

10683

ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SENEGAL  
(O.M.V.S.)

BANQUE ISLAMIQUE DE DEVELOPPEMENT

Etude de faisabilité et d'avant-projet sommaire  
d'un système de navigation mixte mer - fleuve Sénégal

NOTE TECHNIQUE



Bceom Société Française d'Ingénierie

Décembre 2002

## **Contenu du dossier**

Carte de situation

Carte du fleuve Sénégal

Glossaire – Equivalences monétaires

Références bibliographiques

Liste du personnel

Résumé

Section I - Hydraulique

Section II - Navigation

Section III - Ports et escales

Section IV - Travée tournante du pont Faidherbe

Section V - Aspects juridiques et institutionnels

## Page de couverture

### Client

Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal  
46, rue Carnot - BP 3152 (Haut-Commissariat)  
et : 5, place de l'Indépendance (Direction Technique)  
Dakar, Sénégal

Contacts :

Monsieur Merzoug, Haut-Commissaire  
Monsieur Abdrabou, Directeur Technique  
Monsieur Camara, Expert Navigation et Génie Civil  
Monsieur Sow, Expert Infrastructures  
Monsieur Diatta, Expert Hydrologue  
Monsieur Ba, Juriste

Téléphone :

Haut-Commissariat : +221 823 45 30  
Direction Technique : +221 822 06 68

### Calendrier des prestations

Démarrage des prestations :	juin 2002
Rapport sur la demande de transport :	décembre 2002
Note technique :	décembre 2002
Projet :	mars 2003
Rapport final :	avril ou mai 2003

### Consultants

Scet-Tunisie  
2, rue Sahab Ibn Abbad - Cité Jardins  
BP 16 - 1002 Tunis Belvédère, Tunisie

Contacts :

M. Dirra, Directeur Général Adjoint  
M. Talbi, Chef du Service des Etudes Economiques  
Téléphone : +216 1 285 862  
E-mail : [economie@scet-tunisie.com.tn](mailto:economie@scet-tunisie.com.tn)

Bceom Société Française d'Ingénierie  
Département des Ports et Voies Navigables  
Place des Frères Montgolfier  
78286 Guyancourt Cedex, France

Contacts :

Monsieur Durantet, Directeur  
Monsieur Merrien, Ingénieur des Travaux Publics  
Téléphone : +33 1 30 12 48 23  
E-mail: [pvn@bceom.fr](mailto:pvn@bceom.fr)

## Glossaire

AATR	Agence Autonome des Travaux Routiers du Sénégal
BBL - SW	Beauchemin Beaton Lapointe & Swan Wooster
CEDEAO	Communauté des Etats de l'Afrique de l'Ouest
COSEC	Conseil Sénégalais des Chargeurs
IGN	Institut Géographique National (et système de référence des altitudes le long du fleuve)
IRD	Institut français pour la Recherche et le Développement (a succédé à l'ORSTOM)
LBI	Louis Berger International Inc.
LDE	Groupement des bureaux d'études Lackner, Dorsch et Electrowatt
OERS	Organisation des Etats Riverains du fleuve Sénégal (a précédé l'OMVS)
OMVS	Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal
PK	Point kilométrique (sur le Sénégal, distance comptée de l'aval vers l'amont, en débutant au pont Faidherbe)
PNUD	Programme des Nations Unies pour le Développement

## Equivalences monétaires



Jusqu'en février 1994 :	1 franc français = 50 francs CFA
De février 1994 à décembre 2001 :	1 franc français = 100 francs CFA
Depuis janvier 2002 :	1 euro = 655,957 francs CFA

## Références bibliographiques

- [1] Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs, phase 3, crue artificielle et cultures de décrue, Synthèse finale, Décembre 2001, IRD pour OMVS
- [2] Etude d'exécution du barrage et de l'usine hydroélectrique de Manantali, Rapport final, Actualisation des données de base, Annexe 3 : Navigabilité - Mission A1.3, Groupement Manantali pour OMVS, Octobre 1977
- [3] Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs, Manuel de gestion du barrage de Diama, IRD pour OMVS, Septembre 2001
- [4] Programme d'optimisation de la gestion des réservoirs, Phase 3, Manuel de gestion du barrage de Manantali, version finale, IRD pour OMVS, Novembre 2001
- [5] Etude des ports et escales du fleuve Sénégal, Port de St Louis, Etudes hydrographiques et hydrauliques, Rapport n° 20, Beauchemin Beaton Lapointe (BBL) - Swan Wooster, pour OMVS, Janvier 1985
- [6] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.1 : Actualisation des données, Tome 1, Texte, groupement Lackner Dorsch Electrowatt (LDE) pour OMVS, non daté
- [7] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.4 : Modèle mathématique, Tome 1, Rapport de Synthèse, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [8] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.4 : Modèle mathématique, Tome 2, Annexes, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [9] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.4 : Modèle mathématique, Tome 3, Tableaux des calculs par ordinateur, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [10] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.5 : Définition des travaux d'aménagement, Tome 1, Rapport, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [11] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.14 : Organisation de la Direction de la voie navigable, Rapport final, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [12] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.2.1 : Etudes complémentaires et 2.2 : Projet Définitif, Rapport, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [13] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.2.6 : Rapport de synthèse général, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté
- [14] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation,

