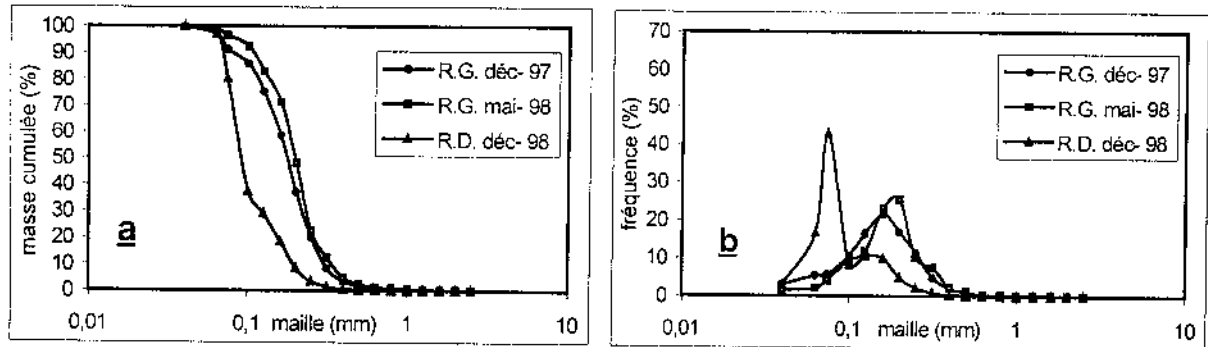


Figure 23 : Courbes granulométriques à la station de Gaston Berger

**a** : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

**b** : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

Les sables sont généralement fins sur la rive gauche ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ), à très fins sur la rive droite ( $4\phi < M_z < 3\phi$ ). Cependant, les plus grossiers sont observés surtout en fin de saison des pluies. Ils sont moyennement triés ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ) et les meilleurs classements s'observent sur la rive gauche.

La distribution est généralement mésokurtique ( $0,90 < K_G < 1,11$ ) à asymétrie positive sur la rive gauche et leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) à asymétrie négative sur la rive droite. Les sables sont hétérométriques et caractérisés généralement par des courbes bimodales. (Fig. 23).

### 1.8. Station de l'Île aux bois

Les sédiments sont prélevés uniquement en saison sèche (mai 1998 et avril 1999) et renferment peu de fragments de coquille. Cependant, comme à la station de Gaston Berger, les tubules ferruginisés sont bien représentés dans les sédiments (jusqu'à 7,9% des sédiments prélevés sur la rive gauche). Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 24

Les sables sont fins ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ), mal classés ( $1 < \sigma_i < 2$ ) et à asymétrie positive sur la rive gauche. Tandis que sur la rive droite, ils sont très fins ( $4\phi < M_z < 3\phi$ ), très bien classés ( $0 < \sigma_i < 0,35$ ) et à asymétrie négative.

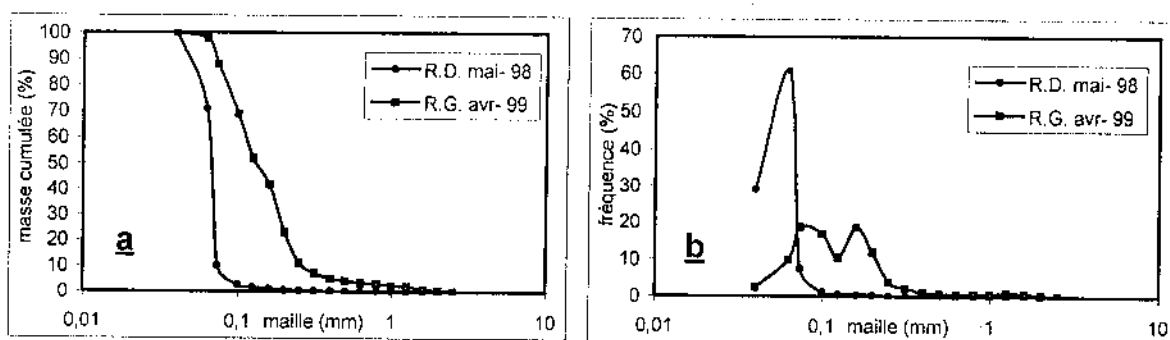


Figure 24 : Courbes granulométriques à la station de l'Ile aux bois

a : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

b : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

La distribution est très leptokurtique en mai 1998 ( $1,5 < K_G < 3$ ) et devient mésokurtique en avril 1999 ( $0,90 < K_G < 1,11$ ). Les sables sont généralement hétérogènes et caractérisés par des courbes bimodales notamment sur la rive gauche (Fig. 24).

### 1.9. Station de Thiallakh

Les fragments de coquille et les tubules ferruginisées sont absents du sédiment. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 25

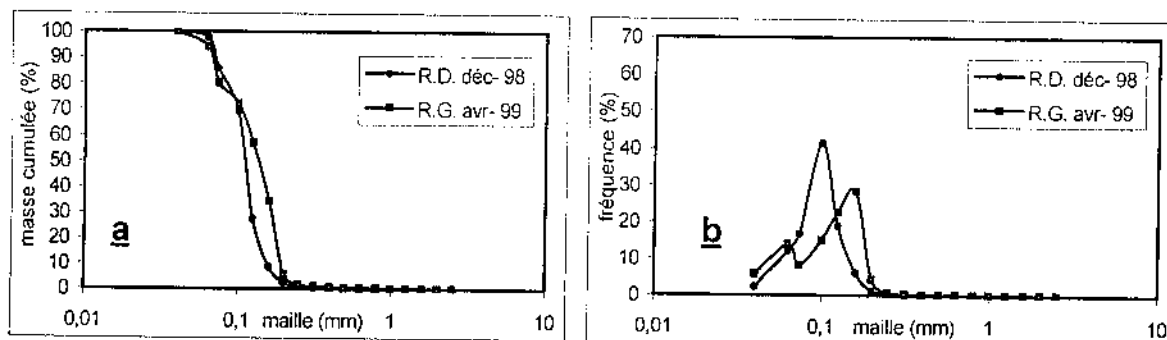


Figure 25 : Courbes granulométriques à la station de Thiallakh

a : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

b : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

Les sables sont généralement très fins ( $4\phi < M_z < 3\phi$ ), bien classés sur la rive droite ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ) et moyennement classés sur la rive gauche ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ). Cependant, les meilleurs classements sont observés en fin de saison des pluies de 1998.

La distribution est leptokurtique en fin de saison des pluies ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) et devient mésokurtique en saison sèche ( $0,90 < K_G < 0,11$ ). L'asymétrie est généralement positive sur la rive gauche et faiblement négative sur la rive droite. Les sables sont caractérisés par des courbes bimodales sur la rive gauche et généralement unimodales sur la rive droite (Fig. 25).

### 1.10. Station de Diamal aval

Les sédiments renferment de nouveau peu de fragments de coquille (moins de 1%), et une teneur pouvant atteindre 4,6% de gravillons ferrugineux. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 26.

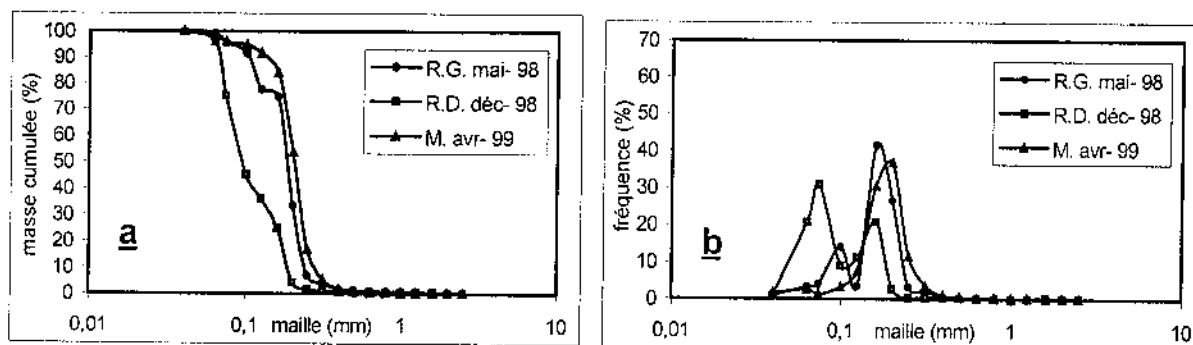


Figure 26 : Courbes granulométriques à la station de Diama aval

a : courbes sigmoïdes                      R.G. : rive gauche                      R.D. : rive droite  
b : courbes de Gauss                      M. : milieu

Les sables sont généralement très fins sur la rive droite ( $4\phi < M_z < 3\phi$ ), à fins au milieu du chenal et sur la rive gauche ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ). Cependant, on note une augmentation de la taille des sédiments en fin d'hivernage de 1998 surtout sur la rive gauche ( $M_z = 1,96\phi$ ). Ils sont moyennement classés ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ) et ceux de la rive droite sont globalement mieux classés.

Les matériaux sont caractérisés par une distribution généralement leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) à asymétrie positive sur la rive gauche et au milieu du chenal, puis mésokurtique ( $0,90 < K_G < 1,11$ ) à asymétrie négative sur la rive droite. Ils sont généralement hétérométriques et caractérisés par des courbes bimodales (Fig. 26).

### Conclusion

Le bief aval de l'estuaire, dominé par les actions marines pendant les huit mois de l'année, est caractérisé par une fraction sableuse relativement coquillière. Ces sables sont généralement à grains moyens vers l'embouchure, devenant fins à très fins vers l'amont. Le sédiment devient globalement plus grossier en fin d'hivernage et notamment sur la rive gauche, sauf à Mermoz et à Bop-Tior (où il est plus grossier sur la rive droite).

Ces sédiments sont plus homogènes en aval de Saint-Louis et surtout sur la rive droite où ils se chargent en sables plus fins provenant probablement des dunes bordières de la Langue de Barbarie. Vers l'amont, ils deviennent plus hétérogènes, cette hétérogénéité serait due aux apports continentaux. Les gravillons ferrugineux sont fréquents dans la zone de mangrove allant de Dakar - Bango à Diama, avec une teneur pouvant atteindre 7,9% de la fraction grossière observée à l'Ile aux bois.

La distribution des sables est relativement symétrique en aval de Saint-Louis. En amont, l'asymétrie est généralement positive sur la rive gauche ce qui indique une dispersion des grains du côté des fins et un meilleur classement du côté des grossiers. Cependant, elle est



généralement négative sur la rive droite, indiquant une dispersion des grains du côté des grossiers et un meilleur classement du côté des fins.

## 2. Evolution des sables à l'amont du barrage de Diama

### 2.1. Station de Diama amont

Les sédiments renferment quelques coquilles parfois non encore fragmentées, localisées surtout sur la rive gauche, les gravillons ferrugineux sont absents. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 27.