Mission B. 2 : Etudes des sols, Tome 1, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté

[15] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission B. 2 : Etudes des sols, Tome 2, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté

[16] Modèle mathématique d'étiage du fleuve Sénégal, nouveaux scénarios, Electrowatt Ingénieurs Conseils pour OMVS, Décembre 1985

[17] Etude des ports et escales du fleuve Sénégal, Rapport de synthèse générale, Rapport n° 24, Beauchemin Beaton Lapointe (BBL) - Swan Wooster, pour OMVS, Janvier 1985

[18] Port de St Louis, Sénégal, Etudes sur modèles hydrauliques, phase 2, le chenal peu profond, V. Barthel, Conseil National de Recherche du Canada pour OMVS, Octobre 1985

[19] Etudes d'exécution du projet d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, Mission A.1.1 : Actualisation des données, Tome 2, Annexes, groupement Lackner Dorsch Electrowatt pour OMVS, non daté

[20] Note préliminaire sur les changements de fonds à l'embouchure du fleuve Sénégal, A. M. Meglitsky, O.N.U, Mars 1970

[21] Instructions Nautiques du Fleuve Sénégal, Capitaine Fromaget, 1908

[22] Atlas Nautique du Fleuve Sénégal, Tome 1 (de l'embouchure jusqu'à Boghé), K.I. Beziukov, 1971

[23] Etude technico-économique d'un système de transport par cabotage comme solution transitoire d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation, OMVS, novembre 1992

[24] Etude de la compétitivité de la voie sénégalaise de desserte du Mali, Rapport Diagnostic, Bceom et YTC pour l'Agence Française de Développement, avril 2002

[25] Etude de la navigabilité et des ports du fleuve Sénégal, rapport de fin de mission, V.N. Pomerantsev pour l'OERS, décembre 1970

[26] Etude d'actualisation du projet de navigation, rapport final, Louis Berger International pour l'OMVS, non daté (probablement 1991)

\* \*

\*

## LISTE DU PERSONNEL

### 1. PERSONNEL OMVS

M. Abdrabou, Directeur Technique  
M. Camara, Expert Navigation et Génie Civil  
M. Sow, Expert Infrastructures  
M. Diatta, Expert Hydrologue  
M. Ba, Conseiller Juridique  
M. Gueye, Directeur du Centre Régional de Documentation de Saint-Louis

### 2. PERSONNEL SCET-TUNISIE

M. Drira, Directeur Général Adjoint  
M. Talbi, Chef du Service des Etudes Economiques et de Transport, Directeur de Projet  
M. Ghorbel, Economiste des Transports  
M. Fall, Expert Fiscal  
M. Triki, Ingénieur Routes & Chemins de Fer

### 3. PERSONNEL BCEOM

M. Durantet, Directeur du Département des Ports et Voies Navigables  
M. Gauthier, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, Chef de Projet  
M. Pierron, Ingénieur Général des Ponts et Chaussées, Expert Navigation  
M. Merrien, Ingénieur des Travaux Publics, Expert Portuaire  
M. Lemaire, Ingénieur Ouvrages d'Art, Electro-Mécanicien  
M. Chevereau, Ingénieur Hydraulicien  
Mme Médigue, Expert Balisage  
M. Biechel, Expert Batellerie  
M. Dubosc, Expert Manutention  
M. Rézenthel, Juriste  
Melle Tournier, Ingénieur Stagiaire

### 4. DIVERSES PERSONNES RENCONTREES AU COURS DES MISSIONS

#### *Au Sénégal :*

M. Abdoul Hamid Diop, directeur de la Marine Marchande  
M. Ibrahim Sow, chef du bureau de la navigation fluviale et côtière (Marine Marchande)  
M. Gomis Dieudhiou, chef du bureau de la sécurité maritime et de la gestion des flottes (Marine Marchande)  
MM. Ngingue, Tall, N'Diaye et Thiam, pilotes de rivières  
M. Ousmane Touré, directeur du centre Trainmar, juriste portuaire  
M. Bara Sady, directeur général du Port Autonome de Dakar  
M. Nouhoum Diop, conseiller auprès du directeur général du Port Autonome de Dakar  
M. Thiam, secrétaire général du Port Autonome de Dakar  
M. Jean-Baptiste Grégoire Diatta, directeur commercial du Port Autonome de Dakar  
M. Amadou N'Diaye, directeur de l'exploitation au Port Autonome de Dakar  
M. Ambroise Sarr, commandant de port (Dakar)

M. N'Diaye, capitaine de port à Saint-Louis  
M. Malang Faty, chef de la division Etudes et Travaux Neufs, Agence Autonome des Travaux Routiers du Sénégal (Dakar)  
M. Guisse, responsable du transport rural, Direction des Travaux Publics  
M. Niang, adjoint au chef des projets de pistes rurales, Direction des Travaux Publics  
M. Seck, conseiller technique auprès du directeur des Travaux Publics  
M. Salif N'Diaye, chef de l'antenne de Saint-Louis, Agence Autonome des Travaux Routiers du Sénégal  
M. Cheik Sadybou Dabo, direction de l'exploitation, Société Nationale des Chemins de Fer  
M. Yaya Sarr, juriste portuaire (Dakar)  
M. Sérigné Thiam Diop, directeur technique du COSEC (Dakar)  
M. Wane, directeur de production, chantier naval DAKARNAVE  
M. Dieve, chef des ventes, chantier naval DAKARNAVE  
M. Bernard Zoonens, entreprise de travaux publics Cotramer (Dakar)  
M. Jean-Jacques Bancal, agence de tourisme "Sahel Découverte" (Saint-Louis)  
M. Bruno Paret, entreprise de mécanique Séné-Méca (Dakar)

*Au Mali :*

M. Gabouné Keita, directeur national des Travaux Publics  
M. Mahamadou Diallo, chef de la division Etudes et Travaux, direction nationale des Travaux Publics  
M. Cheik Omar Diallo, division des Etudes Générales et de la Planification, direction nationale des Travaux Publics  
M. Mahamadou Cisse, directeur adjoint, Régie des Chemins de Fer du Mali  
M. Philippe Yebodie, directeur d'exploitation, Régie des Chemins de Fer du Mali  
M. Singare, administrateur et gérant du chantier naval INACOM  
M. Portner, directeur technique du chantier naval INACOM

*En Mauritanie :*

M. Cheikh Ould Khaled, directeur de la Marine Marchande  
M. Abdel Kader Ould Mohamed, conseiller juridique au Port Autonome de Nouakchott  
M. Cheick Ould Sid Ahmed, directeur des Travaux Publics  
M. Mohamed Lamine Ould Ahmed, directeur général de l'Etablissement National de l'Entretien Routier  
M. Abderhamen Salah, bureau d'études routières MGC  
M. Cheibany, directeur du chantier naval Bapam-Hauchard (Nouakchott)

\*

\*

\*

## Résumé

La présente Note Technique dresse un diagnostic général du fleuve Sénégal vis-à-vis des conditions de navigation entre Ambidédi et l'océan Atlantique, sur la foi des matériaux de base collectés et analysés par les experts entre mai et octobre 2002. Cette note ne discute pas des sujets relatifs à l'économie et au trafic, qui font l'objet d'un rapport séparé dont la publication doit intervenir en décembre 2002.

La Note Technique est divisée en cinq sections traitant respectivement de l'hydraulique, de la navigation, des ports et escales, du pont Faidherbe ainsi que des aspects juridiques et institutionnels. Chaque section possède ses propres annexes.

Puisque l'élaboration des projets nécessite des bases fiables en matière de prévisions de trafic, cette étape ne débutera que lorsque les hypothèses contenues dans le rapport spécifique auront été validées. Ceci étant dit, il est d'ores et déjà prévisible que le Consultant examinera la factibilité de plusieurs scénarios, dont très probablement :

- i. La solution fluvio-maritime, avec des petits caboteurs franchissant la barre et reliant directement Dakar et Nouakchott.
- ii. La solution portuaire, avec un transfert à Saint-Louis entre bateaux fluviaux et bateaux de mer.
- iii. La solution mixte, avec mise à terre à Saint-Louis et transfert par voie ferrée sur Dakar.