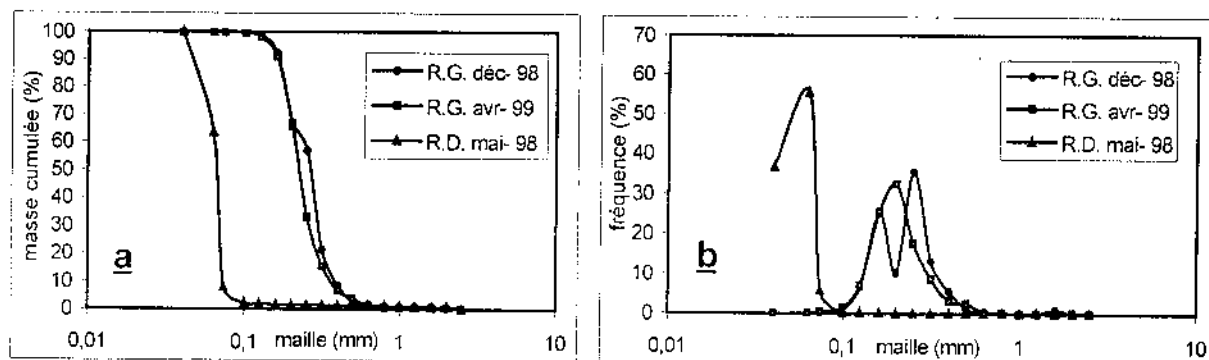


Figure 27 : Courbes granulométriques à la station de Diama amont

**a** : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

**b** : courbes de Gauss

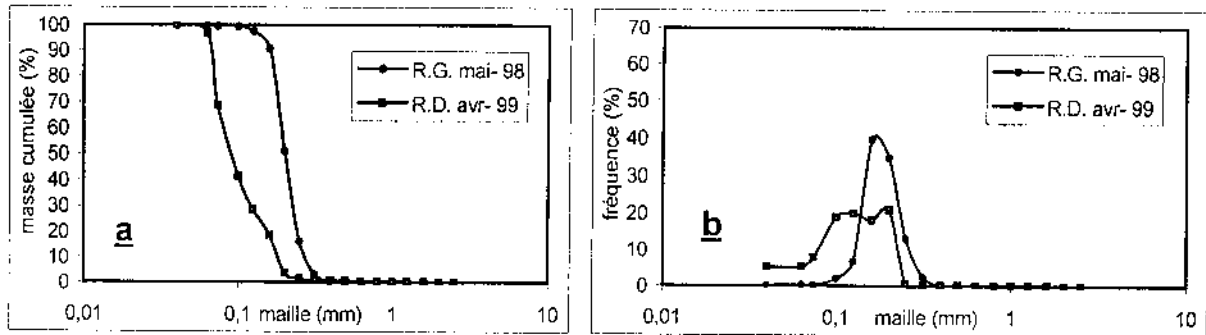
R.D. : rive droite

Les sables sont toujours négligeables au milieu du chenal, fins à très fins sur les rives. Cependant, ils sont légèrement plus grossiers sur la rive gauche surtout en fin d'hivernage. Ce matériel est très bien classé sur la rive droite ( $0 < \sigma_i < 0,35$ ), à bien classés sur la rive gauche ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ).

L'asymétrie est généralement positive. Cependant, la distribution est leptokurtique sur la rive gauche ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) et très leptokurtique sur la rive droite ( $1,5 < K_G < 3$ ). Les matériaux sont généralement homogènes, cependant la rive gauche montre une tendance hétérogène en fin de saison des pluies de 1998 (Fig. 27).

### 2.2. Station de l'île de Tieng

Seuls deux échantillonnages ont été effectués durant les périodes sèches de mai 1998 et d'avril 1999. Les sédiments sont dépourvus de fragments de coquille. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 28.



**Figure 28 : Courbes granulométriques à la station de l'Ile de Tieng**

**a** : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

**b** : courbes de Gauss

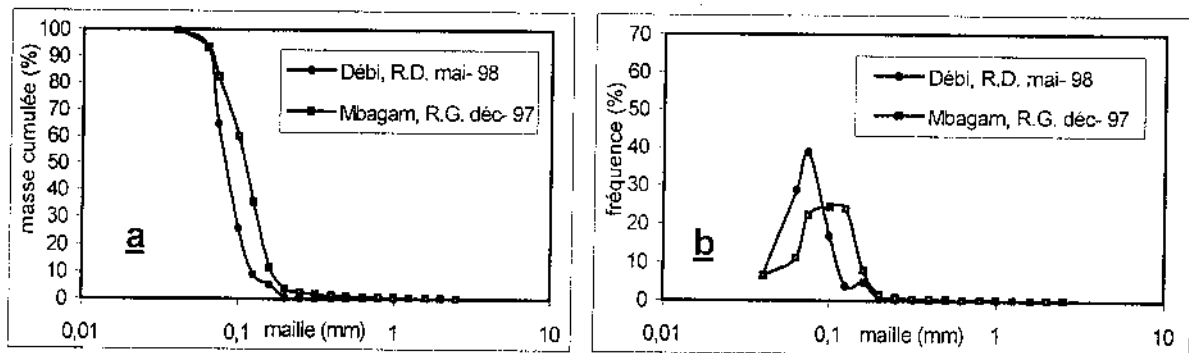
R.D. : rive droite

Les sables sont toujours négligeables au milieu du chenal. Ils sont fins et mieux classés sur la rive gauche ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ), à très fins parfois absents sur la rive droite.

La distribution est leptokurtique sur la rive gauche ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) et platykurtique sur la rive droite ( $0,67 < K_G < 0,90$ ), l'asymétrie est généralement positive. Les sables sont généralement homogènes sur la rive gauche et hétérogènes sur la rive droite (Fig. 28).

### 2.3. Stations de Débi et Mbagam

Les sédiments prélevés aux stations de Débi et Mbagam sont dépourvus de fragments de coquilles. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 29.



**Figure 29 : Courbes granulométriques aux stations de Débi et Mbagam**

**a** : courbes sigmoïdes

R.G. : rive gauche

**b** : courbes de Gauss

R.D. : rive droite

– A Débi, un seul échantillonnage a été réalisé en mai 1998. Les sables sont très fins et bien classés sur la droite ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ) et négligeables sur la rive gauche. Ils sont hétérogènes et caractérisés par une courbe bimodale. La distribution est leptokurtique ( $0,11 < K_G < 1,50$ ) et à asymétrie négative.

- A Mbagam, les sédiments sont généralement vaseux, seul l'échantillon prélevé sur la rive gauche en décembre 1997 est sableux très fin. Les sables sont moyennement classés et caractérisés par une distribution unimodale et mésokurtique ( $0,90 < K_G < 1,11$ ), l'asymétrie est positive.

#### 2.4. Station de Richard-Toll

Les sédiments renferment peu de fragments de coquille (inférieur à 1% sur la rive gauche) et les sables sont généralement négligeables en saison sèche. Quelques courbes granulométriques des sables sont représentées à la figure 30.

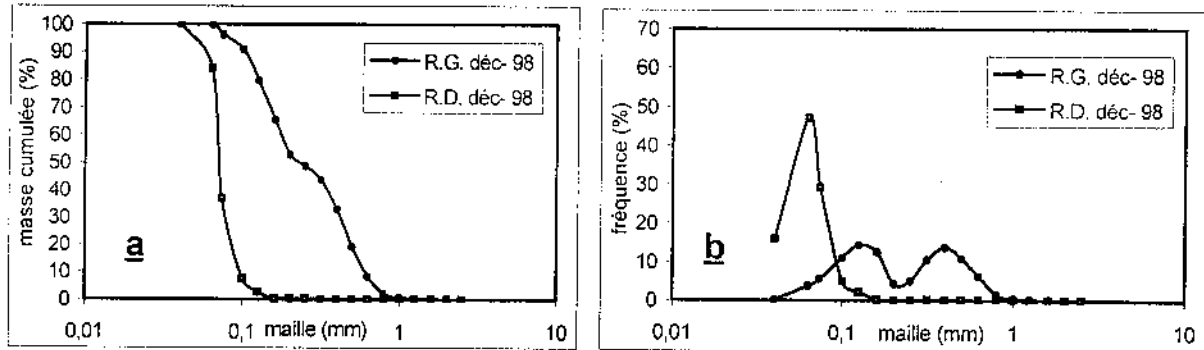


Figure 30 : Courbes granulométriques à la station de Richard -Toll

**a** : courbes sigmoïdes  
**b** : courbes de Gauss

R.G. : rive gauche  
R.D. : rive droite

Les sables sont très fins ( $4\phi < M_z < 3\phi$ ) et bien classés sur la rive droite ( $0,35 < \sigma_i < 0,5$ ), à fins ( $3\phi < M_z < 2\phi$ ) et moyennement classés sur la rive gauche ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ). Cependant, ils sont légèrement plus grossiers sur la rive gauche en fin de saison des pluies de 1998.

La distribution des matériaux est relativement symétrique, avec cependant, une tendance faiblement négative sur la rive droite. Elle est leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) et caractérisée par une courbe unimodale sur la rive droite, platykurtique ( $0,67 < K_G < 0,90$ ) et caractérisée par une courbe bimodale sur la rive gauche (Fig. 30).

- Les sédiments prélevés en mai 1998 au niveau de la Taoué, chenal menant au lac de Guiers montrent une prédominance des sables moyens surtout au milieu du chenal ( $2\phi < M_z < 1\phi$ ). Ces sables (brun - rouges) sont moyennement classés ( $0,5 < \sigma_i < 1$ ) et plus grossiers que ceux prélevés dans le chenal principal.

La distribution est mésokurtique ( $0,90 < K_G < 1,11$ ) et sensiblement symétrique au milieu du chenal. Elle devient leptokurtique ( $1,11 < K_G < 1,5$ ) à asymétrie positive sur la rive droite. Les sables sont homogènes sur la rive droite et hétérogènes au milieu du chenal. Quelques courbes granulométriques sont représentées à la figure 31.

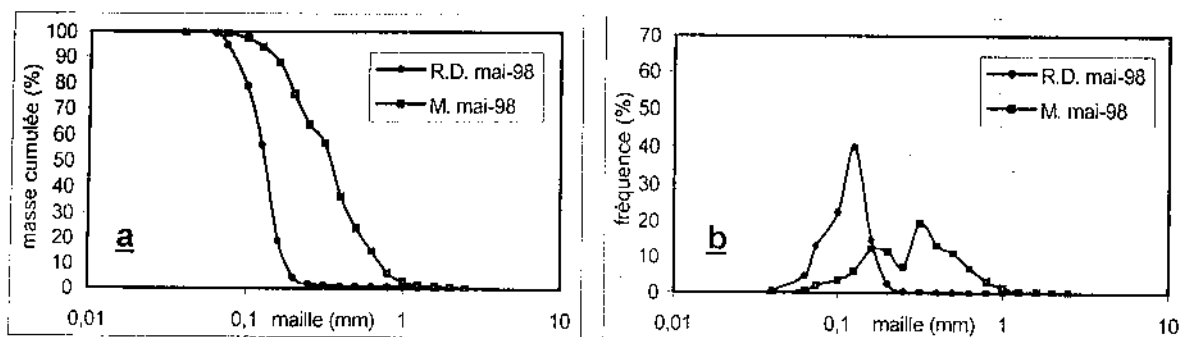


Figure 31 : Courbes granulométriques à la station de Richard –Toll (Taoué)

## Conclusion

La partie amont du barrage, dominée essentiellement par les influences continentales est caractérisée par des sables généralement fins à très fins, sauf au niveau de la Taoué où ils sont plus grossiers. Dans ce transect allant de Diama à Richard-Toll, les fragments de coquille et les tubules ferruginisés sont presque absents. Les sables sont comme à l'aval plus grossiers en fin de saison des pluies.

Ces sables plus fins en allant vers l'amont sauf au niveau de la Taoué, sont généralement plus homogènes et mieux classés que ceux à l'aval immédiat du barrage. Cette homogénéité des matériaux s'observe généralement sur la rive droite. La distribution des sables est généralement caractérisée par une asymétrie positive, indiquant un étalement des grains du côté des fins et un meilleur classement du côté des grossiers. Cependant, elle devient relativement symétrique vers Richard-Toll.

## II. Analyse granulométrique de la fraction fine (< 50 $\mu$ m)

La description ne concerne que six stations choisies depuis l'embouchure jusqu'à Richard -Toll, en fonction de l'importance de leur teneur en matériaux fins ou lutites et compte tenu des facteurs limitants dans ce genre d'analyses à l'extérieur (poids, coût des analyses, etc...).

Nous avons tenté d'apprécier les résultats (variations de la médiane, des teneurs en silts et en argiles) en fonction de la distribution géographique des échantillons et des variations saisonnières (saison sèche – saison des pluies). L'ensemble des résultats numériques sont représentés dans les tableaux de l'annexe III.

### 1. Evolution de la fraction fine à l'aval du barrage de Diama

#### 1.1. Station de Gandiol

La fraction fine est relativement bien représentée dans les sédiments prélevés au milieu du chenal avec des teneurs variant entre 50% et 90%. Elle est négligeable, parfois absente sur les rives en fin d'hivernage. En saison sèche, elle devient importante et se distribue sur tout le profil, mais ses teneurs restent toujours faibles sur les rives (5% à 43%). Quelques courbes microgranulométriques des sédiments prélevés au milieu du chenal sont représentées à la figure 32.

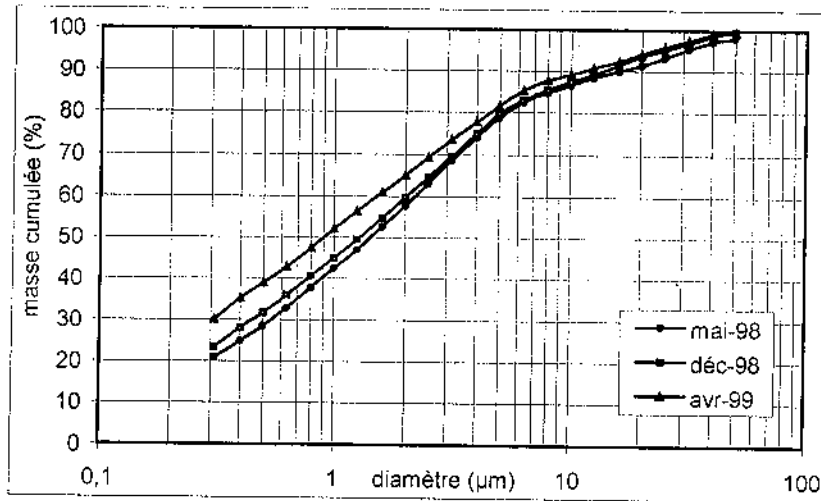


Figure 32 : Courbes microgranulométriques à la station de Gandiol (milieu)

Au niveau de cette station, les argiles ( $< 2\mu\text{m}$ ) prédominent généralement par rapport aux silts (compris entre  $50\mu\text{m}$  et  $2\mu\text{m}$ ), aussi bien en fin de saison des pluies qu'en saison sèche. Les teneurs en argiles les plus élevées ont été observées au milieu du chenal en fin de saison des pluies de 1998 (53,5% du sédiment). Globalement on note un léger affinement du matériau dans le temps au milieu du chenal avec une médiane qui passe de  $1,43\mu\text{m}$  en mai 1998 à  $0,91\mu\text{m}$  en avril 1999 (Fig. 32).

### 1.2. Station de Mermoz

La fraction fine est globalement plus importante dans les sédiments qu'à la station de Gandiol, avec des teneurs variant entre 93,7% et 98,6% observées au milieu du chenal. Elle est négligeable sur la rive gauche (3,3% à 25,6%) et parfois absente sur la rive droite entre décembre 1998 et avril 1999. Quelques courbes microgranulométriques des sédiments prélevés au milieu du chenal sont représentées à la figure 33.

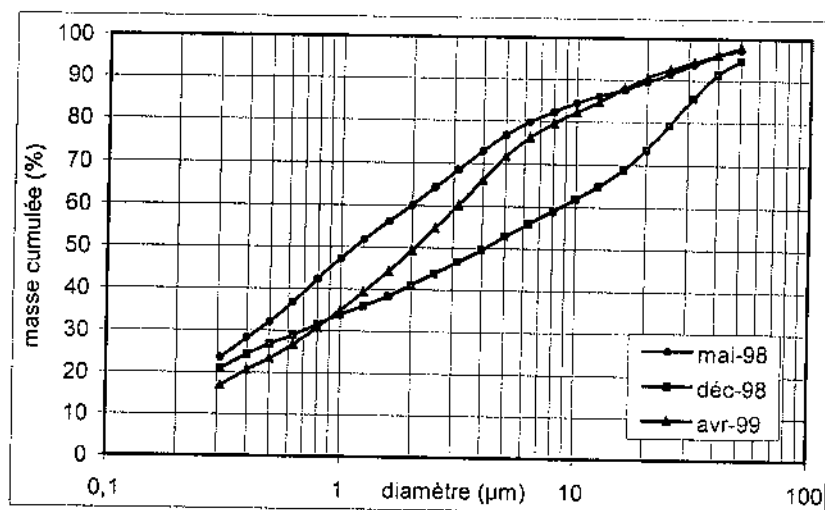


Figure 33 : Courbes microgranulométriques à la station de Mermoz (milieu)

Pendant la saison sèche de 1998, cette fraction fine s'est distribuée sur tout le profil avec des teneurs en argiles assez élevées, observées surtout au milieu du chenal (57,9% du sédiment). En fin de saison des pluies de 1998, nous avons observé une réduction des argiles (38,5%) au profit des silts (55,2%), au milieu du chenal. Pendant la période sèche de 1999, les teneurs en silts et en argiles deviennent sensiblement équivalentes (Fig. 33).

### 1.2. Station de Gaston-Berger

A ce niveau où le chenal est caractérisé par des conditions hydrodynamiques plus calmes que vers l'embouchure, les teneurs en matériaux fins deviennent très importantes dans les sédiments. Ils se distribuent sur tout le profil avec des teneurs variant entre 91,5% et 97,5% au milieu du chenal, 47,3% et 50,5% sur la rive droite. Cependant, ces teneurs restent faibles sur la rive gauche (10,1% à 22,3%). Quelques courbes microgranulométriques des sédiments prélevés au milieu du chenal sont représentées à la figure 34.

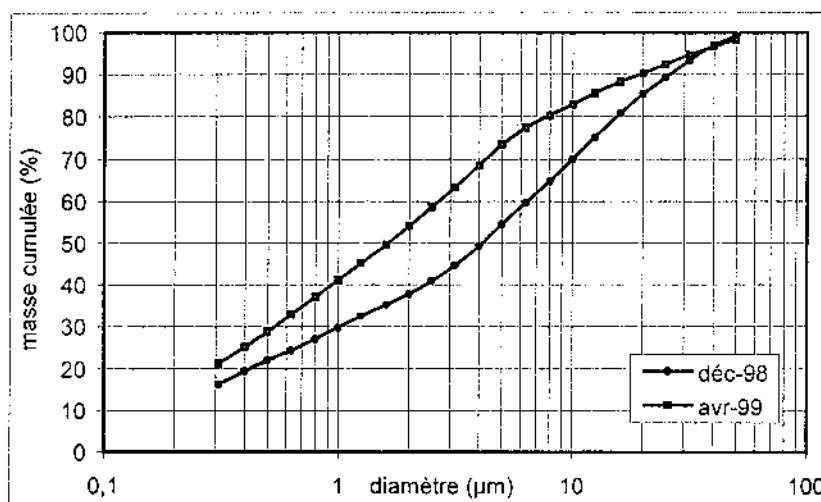


Figure 34 : Courbes microgranulométriques à la station de Gaston Berger (milieu)

Les silts prédominent généralement par rapport aux argiles aussi bien en fin de saison des pluies qu'en saison sèche. Leurs teneurs les plus élevées ont été observées en fin d'hivernage (27,2% sur la rive droite et 56,9% au milieu du chenal). Cependant, la saison sèche montre parfois un léger affinement du matériau avec des teneurs en argiles pouvant atteindre 52,6% du sédiment au milieu du chenal (Fig. 34).

### 1.4. Station de Diamo aval

La fraction fine est toujours importante dans les sédiments quelque soit le point de prélèvement sur le profil avec un maximum 86,3% observé au milieu du chenal. Quelques courbes microgranulométriques des sédiments prélevés au milieu du chenal sont représentées à la figure 35.

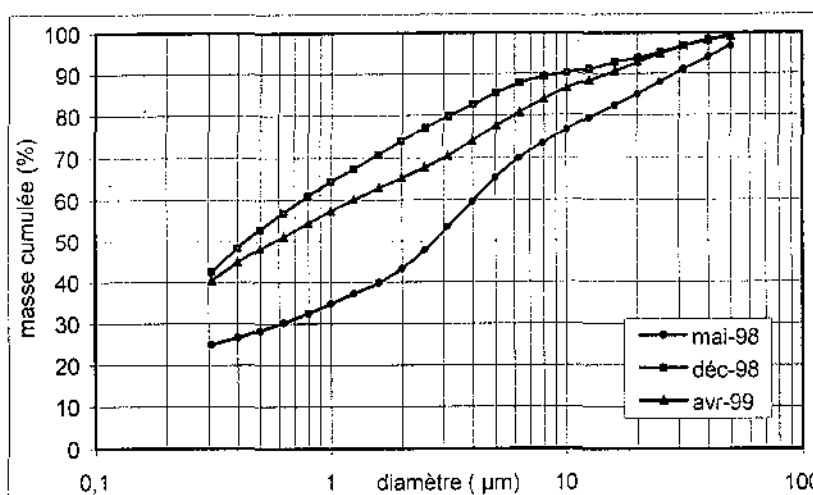


Figure 35 : Courbes microgranulométriques à la station de Dama aval (milieu)

Au niveau de cette station, la distribution de ces matériaux fins sur le profil montre une très grande variabilité suivant les fluctuations saisonnières. Pendant la période sèche de 1998, les silts ont largement prédominé par rapport aux argiles sur tout le profil, avec une teneur de 49% des sédiments observée au milieu du chenal.

Cependant, en décembre 1998 et en avril 1999, nous avons observé un phénomène inverse sur la rive droite et au milieu du chenal. Les argiles deviennent prépondérantes par rapport aux silts avec des teneurs maximales de 55,3% observées au milieu du chenal. Les silts restent généralement prédominants sur la rive gauche (43,9% du sédiment). Globalement nous avons observé un affinement des matériaux notamment en fin de crue, sur la rive droite et au milieu du chenal (Fig. 35).

### Conclusion

Globalement dans le bief estuarien en aval de Dama, la fraction fine ( $< 50\mu\text{m}$ ) n'est relativement bien représentée dans les sédiments qu'à partir de Gandiol, où elle atteint environ 90% des sédiments au milieu du chenal. Vers l'embouchure, elle est négligeable voire absente sur tout le profil. Dès qu'on remonte le bief estuarien, où le chenal est plus soustrait des influences marines, ces matériaux fins deviennent prépondérants dans les sédiments (environ 98%).

En aval de Saint-Louis, la fraction fine est moins bien représentée dans les sédiments. Sa forte teneur parfois observée en saison sèche (plus calme) se localise généralement au milieu du chenal. Les argiles sont généralement prédominantes vers Gandiol, à Mermoz on observe une légère réduction de leurs teneurs au profit des silts

En amont de Saint-Louis où le chenal est caractérisé par des conditions hydrodynamiques plus calmes surtout en saison sèche, les sédiments sont relativement plus vaseux. Les silts deviennent prépondérants et les plus fortes teneurs sont généralement observées en fin d'hivernage sur la rive droite et au milieu du chenal. Cependant, ils sont relativement plus concentrés sur la rive gauche à l'aval immédiat du barrage. En saison sèche, le milieu du chenal et la rive droite se chargent parfois en argiles.