\*

En ce qui concerne l'hydraulique, la Note Technique fournit tout d'abord une présentation du fleuve et de son bassin, incluant un rappel sur son régime de crues et d'étiages. Les pointes de crues, très variables selon les années, atteignent 3.000 à 12.000 m<sup>3</sup>/s à Bakel (en aval de Bakel les crues s'amortissent progressivement par inondation du lit majeur). En étiage le débit naturel du fleuve n'est que d'une dizaine de mètres cubes par seconde mais, depuis la construction du barrage de Manantali, le fleuve bénéficie d'un débit minimum garanti à Bakel compris entre 200 m<sup>3</sup>/s et 300 m<sup>3</sup>/s<sup>1</sup>. Le barrage de Diama, implanté à 26 km à l'amont de Saint-Louis, retient à l'étiage un plan d'eau quasiment horizontal jusqu'au premier point de jonction entre le bras principal du fleuve et le Doué, au PK 244, à niveau voisin de 2 m IGN. De manière simplifiée on peut considérer que le fleuve offre dans son état actuel des profondeurs d'eau supérieures à 2 m jusqu'au PK 332, ceci tout au long de l'année, et jusqu'au PK 816 (Bakel) pendant la moitié de l'année.

---

<sup>1</sup> A la lecture de la section consacrée à l'hydraulique l'OMVS constatera que, pour mener à bien la suite de l'étude, le Consultant a besoin de connaître les choix qui seront réalisés dans le domaine du partage de l'eau entre les besoins de l'hydro-électricité, ceux de l'irrigation et ceux du soutien d'étiage. Le Consultant remercie par avance l'OMVS pour les précisions qu'il voudra bien lui fournir.

Le balisage devra permettre la navigation de jour comme de nuit et devra répondre aux équipements actuels des navires.

Par ailleurs, le projet comportera une étude de l'organisation d'un Service de Balisage et de ses moyens en personnel et en matériels, ainsi qu'un programme de formation destiné aux agents chargés de la maintenance du système de balisage.

En matière de batellerie il convient d'abord de souligner qu'il n'existe plus de flotte opérationnelle sur le fleuve Sénégal. Seuls naviguent les bacs de Rosso et de frères pirogues en bois, pour la plupart non motorisées, essentiellement affectées au franchissement du fleuve entre ses deux rives.

En outre, à l'occasion de cette première phase le Consultant a examiné les possibilités de construction et d'entretien de futures unités de navigation dans la région. Elles ne sont pas négligeables. Dans le domaine de la construction il existe un excellent chantier naval à Koulikoro, au Mali, relié au fleuve Sénégal par le chemin de fer, et deux autres chantiers tout-à-fait corrects : Dakarnave, à Dakar, et Bapam-Hauchard à Nouakchott. Aucun de ces trois chantiers navals ne serait néanmoins adapté à des opérations d'entretien de navires, essentiellement à cause de l'éloignement vis-à-vis du fleuve. Pour ce type d'opérations le petit chantier d'entretien des bacs de Rosso serait bien plus commode.

\*

En remontant le cours du fleuve depuis l'embouchure jusqu'à Ambidédi on rencontre une dizaine d'anciens ports et escales qui, bien qu'actuellement désaffectés, possèdent parfois des infrastructures réutilisables, à condition d'y ramener du matériel de manutention. Les voies de transport terrestre qui desservent ces ports et escales sont dans des états plutôt satisfaisants.

Saint-Louis est bien desservi par la route et le rail, et possède d'anciens quais le long de la rive est de l'île principale. Si ces quais ne sont plus adaptés au trafic de marchandises ils sont par contre idéalement situés pour accueillir des bateaux de tourisme ou de plaisance. Pour la suite de l'étude le Consultant tirera le meilleur parti des études engagées par le COSEC sur l'avenir du port de Saint-Louis, dès que les rapports afférents seront disponibles.

Rosso est situé sur l'important axe routier reliant Dakar et Nouakchott, un bac moderne y assurant la continuité entre les deux rives. Du côté sénégalais on ne trouve qu'une rampe en béton permettant l'accostage du bac, tandis que la rive mauritanienne possède en supplément un quai, un terre-plein et un hangar.

Une douzaine de kilomètres en amont de Rosso, Richard Toll, en bordure immédiate de la route nationale longeant la rive gauche du fleuve, a conservé en bon état son long quai en palplanches bordé par un large terre-plein, jadis affecté au chargement du riz.

En continuant vers l'amont on trouve l'ancien port de Dagana et ses 200 m de quais, à peine plus éloignés de la route nationale que celui de Richard Toll. L'espace libre en arrière des quais est cependant très limité.

Le port suivant est celui de Podor (PK 267), toujours en rive gauche, équipé d'une rampe conçue pour l'accostage latéral (à Podor le marnage atteint 5 m). Par la terre Podor est un peu plus isolé que les ports précédents, puisque situé à 25 km de la route nationale.