## 2. Evolution de la fraction fine à l'amont du barrage de Diama

### 2.1. Station de Diama amont

Globalement la fraction fine devient très importante dans les sédiments aussi bien en saison sèche qu'en fin de crue. Les fortes teneurs variant entre 99,5% et 99,8% en avril 1999, se localisent sur la rive droite et au milieu du chenal. Cependant, elle reste toujours faiblement représentée dans les sédiments prélevés sur la rive gauche (moins de 40%). Quelques courbes microgranulométriques des sédiments prélevés au milieu du chenal sont représentées à la figure 36.

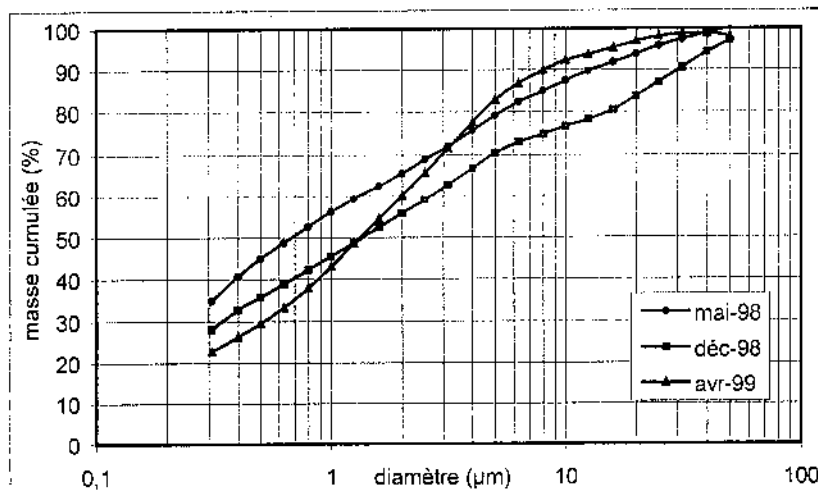


Figure 36 : Courbes microgranulométriques à la station de Diama amont (milieu)

Contrairement à ce que nous avons observé à la station de Diama aval, les silts deviennent prépondérants sur la rive droite avec une teneur maximale de 62,5% observée en avril 1999. Par contre, au milieu du chenal les argiles restent toujours importantes avec des teneurs maximales variant entre 59,8% et 64,8% des sédiments prélevés en saison sèche.

Globalement on note un affinement de ces matériaux dans le temps, notamment sur la rive droite avec une médiane qui passe de 12,24 µm en Mai 1998 à 3,32 µm en avril 1999. Cependant, sur la rive gauche et au milieu du chenal on observe une légère augmentation de la taille des matériaux en fin de crue (Fig. 36).

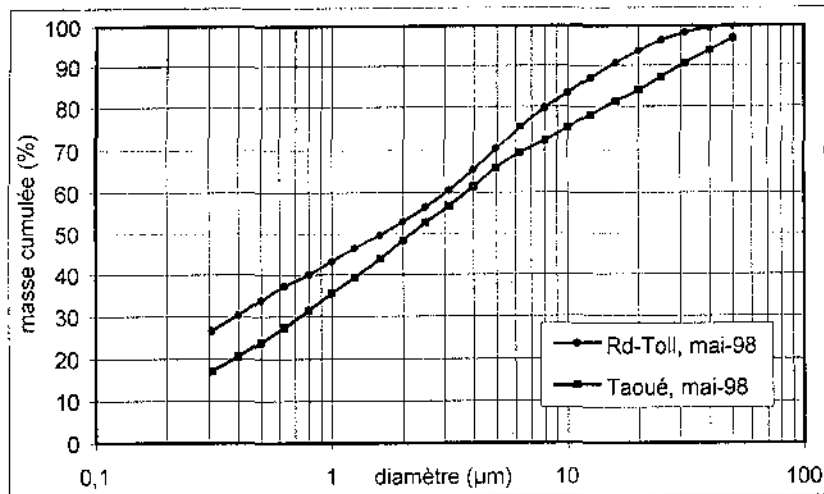
### 2.2. Station de Richard-Toll

Cette station n'a été échantillonnée que pendant la campagne de 1998. Les matériaux fins sont toujours importants dans les sédiments surtout pendant la période sèche, avec des teneurs variant entre 77% et 99,2%.

En fin d'hivernage, nous avons observé une forte réduction de leurs teneurs au profit des sables sur la rive gauche (moins de 2% du sédiment). Sur la rive droite, ils sont relativement bien représentés dans les sédiments (57,9%).

Au niveau de la Taoué, ces matériaux fins sont relativement bien représentés dans les sédiments prélevés sur la rive droite (51,2%) et faiblement représentés au milieu du chenal (14,7% du sédiment). Quelques courbes microgranulométriques des sédiments prélevés au milieu des chenaux sont représentées à la figure 37.





**Figure 36 : Courbes microgranulométriques à la station de Richard –Toll / Taoué (milieu)**

Dans le chenal principal, pendant la saison sèche, les teneurs en silts sont plus élevées sur les rives (52,6% sur la rive gauche et 45,7% sur la rive droite). Pendant ce temps le milieu du chenal se charge en argiles (52,5%).

En fin de crue les silts (45% du sédiment) restent toujours prépondérants par rapport aux argiles (12,9%) sur la rive droite. Par contre, au niveau de la Taoué, les argiles (31,1%) prédominent légèrement par rapport aux silts (20,1%) sur la rive droite en saison sèche.

### Conclusion

Dans cette partie amont du barrage où les apports continentaux dominent largement, les matériaux fins ou lutites sont relativement plus importants dans les sédiments que dans la partie aval. Les silts ont généralement dominé sur la rive droite aussi bien en saison sèche qu'en saison des pluies. Cette distribution des matériaux se poursuit jusqu'à Richard-Toll. Les argiles sont généralement concentrées au milieu du chenal.

Globalement nous avons observé une accentuation de la teneur des matériaux fins dans la partie amont du barrage. Les teneurs les plus élevées (99,5% à 99,8%) ont été observées au milieu du chenal et sur la rive droite. Cette accumulation d'alluvions fluviales serait due à l'effet de piégeage du barrage dans la zone de retenue d'eau.

Au niveau de la Taoué, où le chenal est limité sur sa rive gauche par les dunes ogoliennes du Diéri, la fraction fine devient faiblement représentée par rapport aux sables.

## SYNTHESE DES RESULTATS ET DISCUSSION

### I. Aspects morphologiques

#### 1. Evolution de la morphologie aérienne de l'estuaire en aval de Saint-Louis

Dans l'ensemble elle est relativement accidentée en aval de Saint-Louis où ont été réalisés les profils topographiques.

Vers l'embouchure la flèche sableuse de la Langue de Barbarie est basse et présente des pentes très faibles (< 2%). A ce niveau, la rive gauche limitée par un système dunaire est caractérisée par des pentes plus fortes. Les profils aériens présentent une alternance de parties concaves et de parties convexes aussi bien sur le cordon qu'à la base des dunes.

Au delà de Gandiol, les cordons dunaires disparaissent sur la rive gauche qui devient relativement plus basse jusqu'à Saint-Louis. Cependant, sur la rive droite le chenal est toujours limité par la Langue de Barbarie qui devient plus accidentée. Cette flèche littorale est caractérisée par une série de cordons dunaires plus élevés et présente des pentes assez fortes à ce niveau (parfois > 5%). Les profils topographiques présentent une alternance de parties concaves et convexes sur le cordon et deviennent sensiblement rectilignes et plus pentus à la base des dunes.

Les mouvements sédimentaires ne sont pas uniformes, mais on observe dans la majeure partie des cas, une alternance de dépôts et d'érosion avec cependant une prédominance de l'accumulation sur les cordons dunaires alors que les berges sont généralement dominées par l'érosion.

#### 2. Evolution de la morphologie du chenal

Les profils bathymétriques que nous avons enregistré montrent une grande variabilité de la morphologie des fonds entre l'embouchure et Richard-Toll.

##### - Evolution des mouvements sédimentaires

L'évolution morphologique du chenal est déterminée par les mouvements sédimentaires. Au cours de notre étude, la comparaison des profils bathymétriques a été réalisée durant une courte période allant de juillet 1998 à décembre 1998.

Les études déjà réalisées à la base de Gandiol pendant les crues de 1989 (Diouf *et al.*, 1990) et de 1991 (Kane et Barusseau, 1993) ont montré que le chenal en aval de Diama est caractérisé par un régime actuel d'érosion et que les rares dépôts observés ont lieu en rive droite, à proximité de la Langue de Barbarie.

Pendant la crue de 1998, cette érosion observée par Diouf *et al.* (1990) et Kane et Barusseau (1993) dans le bief estuarien, s'est généralement localisée sur les flancs du chenal et sur les berges. En effet le recul général des berges suite à l'érosion, serait lié à l'intensification des vitesses du jusant observée à la surface de l'eau au moment des lâchers (Bâ, 1992). Cependant, l'accumulation a faiblement dominé au milieu du chenal grâce aux apports par les eaux de crue.

Dans la zone de retenue du barrage, l'accumulation est généralement observée sur tout le profil, cependant elle est plus accentuée au milieu du chenal. Ces dépôts seraient liés à l'effet de piégeage du barrage. L'érosion s'observe généralement sur les berges de la rive gauche.

### - Evolution de la largeur et de la profondeur du chenal

Le chenal est assez large en aval du barrage, la largeur est généralement supérieure à 500m sauf vers l'embouchure où elle est aux environs de 400m. A l'amont du barrage, le chenal est plus rétréci, avec une largeur inférieure généralement à 400m. Les profondeurs maximales du chenal varient en fonction de la distance de l'embouchure. Elles sont faibles et variables à l'embouchure (de 4,5m à 5,3m) et deviennent de plus en plus élevées vers l'amont où elles atteignent des maxima de 13,7m à 14,1m à Richard-Toll.

A l'embouchure, Gandiol, Diama aval et Diama amont où nous détenons des données de profondeurs antérieures (Kane, 1985 et Kane *et al.*, 1990), nous avons constaté quelques variations de la profondeur du chenal.

A l'embouchure, elles ont varié entre 5m en 1989 et 4,5 à 5,3m en 1998. Ce qui confirmerait l'instabilité des fonds due au déplacement fréquent de la barre sableuse déjà observé à ce niveau (Kane, 1985).

A Gandiol, elles ont varié entre 6,5m en 1989 et 6,6 à 6,7m en 1998, d'où une légère modification du fond suite à de faibles mouvements érosifs au milieu du chenal.

Cependant, de part et d'autre du barrage de Diama ces modifications sont caractérisées par un régime d'érosion intense au milieu du chenal.

- A l'aval, la profondeur passe de 9,5m en 1989 à 11,9m en 1998 soit un approfondissement moyen d'environ 27cm par an.
- A l'amont, elle passe de 9,6m en 1989 à 11,5m en 1998 soit un approfondissement moyen d'environ 21cm par an.

Ce phénomène érosif pourrait être lié à l'ampleur de la dynamique fluviale sur le fond à ce niveau, suite aux mouvements des vannes du barrage.

Ces résultats ont montré que l'impact du barrage sur l'évolution morphologique du chenal est faiblement ressenti actuellement dans la zone d'embouchure. Aux environs du barrage il est caractérisé par un régime d'érosion intense notamment au milieu du chenal.

### - Evolution de la forme du chenal

L'ensemble des profils bathymétriques déjà réalisés à la base de Gandiol ont montré que les fonds sont très irréguliers, avec des flancs généralement dissymétriques (Diouf *et al.*, 1990 ; Kane et Barusseau, 1993). Ce phénomène s'accroît actuellement dans la zone d'embouchure. Cependant, ces profils bathymétriques deviennent relativement symétriques et plus réguliers vers l'amont.

A Gandiol particulièrement, la forme caractéristique en V du fond étroit du chenal observée par Kane et Barusseau (1993), persiste encore. Ce qui indiquerait que l'influence des mouvements sédimentaires sur la morphologie du chenal, reste encore faible à ce niveau.

La symétrie des flancs caractérisée par la position de l'axe du chenal par rapport aux rives, montre une très grande variabilité de forme du chenal en aval de Diama.

En aval du barrage, l'axe du chenal se localise dans la majeure partie des cas du côté de la rive droite. Ce qui fait que les profils bathymétriques sont généralement dissymétriques avec des pentes fortes sur le flanc droit. Alors que, le flanc gauche présente des pentes fortes vers le haut du profil, devenant faible vers le bas. Cette morphologie est surtout observée en aval de Saint-Louis. En amont de Saint-Louis, les pentes sont faibles vers le haut du profil et deviennent fortes vers le bas.

Cependant, il faut noter qu'aux stations de Gandiol, de Keur-Bernard et de Gaston-Berger, nous avons observé une morphologie inverse, l'axe se localise plutôt vers la rive gauche. A Mboumbaye l'axe du chenal se localise sensiblement au milieu, ce qui fait que le profil bathymétrique est relativement symétrique.

En amont du barrage où le chenal est plus profond, les flancs sont relativement symétriques et les pentes deviennent très fortes. A Mbagam, les flancs du chenal ont une forme relativement concave, alors qu'à Richard -Toll, ils sont relativement convexes.

## II. Aspects sédimentologiques

### 1. Evolution de la fraction grossière (> 50 $\mu$ m)

Vers l'embouchure où le chenal est bordé par des cordons dunaires, le lit du fleuve se charge en sables. Ces derniers sont généralement à grains moyens ( $M_z$  compris entre  $2\phi$  et  $1\phi$ ) et plus homogènes. Vers l'amont où les formations sont constituées par des dépôts fluvio-deltaïques sableux fins silto-argileux (Michel, 1990 et 1993), le lit du fleuve se charge en sables fins à très fins et plus hétérogènes. Ce phénomène déjà observé par Monteillet *et al.* (1990), Kane *et al.* (1990), et Kane et Barusseau (1993) s'accompagne aussi d'une diminution de la fraction grossière vers l'amont.

#### - Evolution des sables à l'aval du barrage

Globalement la fraction grossière renferme peu de fragments de coquille. Leurs teneurs les plus élevées sont observées vers l'embouchure et se localisent sur la rive gauche (3,4% à 5%) et au milieu du chenal (4%).

Cependant, nous avons observé des teneurs importantes de gravillons ferrugineux dans les sédiments prélevés entre Dakar-Bango et Diama (3,4% à 7,9% de la fraction grossière). Ces gravillons ferrugineux correspondraient à d'anciennes racines de palétuviers postérieurement ferruginisées. Ce phénomène est particulièrement fréquent dans les zones à mangrove (Paskoff, 1994). Cette minéralisation de la matière organique serait liée aux teneurs élevées en oxygène dissous observées dans cette partie de l'estuaire (Bâ, 1988).

De l'embouchure à Keur-Bernard, les sables sont plus grossiers sur la rive gauche surtout en fin d'hivernage alors que la rive droite limitée par la Langue de Barbarie se charge en sables fins ( $M_z$  compris entre  $3\phi$  et  $2\phi$ ) et plus homogènes. La distribution des sables est sensiblement symétrique. Au delà de Keur-Bernard, les sables deviennent négligeables au milieu du chenal au profit de la fraction fine.

A Mermoz (Sud de la ville de Saint-Louis) et Bop-Tior (Nord de la ville de Saint-Louis), les sables les plus grossiers se localisent plutôt sur la rive droite. Au delà de Bop Tior où les apports continentaux dominent largement dans les sédiments, les sables deviennent davantage hétérométriques. Ces sables sont essentiellement fins sur la rive gauche avec une

asymétrie du côté des fins, à très fins sur la rive droite avec une asymétrie du côté des grossiers. Cette répartition spatiale des sables se poursuit jusqu'à l'aval immédiat du barrage de Diama.

Le bief estuarien en aval de Diama est sous l'influence marine pendant les huit mois de l'année. Les sables se caractérisent par une augmentation de la taille des grains notamment sur les rives en fin de crue. Ce phénomène est probablement dû à l'effet érosif des eaux de crue sur les berges, auquel s'ajoutent les apports marins.

#### **- Evolution des sables à l'amont du barrage**

A l'amont du barrage de Diama, l'accumulation s'est accentuée pendant la saison humide de 1998. Dans ce transect caractérisé essentiellement par un empilement des alluvions fluviatiles dans la zone de retenue d'eau (Sall et Kane, 1993), les sables sont fins à très fins et plus homogènes que ceux de l'aval immédiat du barrage. Cependant, sur la rive gauche, ces dépôts montrent une tendance légèrement plus grossière que ceux de la rive droite. L'asymétrie est généralement du côté des fins ; cette répartition des matériaux se poursuit jusqu'aux environs de Richard-Toll.

A Richard-Toll, nous avons constaté une légère diminution de la taille des grains notamment sur la rive droite et au milieu du chenal. Par contre, sur la rive gauche et au niveau de la Taoué où le chenal est bordé vers l'Est par les dunes ogoliennes du Diéri (Michel, 1990), le chenal se charge en sables plus grossiers de couleur brun-rouge, qui proviendraient de ces dunes.

#### **2. Evolution de la fraction fine (< 50µm)**

Vers l'embouchure où le chenal est limité par des cordons dunaires et où la marée est plus intense (Bâ, 1992), les lutites sont négligeables voire absents. Dès qu'on remonte le bief estuarien, où le chenal est limité par des dépôts fluviodeltaïques (sables fins, silts-argiles) et où les actions marines sont réduites, les lutites deviennent très importants dans les sédiments.

Cette distribution déjà observée par Kane *et al.* (1990) et Kane et Barusseau (1993), suit une logique géographique à laquelle les fluctuations saisonnières ajoutent un nouvel élément de variabilité.

#### **- Evolution de la fraction fine à l'aval du barrage**

En aval de Saint-Louis, les fortes teneurs de ces matériaux fins s'observent surtout en saison sèche (plus calme). Pendant les crues, en liaison avec une réduction de leurs teneurs sur les rives, ils se localisent généralement au milieu du chenal.

A Gandiol, où la fraction fine atteint des teneurs relativement importantes notamment au milieu du chenal, les argiles sont prépondérantes par rapport aux silts. Vers Mermoz, nous avons observé une légère réduction de leurs teneurs au profit des silts.

En amont de Saint-Louis, malgré l'effet du vannage par les eaux de crue (Kane et Barusseau, 1993), la fraction fine devient très importante dans les sédiments aussi bien en saison sèche qu'en fin d'hivernage.

Entre Gaston Berger et Diama, les silts sont prépondérants par rapport aux argiles surtout en fin d'hivernage. A l'aval immédiat du barrage, les teneurs les plus élevées en silts se localisent sur la rive gauche. Cependant, Les argiles restent toujours prépondérantes au milieu du chenal.

### - Evolution de la fraction fine à l'amont du barrage

A l'amont du barrage, la fraction fine est toujours importante. Les sédiments deviennent généralement plus vaseux. Les fortes teneurs en silts observées se localisent sur la rive droite alors que le milieu du chenal et la rive gauche se chargent en argiles. Cette distribution des matériaux dans l'espace, se poursuit jusqu'à Richard - Toll avec une légère diminution de la teneur des matériaux fins.

Par rapport aux études antérieures (Kane *et al.*, 1990 ; Kane et Barusseau, 1993 et Sall et Kane, 1993), nous avons constaté une forte réduction des teneurs de cette fraction fine dans le bief estuarien en aval de Diama, notamment sur les rives. Ce phénomène pourrait être dû à l'effet érosif du jusant sur les berges observé au moment des lâchers.

Aux environs du barrage, nous avons constaté une accentuation des teneurs de cette fraction fine, avec cependant, une réduction des argiles au profit des silts. Ce phénomène qui confirmerait l'empilement des alluvions fluviales déjà observé par Sall et Kane (1993), pourrait contribuer sans cesse à l'effet d'envasement du barrage de Diama.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude de l'impact du barrage de Diama sur les caractéristiques morphologiques et sédimentologiques du Delta et de l'estuaire du fleuve Sénégal, nous a permis de mettre en évidence deux types d'évolution différentes, entre le bief aval de l'estuaire et la partie amont du barrage.

- Sur le plan morphologique, le chenal moins profond et plus large à l'aval, est caractérisé par des flancs généralement dissymétriques et des pentes moins fortes. Vers l'amont, le chenal est moins large et généralement plus profond, les flancs deviennent relativement symétriques et les pentes s'accroissent. Cependant, nous avons constaté un approfondissement moyen de 21cm à 27cm par an dans le chenal aux environs du barrage entre 1989 et 1998.

L'étude de l'évolution des mouvements sédimentaires entre juillet et décembre 1998 a mis en évidence un caractère érosif sur les flancs du chenal et les berges. Ce qui entraîne ainsi le recul des berges notamment dans la partie aval du barrage, alors que le chenal s'engraisse faiblement. Vers l'amont, cet engraissement s'accroît généralement sur le flanc droit et dans tout le chenal, alors que les berges de la rive gauche sont parfois caractérisées par un régime érosif.

- Sur le plan sédimentologique, l'évolution du bief aval entre 1997 et 1999, a montré des caractères à peu près conformes à ceux observés pendant les années qui ont suivi la mise en eau du barrage de Diama.

Vers l'embouchure, les sables sont à grains moyens à fins et plus homogènes. Cependant, nous avons observé une augmentation du diamètre moyen du grain en fin d'hivernage notamment sur les rives. La fraction fine est faiblement représentée dans les sédiments prélevés sur les rives et relativement importante au milieu du chenal avec des teneurs assez élevées en argiles.

Vers l'amont, les sables deviennent fins à très fins et plus hétérogènes et leurs teneurs diminuent considérablement. La fraction fine devient très importante dans les sédiments avec une accentuation des teneurs en silts due à l'effet de piégeage des sédiments par le barrage de Diama.

L'étude morphologique ayant porté sur une très courte période allant de juillet 1998 à décembre 1998, il serait nécessaire de continuer ce suivi, afin de mieux apprécier le taux de recul des berges et de quantifier les mouvements sédimentaires.