Les deux escales suivantes sont implantées en rive droite du fleuve, à Boghé (PK 382) et à Kaédi (PK 542). Boghé ne possède aucun ouvrage d'accostage, seulement un plan incliné terrassé à même la berge, tandis que Kaédi ne montre que les ruines d'un ancien quai en béton. Les deux localités sont reliées à Nouakchott par une bonne route.

Un peu plus loin on rencontre le port de Matam, en rive gauche, au PK 637, muni d'un quai en béton semblable à celui de Podor. Seuls 10 km séparent Matam de la route nationale longeant la rive gauche du fleuve, mais l'embranchement franchit plusieurs ponts de capacité limitée à 3,5 t, ce qui le rendrait impropre à un trafic lourd.

Bakel est l'escale suivante, en rive gauche, au PK 816. Comme à Boghé, l'accostage des pirogues se fait sur la berge en terre, et l'espace entre la berge et le village est quasi-nul. Bakel est directement au contact de la route nationale.

Le port d'Ambidédi, équipé d'un petit quai à deux niveaux, est également implanté en rive gauche, au PK 905. Les voies ferrées de la ligne Dakar-Bamako ne sont qu'à une vingtaine de mètres du quai, plus proches que la mauvaise piste Kidira-Kayes. De vastes espaces sont disponibles sur le site pour y implanter un terminal portuaire.

\*

Le pont Faidherbe franchit le fleuve à Saint-Louis, il permet d'accéder au cœur de la ville. Il mesure 510 m de long et ne dégage qu'un tirant d'air de 2 à 3 m, mais l'une de ses 7 travées a été conçue pour tourner autour d'un axe vertical afin de permettre le passage des bateaux sans limitation de tirant d'air.

Ce pont est constitué de travées métalliques en forme d'arches reposant sur des piles en maçonnerie. Si les piles semblent robustes - elles ont été récemment renforcées par des injections de mortier de ciment -, la plupart des superstructures métalliques sont dans un état de corrosion si avancé que de graves désordres pourraient se produire si des travaux de confortement n'étaient pas rapidement engagés.

Le mécanisme qui permet de faire tourner la travée mobile est celui qui fut mis en place à la construction du pont, il y a 105 ans. Totalement manœuvré à la main, il comprend essentiellement :

- i. Une crapaudine axiale assurant le centrage de l'ensemble mobile.
- ii. Un manège circulaire comprenant 20 bras disposés en étoile et 40 galets roulant entre deux cerces situées en périphérie de la pile centrale.
- iii. Un ensemble de manivelles, de pignons coniques, de renvois d'angles et de crémaillères permettant d'ouvrir et de fermer la travée.

Hélas, il est aujourd'hui malaisé de faire fonctionner cette remarquable mécanique. Bien que ses organes soient exempts de traces de corrosion ou de signes de déformation, la plupart des assemblages manquent de graisse et sont recouverts de sable fin. La dernière manœuvre, qui eut lieu au début des années 90, s'est soldée par une opération de fermeture extrêmement difficile.

Outre les travaux de protection contre la corrosion, qui concernent les superstructures métalliques de l'ensemble du pont et qui n'entrent pas dans le champ de la présente étude, la remise en état de la travée tournante nécessiterait le démontage complet du mécanisme de rotation, son nettoyage, le remplacement des pièces qui s'avèreraient usées, de sérieux graissages et, surtout, l'installation de moteurs hydrauliques destinés à éviter les fastidieuses opérations manuelles. Cette mécanisation ne présenterait pas de difficultés techniques, la masse à mettre en rotation n'excédant guère 300 tonnes<sup>4</sup>, et permettrait probablement de relancer à brève échéance la navigation de tourisme et de plaisance dans la partie aval du fleuve.

\*

Le dernier thème abordé dans la Note Technique traite des aspects juridiques et institutionnels. Ce sujet n'est certes pas primordial mais il n'en reste pas moins que le redémarrage de la navigation sur le fleuve Sénégal réclamerait la mise au point d'un Code de Navigation spécifique prenant en considération la multitude d'accords, de traités et de conventions signés par les gouvernements des pays riverains du fleuve depuis l'accession à l'indépendance des Etats membres de l'OMVS : la Mauritanie, le Sénégal et le Mali. Le Consultant élaborera un projet de Code de Navigation qui devra être attentivement examiné par les autorités administratives des trois Etats membres, en veillant à la nécessité de ne pas bafouer les prérogatives des différents Etats. En toute hypothèse les compétences nationales devraient subsister.

oOo

---

<sup>4</sup> La masse exacte n'est pas connue, en partie parce que les plans de construction du pont n'ont pas été retrouvés. Il semble pourtant qu'en 2001 les Services des Travaux Publics de Saint-Louis étaient en possession de ces plans. Pour la suite de l'étude le Consultant aura vraiment besoin de disposer des plans de construction ou, au minimum, d'une copie des documents établis en 2002 par le Cabinet Bouillon (ces documents contiennent de nombreux plans qui ont peut-être été élaborés sur la base des plans d'origine).