Cette étude devrait être couplée à des mesures courantométriques, afin de mieux cerner les caractéristiques des agents dynamiques, responsables des phénomènes érosifs observés dans le chenal aux environs du barrage de Diama.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Bâ M. (1988) – Hydrologie de l'estuaire du Sénégal : impact du barrage de Diama. *In* : Rapport Final EPEEC, UNESCO, Div. Sciences de la Mer, PNUD, Dakar, 16-32 p.
- Bâ M. (1992) – Les eaux estuariennes du fleuve Sénégal : impact des barrages de Diama et de Manantali. *In* : Rapport technique CRDI, Eaux estuariennes/Sénégal, Dakar, n° 89, -0074, 59 p.
- Bâ M. (1993) – Les masses d'eau de la partie estuarienne du fleuve Sénégal. *In* : Projet CAMPUS : L'Après barrage dans la vallée du Sénégal. Rapp. Synth, Perpignan, 41-51 p.
- Barusseau J.P. (1990) – L'hydrodynamique et l'érosion côtière. Rapp. Techn. UNESCO-COMARAF, Dakar, 3, 36 p.
- Barusseau J.P., Descamps C., Diouf B., Kane A. et Saos J.L. (1993) – Processus hydro et morphosédimentaires et stabilité de la façade du delta du Sénégal. *In* : Projet CAMPUS : L'Après barrage dans la vallée du Sénégal. Rapp. Synth., Perpignan, 83-99 p.
- Diop E.S. (1990) – Caractères hydrodynamiques de l'estuaire du Sénégal. *In* : Rapp. Techn. UNESCO-COMARAF, Dakar, 4, 4 -16 p.
- Diouf B. M. (1989) – Sédimentologie, Minéralogie et Géochimie des grès carbonatés quaternaires du littoral sénégal - mauritanien. Thèse de Doctorat, Univ. Perpignan, 237 p.
- Diouf B. M. (1993) – Evolution interannuelle des environnements littoraux au Sénégal : exemple du littoral de la Langue de Barbarie. *In* : Gestion des ressources côtières et littorales du Sénégal, Actes de l'atelier de Gorée 27-29 juillet 1992, Dakar, 113-120 p.
- Diouf B., Barusseau J.P., Kane A. (1990) – Evolution de la zone d'embouchure du fleuve Sénégal : bilan des premières observations morphosédimentaires. *In* : Rapp. Tech. UNESCO-COMARAF, Dakar, 4, 16-29 p.
- Diouf B. et Fall M. (1998) – Principaux événements paléoclimatiques dans le Bassin sénégal - mauritanien depuis 125 Ka.. Paléocéologie of Africa – Volume 25. 13–20 p.
- Fall M. (1986) – Environnements sédimentaires quaternaires et actuels des tourbières de la grande côte du sénégal. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Uni. Cheikh Anta Diop. 136 p
- Folk R.L., Ward W.C. (1957) – Brazos River bar , a study of the significance of grainsize parameters. *J. Sedim. Petrol.*, Tulsa (OkL), 27 (1), 3-2, 19 fig.
- Frécaut R. (1982) – Eléments d'hydrologie et dynamique fluviale. *In* : Hydrologie et dynamique fluviale des régions chaudes et humides des basses latitudes. Université Nancy II, 147 p.



- Gac J.Y., Kane A. et Monteillet J. (1981) – Migrations de l'embouchure du fleuve Sénégal depuis 1850. ORSTOM, sec. Géologie, XII, 1, 151, 73-75 p.
- Kane A. (1985) – Le bassin du Sénégal à l'embouchure. Flux continentaux dissous et particulaires. Invasion marine de la basse vallée du fleuve. Contribution à l'hydrologie fluviale et à la dynamique estuarienne en milieu sahélien. Thèse Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle, Univ. Nancy II, 230 p.
- Kane A., Barousseau J.P. (1993) – Caractères hydrologiques, sédimentologiques et morphologiques du bas estuaire du Sénégal. *In* : Projet CAMPUS : L'Après barrage dans la vallée du Sénégal. Rapp. Synth., Perpignan, 54 -62 p.
- Kane A., Saos J.L., Monteillet J. (1990) – Environnements sédimentaires du bas - Sénégal après la mise en eau du barrage de Diama. Analyses granulométriques. *In* : Rapp. Techn. UNESCO-COMARAF, Dakar, 4, 30-38 p.
- Michel P. (1959) – L'évolution géomorphologique du bassin du Sénégal et de la Haute-Gambie. Ses rapports avec la prospection minière. *Revue de Géomorphologie Dynamique*, t. X, n° 5-12, 117-143 p.
- Michel P. (1967) – Les dépôts du Quaternaire récent dans la basse vallée du Sénégal. Bull. IFAN, série A, n° 2, 853-860 p.
- Michel P. (1990) – La vallée du Sénégal : milieu naturel, mise en valeur et aménagements. CEGET, Bordeaux, Espaces Tropicaux 2, 89-109 p.
- Michel P. (1993) – Partie inférieure de la vallée alluviale du Sénégal : le milieu naturel et sa dégradation. *In* : Projet CAMPUS : L'Après barrage dans la vallée du Sénégal. Rapp. Synth., Perpignan, 1-2 p.
- Michel P., Elouard P. et Faure H. (1968) – Nouvelles recherches sur le Quaternaire récent de la région de Saint-Louis (Sénégal). Bull. IFAN, série A, n° 1, 38 p.
- Monciardini C. (1965) – La sédimentation Eocène au Sénégal. Mémoire B.R.G.M ; n° 43 105p., 16 pl. L ; T.
- Monteillet J., Kane A., Saos J.L. et Diouf B. (1990) – Environnements sédimentaires du bas Sénégal après la mise en eau du barrage de Diama : analyse des particules supérieures à 100 µm. *In* : Rapp. Techn. UNESCO-COMARAF, DAKAR, 4 , 39-52 p.
- OMVS (1990) – Fleuve Sénégal, Dakar, 34 p.
- Paskoff R. (1994) – Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution. Edit. Masson, Paris, Milan, Barcelone. 153-204 p.
- Reizer (1974) – Définition d'une politique d'aménagement des ressources halieutiques d'un écosystème aquatique complexe par l'étude de son environnement abiotique, biotique et anthropique. Thèse Doctorale, ARLON FUL, 6 vol. 525 p.

- Sall M. (1993) – Dynamique éolienne dans la moyenne vallée et le delta du Sénégal. *In* : Projet CAMPUS : L'Après barrage dans la vallée du Sénégal. Rapp. Synth., Perpignan, 9-17 p.
- Sall. M. et Kane A. (1993) – Hydrologie et hydrodynamique dans la moyenne vallée et le delta du Sénégal. *In* : Projet CAMPUS : L'Après barrage dans la vallée du Sénégal. Rapp. Synth., Perpignan, 19-27 p.
- Tricart J. (1961) – Notice explicative de la carte géomorphologique du delta du Sénégal. Mém. B.R.G.M., 9, 137 p.

## TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION .....	1
PREMIERE PARTIE : GENERALITES ET METHODOLOGIE D'ETUDE .....	2
CHAPITRE I : CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE.....	3
<b>I. Cadre géologique et géomorphologique</b> .....	3
<b>1. Cadre géologique</b> .....	3
1.1. L'Eocène.....	3
1.2. Le Pléistocène.....	3
1.3. L'Holocène .....	5
<b>2. Cadre géomorphologique</b> .....	5
2.1. Le système dunaire de l'Akcharien .....	5
2.2. Le système dunaire de l'Ogolien .....	6
2.3. Le système dunaire tafolien et subactuel.....	6
2.4. L'évolution récente.....	6
<b>II. Réseau hydrographique</b> .....	7
<b>III. Etat des études antérieures</b> .....	9
<b>IV. Facteurs de la morphogenèse</b> .....	10
<b>1. Les facteurs climatiques</b> .....	10
1.1. La pluviométrie .....	10
1.2. Les vents.....	10
1.3. Les températures.....	10
1.4. L'évaporation .....	11
<b>2. Les Facteurs anthropiques</b> .....	11
2.1. Le barrage anti-sel de Diama.....	11
2.2. Le barrage de Manantali.....	11
<b>3. Les facteurs hydrodynamiques</b> .....	13
3.1. Le régime de l'avant barrage.....	13
3.2. Le régime de l'après barrage .....	13
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODOLOGIE D'ETUDE.....	14
<b>I. Acquisition des données sur le terrain</b> .....	14
<b>1. Données morphologiques</b> .....	14
1.1. Le suivi topographique .....	14
1.2. Le suivi bathymétrique .....	14
<b>2. Données sédimentologiques</b> .....	14
<b>II. Traitement des données au laboratoire</b> .....	16
<b>1. Données morphologiques</b> .....	16
<b>2. Données sédimentologiques</b> .....	16
2.1. Granulométrie des sables (fraction > 50µm).....	16
2.1.1. Paramètres granulométriques de Folk et Ward (1957).....	16
2.1.2. Homogénéité des matériaux .....	18
2.2. Granulométrie des matériaux fins (fraction < 50µm).....	18

<b>DEUXIEME PARTIE : PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....	20
<b>CHAPITRE III : ANALYSE MORPHOLOGIQUE</b> .....	21
<b>I. Evolution morphologique à l'aval du barrage de Diama</b> .....	21
1. Station de Taré (embouchure) .....	21
2. Station de Mboumbaye.....	22
3. Station de Gandiol .....	24
4. Station de Keur Bernard .....	25
5. Station de Mermoz .....	26
6. Station de Bop Tior .....	27
7. Station de Gaston Berger.....	28
8. Station de Thiallakh.....	29
9. Station de Diama aval.....	30
Conclusion.....	30
<b>II. Evolution morphologique à l'amont du barrage de Diama</b> .....	31
1. Station de Diama amont .....	31
2. Station de Mbagam.....	32
3. Station de Richard – Toll.....	32
Conclusion.....	33
<b>CHAPITRE IV : ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE</b> .....	34
<b>I. Analyse granulométrique des sables (&gt; 50 µm)</b> .....	34
<b>1. Evolution des sables à l'aval du barrage de Diama</b> .....	34
1.1. Station de Taré (embouchure) .....	34
1.2. Station de Mboumbaye.....	35
1.3. Station de Gandiol .....	35
1.4. Station de Keur Bernard .....	36
1.5. Station de Mermoz .....	36
1.6. Station de Bop Tior .....	37
1.7. Station de Gaston Berger.....	38
1.8. Station de l'île aux bois.....	38
1.9. Station de Thiallakh.....	39
1.10. Station de Diama aval.....	40
Conclusion.....	40
<b>2. Evolution des sables à l'amont du barrage de Diama</b> .....	41
2.1. Station de Diama amont .....	41
2.2. Station de l'île de Tieng .....	41
2.3. Stations de Débi et Mbagam.....	42
2.4. Station de Richard – Toll.....	43
Conclusion.....	44
<b>II. Analyse granulométrique de la fraction fine (&lt; 50 µm)</b> .....	44
<b>1. Evolution de la fraction fine à l'aval du barrage de Diama</b> .....	44
1.1. Station de Gandiol .....	44
1.2. Station de Mermoz .....	45
1.3. Station de Gaston Berger.....	46
1.4. Station de Diama aval.....	46
Conclusion.....	47

<b>2. Evolution de la fraction fine à l'amont du barrage de Diama</b> .....	48
2.1. Station de Diama amont .....	48
2.2. Station de Richard – Toll.....	48
Conclusion.....	49
<b>SYNTHESE DES RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	50
<b>CONCLUSION GENERALE</b> .....	55
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	56
<b>TABLE DES MATIERES</b>	
<b>LISTE DES FIGURES</b>	
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	
<b>ANNEXES</b>	

## LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 Localisation du secteur d'étude.
- Fig. 2 Réseau hydrographique dans le bassin (A) et dans le delta (B) du fleuve Sénégal.
- Fig. 3 Schéma de fonctionnement du barrage de Diama.
- Fig. 4 Localisation des stations.
- Fig. 5 Comparaison des profils à la station de Taré.
- Fig. 6 Comparaison des profils à la station de Mboumbaye.
- Fig. 7 Comparaison des profils à la station de Gandiol.
- Fig. 8 Comparaison des profils à la station de Keur Bernard.
- Fig. 9 Comparaison des profils à la station de Mermoz.
- Fig. 10 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Bop Tior.
- Fig. 11 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Gaston Berger.
- Fig. 12 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Thiallakh.
- Fig. 13 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Diama aval.
- Fig. 14 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Diama amont.
- Fig. 15 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Mbagam.
- Fig. 16 Comparaison des profils bathymétriques à la station de Richard -Toll.
- Fig. 17 Courbes granulométriques des sables à la station de Taré.
- Fig. 18 Courbes granulométriques des sables à la station de Moumbaye
- Fig. 19 Courbes granulométriques des sables à la station de Gandiol.
- Fig. 20 Courbes granulométriques des sables à la station de Keur Bernard.
- Fig. 21 Courbes granulométriques des sables à la station de Mermoz.
- Fig. 22 Courbes granulométriques des sables à la station de Bop tior.
- Fig. 23 Courbes granulométriques des sables à la station de Gaston Berger.
- Fig. 24 Courbes granulométriques des sables à la station de l'île aux bois.
- Fig. 25 Courbes granulométriques des sables à la station de Thiallakh.
- Fig. 26 Courbes granulométriques des sables à la station de Diama aval.
- Fig. 27 Courbes granulométriques des sables à la station de Diama amont.
- Fig. 28 Courbes granulométriques des sables à la station de l'île de Tieng.
- Fig. 29 Courbes granulométriques des sables aux stations de Débi et Mbagam.
- Fig. 30 Courbes granulométriques des sables à la station de Richard -Toll.
- Fig. 31 Courbes granulométriques des sables à la station de Richard -Toll (Taoué).
- Fig. 32 Courbes microgranulométriques à la station de Gandiol (milieu).
- Fig. 33 Courbes microgranulométriques à la station de Mermoz (milieu).
- Fig. 34 Courbes microgranulométriques à la station de Gaston Berger (milieu).
- Fig. 35 Courbes microgranulométriques à la station de Diama aval (milieu).
- Fig. 36 Courbes microgranulométriques à la station de Diama amont (milieu).
- Fig. 37 Courbes microgranulométriques à la station de Richard -Toll et Taoué (milieu).

## LISTE DES TABLEAUX

- Tab. 1 Variation de la pluviométrie annuelle au Nord du Sénégal.
- Tab. 2 Classification granulométrique de Wentworth.
- Tab. 3 Signification de quelques paramètres granulométriques des sables.

**ANNEXES**



## LISTE DES ANNEXES

### Annexe I

- Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Taré
- Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Mboumbaye
- Tableau 3 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Gandiol
- Tableau 4 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Keur Bernard
- Tableau 5 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Mermoz
- Tableau 6 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Bop tior
- Tableau 7 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Gaston Berger
- Tableau 8 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Thiallakh
- Tableau 9 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Diama aval
- Tableau 10 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Diama amont
- Tableau 11 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Mbagam
- Tableau 12 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Richard -Toll

### Annexe II

- Tableau 13 : Variation des indices granulométriques à la station de Taré.
- Tableau 14 : Variation des indices granulométriques à la station de Mboumbaye.
- Tableau 15 : Variation des indices granulométriques à la station de Gandiol.
- Tableau 16 : Variation des indices granulométriques à la station de Keur Bernard.
- Tableau 17 : Variation des indices granulométriques à la station de Mermoz.
- Tableau 18 : Variation des indices granulométriques à la station de Bop Tior.
- Tableau 19 : Variation des indices granulométriques à la station de Gaston Berger.
- Tableau 20 : Variation des indices granulométriques aux stations de l'île aux Bois et ThiallaKh.
- Tableau 21 : Variation des indices granulométriques à la station de Diama aval.
- Tableau 22 : Variation des indices granulométriques à la station de Diama amont.
- Tableau 23 : Variation des indices granulométriques aux stations de l'île aux bois, Débi et Mbagam
- Tableau 24 : Variation des indices granulométriques à la station de Richard -Toll/Taoué.
- Tableau 25 : Formules modales des échantillons à caractère Plurimodal

### Annexe III

- Tableau 26 : Variation des teneurs en argiles et en silts à la station de Gandiol
- Tableau 27 : Variation des teneurs en argiles et en silts à la station de Mermoz
- Tableau 28 : Variation des teneurs en argiles et en silts à la station de Gaston Berger
- Tableau 29 : Variation des teneurs en argiles et en silts à la station de Diama aval
- Tableau 30 : Variation des teneurs en argiles et en silts à la station de Diama amont
- Tableau 31 : Variation des teneurs en argiles et en silts à la station de Richard -Toll/Taoué

## ANNEXE I

Profil aérien			décembre 1997	juillet 1998	décembre 1998	avril 1999
Pente Moyenne (%)	Cordon dunaire	Rive gauche	1,81	/	/	1,84
		Rive droite	/	0,55	0,81	/
Profil bathymétrique						
Largeur du chenal (m)			/	409	432	/
Profondeur maximale (m)			/	4,52	5,28	/
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut profil	/	6,6	6,7	/
		Bas profil	/	1,06	1,2	/
	Flanc droit	/	4,8	5,1	/	

Tableau 1 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Taré

Profil aérien			décembre 1997	juillet 1998	décembre 1998
Pente Moyenne (%)	Cordon dunaire	Rive gauche	2,14	/	1,93
		Rive droite	/	/	/
Profil bathymétrique					
Largeur du chenal (m)			/	/	421
Profondeur maximale (m)			/	6,20	6,06
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut profil	/	9,9	/
		Bas profil	/	2,6	2,2
	Flanc droit	Haut profil	/	7,9	12,4
		Bas profil	/	2,6	2,1

Tableau 2 : Caractéristiques morphologiques des profils à la station de Mboumbaye

Profil aérien			décembre 1997	juillet 1998	décembre 1998
Pente Moyenne (%)	Cordon dunaire	Rive gauche	/	/	/
		Rive droite	0,88	/	0,61
Profil bathymétrique					
Largeur du chenal (m)			/	/	> 837
Profondeur maximale (m)			/	6,63	6,72
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut profil	/	9,82	2,5
		Bas profil	/	0,35	0,87
	Flanc droit	Haut profil	/	9,21	2,2
		Bas profil	/	0,5	0,85

Tableau 3 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Gandiol

Profil aérien			décembre 1997	Juillet 1998	décembre 1998
Pente Moyenne (%)	Cordon dunaire	Rive gauche	/	/	/
		Rive droite	0,77	/	5,9
Profil bathymétrique					
Largeur du chenal (m)			/	/	> 560
Profondeur maximale (m)			/	9,30	8,90
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut	/	9,6	6,32
		Bas	/	5,25	4,39
Flanc droit			/		

Tableau 4 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Keur Bernard

Profil aérien			décembre 1997	juillet 1998	décembre 1998
Pente Moyenne (%)	Cordon dunaire	Rive gauche	0,5	/	0,27
		Rive droite	6,79	/	6,19
Profil bathymétrique					
Largeur du chenal (m)			/	/	764
Profondeur maximale (m)			/	7,40	7,15
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut	/	5,73	4,66
		Bas	/	1,14	0,90
Flanc droit			/	4,69	4,5

Tableau 5 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Mermoz

Profil bathymétrique		juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)		/	> 752
Profondeur maximale (m)		8,00	7,62
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	1,82	1,78
	Flanc droit	11,40	11,17

Tableau 6 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Bop Tior

Profil bathymétrique		juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)		/	384
Profondeur maximale (m)		10,52	10,97
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	16,45	14,95
	Flanc droit	4,19	4,04

Tableau 7 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Gaston Berger

Profil bathymétrique			juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)			/	527
Profondeur maximale (m)			11,6	11,5
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut profil	0,7	0,5
		Bas profil	5,2	4,4
	Flanc droit		11,8	12,3

Tableau 8 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Thiallakh

Profil bathymétrique			juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)			/	537
Profondeur maximale (m)			11,9	11,8
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche	Haut profil	1,4	1,2
		Bas profil	6,5	6,1
	Flanc droit		12	14,3

Tableau 9 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Diama aval

Profil bathymétrique			juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)			/	> 366
Profondeur maximale (m)			11,5	11,4
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche		11,6	10,7
	Flanc droit		7,6	8,6

Tableau 10 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Diama amont

Profil bathymétrique			juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)			> 360	/
Profondeur maximale (m)			9,5	9,1
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche		12,2	10,9
	Flanc droit		5,9	5,2

Tableau 11 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Mbagam

Profil bathymétrique			juillet 1998	décembre 1998
Largeur du chenal (m)			> 300	/
Profondeur maximale (m)			14,1	13,7
Pente Moyenne (%)	Flanc gauche		12,2	11,5
	Flanc droit		17	16,4

Tableau 12 : Caractéristiques Morphologiques des profils à la station de Richard-Toll

ANNEXE II

TARE	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	2,08	/	1,48	1,68
$\sigma_i$	0,34	/	0,59	0,56
$S_k$	0,22	/	0,08	0,09
$K_G$	1,31	/	1,83	0,92
Milieu				
$M_z(\varphi)$	/	1,96	1,56	1,31
$\sigma_i$	/	0,46	0,52	0,51
$S_k$	/	0,16	0,15	-0,04
$K_G$	/	0,89	1,69	1,26
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	1,91	1,86	1,68	1,82
$\sigma_i$	0,42	0,56	0,57	0,67
$S_k$	0,19	-0,01	0,08	0,52
$K_G$	1,21	1,08	1,14	1,39

Tableau 13 : Variation des indices granulométriques à la station de Taré.

MBOUMBAYE	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	1,60	1,92	1,31	1,35
$\sigma_i$	0,44	0,53	0,85	0,75
$S_k$	-0,18	0,25	0,36	0,27
$K_G$	1,17	0,99	1,48	1,39
Milieu				
$M_z(\varphi)$	/	1,25	1,63	1,06
$\sigma_i$	/	0,77	0,64	0,84
$S_k$	/	0,40	0,18	0,32
$K_G$	/	1,25	1,19	1,25
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	1,66	1,88	2,06	2,19
$\sigma_i$	0,45	0,81	0,53	0,77
$S_k$	-0,19	0,30	0,14	0,13
$K_G$	1,04	1,18	1,00	1,19

Tableau 14 : Variation des indices granulométriques à la station de Mboumbaye.

GANDIOL	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	/	2,15	1,60	2,16
$\sigma_i$	/	0,47	0,60	0,47
$S_k$	/	0,06	0,68	0,05
$K_G$	/	1,25	1,24	1,43
Milieu				
$M_z(\varphi)$	/	/	/	2,65
$\sigma_i$	/	/	/	0,48
$S_k$	/	/	/	-0,11
$K_G$	/	/	/	0,97
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	1,92	2,89	1,93	2,16
$\sigma_i$	0,37	0,52	0,27	0,47
$S_k$	-0,02	-0,10	0,04	0,05
$K_G$	1,18	0,97	1,22	1,43

Tableau 15 : Variation des indices granulométriques à la station de Gandiol.

KEUR BERNARD	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	1,67	1,98	1,60	1,98
$\sigma_i$	0,49	0,60	0,51	0,60
$S_k$	0,27	0,09	0,08	0,01
$K_G$	1,38	1,27	1,34	1,31
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	1,95	/	2,01	1,96
$\sigma_i$	0,33	/	0,44	0,38
$S_k$	-0,018	/	-0,19	-0,06
$K_G$	1,07	/	0,89	0,99

Tableau 16 : Variation des indices granulométriques à la station de Keur-Bernard.

MERMOZ	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	2,04	2,41	1,77	2,46
$\sigma_i$	0,35	0,44	0,51	0,67
$S_k$	0,12	-0,22	-0,03	-0,20
$K_G$	1,09	1,40	1,19	0,58
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	1,54	2,00	1,56	1,83
$\sigma_i$	0,57	0,47	0,43	0,43
$S_k$	0,08	0,22	-0,12	0,17
$K_G$	0,86	0,97	0,97	1,10

Tableau 17 : Variation des indices granulométriques à la station de Mermoz.

BOP-TIOR	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	/	2,88	2,64	2,63
$\sigma_i$	/	0,54	0,41	0,43
$S_k$	/	-0,12	-0,39	-0,15
$K_G$	/	1,26	2,54	1,72
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	1,93	1,95	2,22	2,37
$\sigma_i$	0,45	0,82	0,51	0,53
$S_k$	0,27	0,29	0,40	0,26
$K_G$	1,26	1,19	1,15	1,16

Tableau 18 : Variation des indices granulométriques à la station de Bop-Tior.