Section I

Hydraulique



## Section I - Hydraulique

### Table des matières

1. Le fleuve et son bassin.....	1
1.1 Présentation du bassin .....	1
1.2 Climat.....	2
1.3 Régime des crues et étiages.....	3
1.4 Transport solide et stabilité du lit .....	3
1.4.1 Le transport solide dans le Sénégal.....	3
1.4.2 Stabilité du lit et des berges (fig n°3).....	4
2. La gestion de l'eau dans le bassin .....	5
2.1 Les usages de l'eau .....	5
2.2 Les besoins hydroagricoles.....	6
2.3 Le barrage de Manantali .....	7
2.4 Le barrage de Diama .....	9
3. La navigation.....	10
3.1 Dans la moyenne vallée .....	10
3.1.1 Diagnostic et études passées .....	10
3.1.2 Modélisation mathématique .....	10
3.1.3 Choix des cas de calcul et conditions limites correspondantes .....	13
3.1.4 Principaux résultats obtenus par LDE.....	16
3.2 Dans l'estuaire .....	16
3.2.1 Description de l'estuaire .....	16
3.2.2 Problèmes pour la navigation et propositions d'aménagement .....	20

#### Annexes :

- Liste des seuils
- Figures n°1 à n°14
- Modélisation mathématique du fleuve Sénégal par Bceom en 2002

## 1. Le fleuve et son bassin

### 1.1 Présentation du bassin

Le fleuve Sénégal a une longueur de 1800 km et draine un bassin versant de 289 000 km<sup>2</sup> qui couvre quatre états selon la répartition suivante (cf figure n°1):

Sénégal	27 500 km <sup>2</sup>
Mali	155 000 km <sup>2</sup>
Mauritanie	75 500 km <sup>2</sup>
Guinée	31 000 km <sup>2</sup>

Etant donné les difficultés inhérentes à la détermination des limites de bassin versant en zone désertique, la superficie du bassin mauritanien doit être considérée comme approximative.

Le Bafing (Sénégal amont) prend sa source à une altitude d'environ 800 m dans les monts du Fouta Djallon en Guinée. Il contrôle à lui seul 50 à 60 % du débit annuel du Sénégal.

Ses affluents principaux sont :

Le Bakoyé (560 km), qui rejoint le Bafing (nom donné au Sénégal amont) en rive droite à Boufalabé au Mali et qui draine essentiellement le bassin malien du fleuve.

La Falémé (620 km), qui rejoint le Sénégal à l'amont de Bakel, en rive gauche et qui constitue la frontière entre Mali et Sénégal, sur la majeure partie de son cours.

Le Kolimbiné, le Karakoro et le Gorgol, qui drainent le bassin mauritanien du fleuve, sont trois affluents de rive droite, de moindre importance.

Il est habituel de distinguer trois tronçons caractéristiques le long du fleuve, d'amont en aval :

- Le haut bassin, à l'amont de Bakel. Dans le haut bassin, le Sénégal, et ses affluents, ont un lit unique, sans champ d'inondation notable. La pente moyenne, qui croit vers l'amont, est toujours supérieure à 5 cm/km.

- La moyenne vallée, de Bakel à Dagana,. Dans la moyenne vallée, les pentes sont très faibles (inférieures à 5 cm/km). Le fleuve se divise en bras nombreux qui s'organisent autour de trois défluent principaux qui sont d'amont en aval, le Dioulol, le Djamel et le Doué. Ces défluent sont tous situés en rive gauche du fleuve. Les deux premiers ne se mettent en eau que lors de la crue. Seul le Doué (245 km) est un bras permanent dont la capacité est voisine de celle du bras principal du fleuve. Dans cette zone la largeur susceptible d'être inondée lors des crues, et qui porte le nom local de walo, est comprise entre 10 à 25 km.

- Le delta, à l'aval de Dagana, soumis à l'influence de la marée avant la construction du barrage de Diama. Dans cette région très basse, le Sénégal forme un delta dans lequel d'anciens bras, tous situés en rive gauche, ont été réaménagés en canaux adducteurs ou en canaux de drainage pour l'irrigation contrôlée du delta, zone à fort potentiel agricole.

Deux aménagements ont, depuis une vingtaine d'années, considérablement modifié les conditions d'écoulement dans le fleuve :

- Le réservoir de Manantali est construit sur le Bafing à environ 120 km à l'amont de sa confluence avec le Bakoyé.

- Le barrage de Diama, qui délimite la partie maritime du fleuve est construit à une vingtaine de km à l'amont de St Louis.

## 1.2 Climat

Le Sénégal traverse trois zones climatiques distinctes caractérisées par :

- Le climat "foutalien", caractéristique de la zone boisée du Fouta Djalon, qui avec des précipitations annuelles de l'ordre de 1500 à 2000 mm, donne naissance à tous les grands fleuves de la région (Sénégal, Niger, Gambie, Casamance, Konkouré). Ce type de climat se rencontre approximativement dans le bassin guinéen du Sénégal et plus précisément dans le haut bassin du Bafing.

- Le climat "soudanien", correspondant approximativement au bassin malien du fleuve avec des précipitations annuelles comprises entre 600 et 1200 mm.

- Le climat "Sahélien" correspondant approximativement aux bassins sénégalais et mauritanien du fleuve, avec des précipitations annuelles variant entre 250 et 600 mm.

Le Sénégal, notamment dans la moyenne vallée traverse des zones où l'évaporation est très intense. La monographie du fleuve Sénégal (IRD) donnent les valeurs moyennes annuelles suivantes :

à Kayes :	2850 mm/an
à Matam :	3200 mm/an
à Rosso :	3550 mm/an

Compte tenu des variations saisonnières, dans la zone sahélienne, l'évaporation journalière est donc voisine de, voire supérieure à 1 cm.

### **1.3 Régime des crues et étiages**

Le régime des crues du Sénégal est celui d'une crue annuelle, liée à la saison des pluies sur le haut bassin. Des pointes de crue, très variables selon la pluviométrie de l'année, entre 3000 et 12000 m<sup>3</sup>/s, peuvent survenir à Bakel de Juillet à Octobre. La pointe de débit à Bakel se situe le plus souvent dans les premiers jours de Septembre.

Les hydrogrammes de la figure n°2, repris de [19], illustrent l'évolution d'une crue, environ centennale, d'amont en aval.

A l'aval de Bakel, les apports des affluents mauritaniens au Sénégal sont négligeables. En revanche l'amortissement de la crue par inondation du lit majeur et par évaporation est très important. C'est ainsi que la pointe de crue centennale de 8300 m<sup>3</sup>/s à Bakel, n'est plus que de 6500 m<sup>3</sup>/s à Matam et de 3200 m<sup>3</sup>/s à Dagana.

En étiage, le débit naturel du Sénégal est d'une dizaine de m<sup>3</sup>/s à Bakel. Il peut pratiquement s'annuler certaines années sèches.

Le module du fleuve (débit moyen) est voisin de 750 m<sup>3</sup>/s.

Compte tenu de la pente très faible du fleuve, les vitesses d'écoulement restent modérées, même en crue. Elles varient de 0,1 à 0,6 m/s en période de basses eaux (débits inférieurs à 500 m<sup>3</sup>/s). Elles varient de 1 à 1,4 m/s pendant la montée de la crue et de 0,4 à 0,8 m/s seulement pendant la décrue.

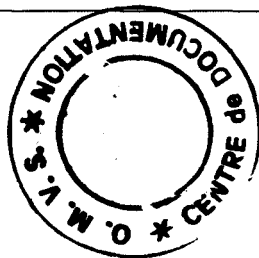
Cette grande dissymétrie entre la montée de la crue et la décrue, due aux pentes faibles et au stockage des eaux dans le lit majeur explique l'absence de loi hauteur/débit (en crue) univoque dans le fleuve à l'aval de Bakel. Pour cette raison, Bakel constitue l'échelle de référence du Sénégal.

### **1.4 Transport solide et stabilité du lit**

#### **1.4.1 Le transport solide dans le Sénégal**

Le transport solide dans le Sénégal a fait l'objet d'une étude confiée au bureau d'études Sénégal-Consult. Les principales conclusions de cette étude, reprises par LDE sont rappelées dans ce qui suit. Dans un fleuve alluvial comme le Sénégal, il est usuel d'admettre que le transport solide se fait sous deux formes :

- Le charriage sur le fond
- Les matériaux en suspension (MES)



#### 1.4.1.1 Le charriage

Le charriage concerne l'entraînement des matériaux constitutifs du fond du lit. Son évaluation quantitative, à partir de mesures in situ, est très difficile. Son évaluation par application de formules théoriques, semi-empiriques de charriage est très imprécise. Outre le choix de la meilleure formule se pose le problème du choix des paramètres représentatifs de calcul (débit, diamètre moyen, hauteur moyenne, pente moyenne, etc). Ces estimations donnent en général des résultats très dispersés, peu utilisables.