GASTON BERGER	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche				
$M_z(\varphi)$	2,55	2,39	2,18	2,48
$\sigma_i$	0,70	0,64	0,59	0,57
$S_k$	0,11	0,31	0,53	0,38
$K_G$	1,25	0,70	1,06	0,75
Rive droite				
$M_z(\varphi)$	2,76	3,12	3,22	3,17
$\sigma_i$	1,39	0,72	0,57	0,70
$S_k$	-0,11	-0,11	-0,01	0,04
$K_G$	1,15	1,31	1,22	1,23

Tableau 19 : Variation des indices granulométriques à la station de Gaston-Berger.

STATIONS	ILE AUX BOIS		THIALLAKH		
	mai 1988	avril 1999	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
Rive gauche					
$M_z(\varphi)$	2,69	2,91	3,24	2,66	3,05
$\sigma_i$	1,32	0,77	0,68	0,39	0,60
$S_k$	0,25	0,14	0,12	-0,15	0,17
$K_G$	1,55	0,97	0,65	1,41	0,77
Rive droite					
$M_z(\varphi)$	3,96	/	3,03	3,19	3,38
$\sigma_i$	0,25	/	0,52	0,41	0,46
$S_k$	-0,48	/	-0,32	-0,08	-0,37
$K_G$	1,75	/	0,88	1,26	0,86

Tableau 20 : Variation des indices granulométriques aux stations de l'Ile aux bois et de Thiallakh

DIAMA AVAL	décembre 1997	mai 1998	décembre 1998	avril 1999
	Rive gauche			
$M_z(\varphi)$	/	2,57	1,96	2,73
$\sigma_i$	/	0,51	0,89	0,76
$S_{ki}$	/	0,38	-0,01	0,23
$K_G$	/	1,70	2,53	0,74
	Milieu			
$M_z(\varphi)$	/	/	/	2,31
$\sigma_i$	/	/	/	0,43
$S_{ki}$	/	/	/	0,17
$K_G$	/	/	/	1,67
	Rive droite			
$M_z(\varphi)$	/	3,33	3,22	2,98
$\sigma_i$	/	0,58	0,56	0,55
$S_{ki}$	/	-0,32	-0,38	0,24
$K_G$	/	0,99	0,66	1,01

Tableau 21 : Variation des indices granulométriques à la station de Diama aval.

DIAMA AMONT	décembre 1997	mai 1998	décembre 198	avril 1999
	Rive gauche			
$M_z(\varphi)$	/	2,19	2,01	2,12
$\sigma_i$	/	0,46	0,47	0,46
$S_{ki}$	/	0,16	-0,13	0,18
$K_G$	/	1,45	0,88	1,20
	Rive Droite			
$M_z(\varphi)$	/	4,0	/	/
$\sigma_i$	/	0,24	/	/
$S_{ki}$	/	0,51	/	/
$K_G$	/	2,07	/	/

Tableau 22 : Variation des indices granulométriques à la station de Diama amont.

STATIONS	ILE de TIENG		DEBI	MBAGAM
	mai 1998	avril 1999	mai 1998	décembre 1997
	Rive gauche			
$M_z(\varphi)$	2,29	2,28	/	3,20
$\sigma_i$	0,30	0,49	/	0,52
$S_{ki}$	0,10	0,16	/	0,20
$K_G$	1,05	1,28	/	0,91
	Rive droite			
$M_z(\varphi)$	/	3,30	3,55	/
$\sigma_i$	/	0,56	0,39	/
$S_{ki}$	/	0,41	-0,32	/
$K_G$	/	0,69	1,19	/

Tableau 23 : Variation des indices granulométriques à la station de Ile de Tieng-Débi et Mbagam



STATIONS	RICHARD-TOLL		TAOUE
	mai 1998	décembre 1998	mai 1998
	Rive gauche		
$M_z(\varphi)$	/	2,06	/
$\sigma_i$	/	1,00	/
$S_{ki}$	/	0,07	/
$K_G$	/	0,72	/
	Milieu		
$M_z(\varphi)$	/	/	1,59
$\sigma_i$	/	/	0,88
$S_{ki}$	/	/	-0,09
$K_G$	/	/	0,91
	Rive droite		
$M_z(\varphi)$	3,91	3,72	1,95
$\sigma_i$	0,40	0,31	0,82
$S_{ki}$	-0,03	-0,01	0,29
$K_G$	1,66	1,32	1,19

Tableau 24 : Variation des indices granulométriques à la station de RichardToll/Taoué.

<b>TARE</b>			
	Rive gauche	Milieu	Rive droite
Déc-98	F= 371 (90) + 182 (10)	F= 346 (90,8) + 188 (9,2)	F= 340 (81) + 180 (19)
<b>MBOUMBAYE</b>			
	Rive gauche	Milieu	Rive droite
Déc-98	F= 891 (22) + 318 (78)	F= 350 (82) + 188 (18)	F= 297 (52,8)+177 (47,2)
<b>BOP-TIOR</b>			
	Rive gauche	Rive droite	
Mai-98	F= 146 (86,2) + 71 (13,8)	F= 252 (87,5) + 113 (12,5)	
Déc-98	F= 298 (6,2) + 171 (93,8)	F= 289 (41,8) + 177 (58,2)	
<b>GASTON BERGER</b>			
	Rive gauche	Rive droite	
Déc-97	F=185 (88,5) + 69 (11,5)	F=243 (51,6) + 110 (12,2) + 67 (36,2)	
Mai-98	F= 212 (83) + 100 (17)	F= 210 (36) + 83 (64)	
Déc-98	F= 291 (48,8) + 172 (51,2)	F= 170 (31,5) + 86 (68,5)	
Avr-99	F= 87 (95,2) + 72 (4,8)	F= 197 (32) + 84 (68)	
<b>ILE AUX BOIS</b>			
	Rive gauche	Rive droite	
Mai-98	F= 186 (77,3) + 70 (22,7)	/	
Avr-99	F= 198 (46,8) + 94 (53,2)	/	
<b>THIALLA KH</b>			
	Rive gauche	Rive droite	
Mai-98	F= 182 (34,2) + 73 (65,8)	F= 150 (64,8) + 82 (35,2)	
Déc-98	F= 165 (87,6) + 86 (12,4)	/	
Avr-99	F= 156 (76,2) + 69 (23,8)	/	
<b>DIAMA AVAL</b>			
	Rive gauche	Rive droite	
Mai-98	F= 195 (77) + 112 (16,5) + 71 (6,5)	/	
Déc-98	F= 280 (92,5) + 84 (7,5)	F= 169 (40) + 84 (60)	
Avr-99	F= 198 (65) + 82 (35)	F= 146 (82,2) + 71 (17,8)	
<b>DIAMA AMONT</b>			
	Rive gauche	Milieu	
Déc-98	F= 294 (61,8) + 178 (38,2)	/	
Avr-99	/	F= 208 (95,5) + 67 (4,5)	
<b>ILE DE TIENG</b>			
	Rive gauche	Rive droite	
Avr-99	/	F= 176 (23,8) + 78 (76,2)	
<b>DEBI</b>			
Mai-98	/	F= 175 (6,4) + 80 (93,6)	
<b>RICHARD-TOLL</b>		<b>TAOUE</b>	
	Rive gauche	Milieu	
Mai-98	/	F= 442 (60,4) + 185 (39,6)	
Déc-98	F= 455 (50,5) + 137 (49,5)	/	

Tableau 25 :Formules modales des échantillons à caractère Plurimodal

$$F=M_1(P_1) + M_2(P_2) + \dots + M_n(P_n)$$

$M_1, M_2, \dots, M_n$  ; les modes des populations dans le mélange (exprimés en  $\mu m$ ).

$P_1, P_2, \dots, P_n$  ; les pourcentages des populations dans le mélange.

ANNEXE III

GANDIOL	Décembre 1997	Mai 1998	Décembre 1998	Avril 1999
Rive gauche				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	0,98	/	1,77
Argiles(%)	/	3,1	/	22,8
Silts(%)	/	1,8	/	20,7
Milieu				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	1,43	1,29	0,91
Argile(%)	/	34,2	53,5	39,8
Silts(%)	/	25,0	36,1	21,4
Rive droite				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	1,72	/	1,11
Argiles(%)	/	13,2	/	5,8
Silts(%)	/	12,2	/	3,4

Tableau 26 : Variation de la teneur des argiles et des silts à la station de Gandiol

MERMOZ	Décembre 1997	Mai 1998	Décembre 1998	Avril 1999
Rive gauche				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	1,41	1,87	1,98
Argiles(%)	/	6,5	1,7	12,8
Silts(%)	/	5,1	1,6	12,8
Milieu				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	1,15	4,11	2,06
Argiles(%)	/	57,9	38,5	48,6
Silts(%)	/	38,5	55,2	50,0
Rive droite				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	1,07	/	/
Argiles(%)	/	4,4	/	/
Silts(%)	/	2,7	/	/

Tableau 27 : Variation de la teneur des argiles et des silts à la station de Mermoz

GASTON BERGER	Décembre 1997	Mai 1998	Décembre 1998	Avril 1999
Rive gauche				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	1,83	2,02	4,04	2,04
Argiles(%)	11,6	5,3	6,9	4,9
Silts(%)	10,7	5,3	9,7	5,2
Milieu				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	/	4,12	1,63
Argiles(%)	/	/	34,6	52,6
Silts(%)	/	/	56,9	44,9
Rive droite				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	2,47	1,32	2,92	2,53
Argiles(%)	23,3	11,5	20,9	13,0
Silts(%)	27,2	8,8	26,4	15,9

Tableau 28 : Variation de la teneur des argiles et des silts à la station de Gaston Berger

DIAMA AVAL	Décembre 1997	Mai 1998	Décembre 1998	Avril 1999
Rive gauche				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	3,35	12,70	1,40
Argiles(%)	/	7,8	8,5	13,1
Silts(%)	/	10,0	43,9	11,0
Milieu				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	2,76	0,44	0,58
Argiles(%)	/	37,3	55,3	30,1
Silts(%)	/	49,0	19,7	16,1
Rive droite				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	5,98	1,21	0,88
Argiles(%)	/	16,8	18,3	12,2
Silts(%)	/	34,0	12,2	7,1

Tableau 29 : Variation de la teneur des argiles et des silts à la station de Diama aval

DIAMA AMONT	Décembre 1997	Mai 1998	Décembre 1998	Avril 1999
Rive gauche				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	1,38	1,80	1,52
Argiles(%)	/	5,7	3,8	23,3
Silts(%)	/	4,1	3,5	16,6
Milieu				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	0,68	1,37	1,33
Argiles(%)	/	64,8	53,8	59,8
Silts(%)	/	34,1	42,6	39,7
Rive droite				
Médiane( $\mu\text{m}$ )	/	12,24	6,94	3,32
Argiles(%)	/	22,5	30,9	37,3
Silts(%)	/	54,5	60,3	62,5

Tableau 30 : Variation de la teneur des argiles et des silts à la station de Diama amont

STATIONS	RICHARD TOLL		TAOUE
	Mai 1998	Décembre 1998	Mai 1998
Rive gauche			
Médiane( $\mu\text{m}$ )	2,38	0,78	/
Argiles(%)	46,5	1,0	/
Silts(%)	52,6	0,7	/
Milieu			
Médiane( $\mu\text{m}$ )	1,64	/	2,17
Argiles(%)	52,5	/	7,1
Silts(%)	46,7	/	7,6
Rive droite			
Médiane( $\mu\text{m}$ )	7,34	18,04	1,00
Argiles(%)	26,3	12,9	31,1
Silts(%)	45,8	45,0	20,1

Tableau 31 : Variation de la teneur des argiles et des silts à la station de Richard-Toll