C'est pourtant le charriage qui détermine la mobilité des fonds et par voie de conséquence, les volumes de dragage d'entretien qui seront nécessaires pour maintenir le gabarit de navigation.

Il est admis que les nombreux seuils qui barrent le fleuve à l'amont de Gouina limitent beaucoup les possibilités de transport solide dans le cours supérieur du Sénégal. Le barrage de Manantali, qui constitue un obstacle au charriage sur le Bafing, ne peut que réduire encore plus la possibilité d'un charriage sur le Sénégal amont. Le charriage dans le haut bassin proviendrait donc essentiellement des affluents qui rejoignent le Sénégal entre Kayes et Gouina.

#### 1.4.1.2 Les matériaux en suspension

La mesure des matériaux en suspension (mes) est plus aisée que celle du charriage. Des mesures ont été effectuées par Sénégal Consult au cours des années 1968 et 1969. Le diamètre moyen des particules en suspension est de 0,002 mm. La concentration en mes varie de 25 à 250 mg/l lorsque le débit varie de 800 à 2500 m<sup>3</sup>/s. Par intégration, les quantités annuelles moyennes transportées en suspension ont été estimées à 2,9 millions de t/an à Bakel.

Des mesures faites en 1971 par Surveyer, Nenninger et Chevenet pour l'OMVS, ont conduit à retenir une valeur moyenne de 900000 t/an, soit une moyenne d'environ 2500 t/jour, avec une pointe en crue de 14000 t/j. Elles ont été faites à 30 cm du fond pour des vitesses d'écoulement de 0,1 à 0,2 m/s sur des matériaux de diamètre moyen compris entre 0,005 et 0,007 mm. Les concentrations obtenues ont varié de plus de 1000 mg/l pendant la crue à moins de 30 mg/l pendant la décrue. Il semble que ces mesures, faites près du fond, avec des matériaux plus grossiers que les mes, s'intéressaient plutôt au wash-load, processus de transport solide, parfois distingué du charriage et des suspensions, notamment par les chercheurs anglo-saxons.

Cette disparité entre résultats montre bien la difficulté de l'estimation du transport solide.

#### 1.4.2 Stabilité du lit et des berges (fig n°3)

Dans la partie amont du secteur d'étude, les berges, constituées de matériaux cohésifs très fins paraissent assez mobiles. Elles ne sont pas stabilisées par la végétation. Les berges du Sénégal au village de Diola au

PK 740 (cf fig n°3, photo n°2), juste à l'amont de la défluence du Dioulol, c'est à dire là où le Sénégal passe du type à lit unique du haut bassin au type à large champ d'inondation de la moyenne vallée, sont caractéristiques du Sénégal amont. Les griffes d'érosion, visibles en haut de rive, résultent en fait du ruissellement pluvial de surface.

L'analyse de l'évolution des courbes de tarage dans le temps ne montre pas d'évolution flagrante et rapide des profils. L'examen du quai d'Ambidédi (photo n°1 de la figure n°3) ne met pas en évidence un recul de berge important depuis la construction du quai.

Les bancs sableux, qui forment la plupart des seuils sont situés à l'intrados des courbes et apparaissent directement liés à la morphologie du fleuve. Le seuil sableux, répertorié sous le nom de Guelle, est visible, en rive droite, sur la photo n°2 de la figure n°3, à l'intrados du coude de Diola.

Dans la moyenne vallée, les berges apparaissent de moins en moins fragiles d'amont en aval. Une végétation rivulaire apparaît progressivement comme au quai de Podor (photo n°3 de la figure n°3), végétation qui se généralise dans le delta. L'examen des points fixes, comme les quais, mis en place depuis longtemps, ne met pas en évidence d'évolution rapide des berges du fleuve.

## **2. La gestion de l'eau dans le bassin**

### **2.1 Les usages de l'eau**

Les principaux usages de l'eau, actuellement, à l'aval de Kayes, que les barrages de Manantali et de Diama permettent de rationaliser sont :

- L'hydroagriculture
- La production d'énergie

Le développement des périmètres irrigués a été une priorité de l'OMVS depuis la mise en service des barrages. La production d'énergie électrique par turbinage des débits lâchés à Manantali est devenue une réalité assez récemment.

L'activité de navigation sur le fleuve est actuellement réduite à un trafic local de quelques pirogues de faible capacité et à un trafic transfrontalier, assuré par les bacs et notamment celui de Rosso. Toutefois, il entre dans la mission de l'OMVS de développer cet usage, a priori, complémentaire des deux autres dans le cadre d'un développement global de la région.

L'usage hydroagricole est incontestablement le plus contraignant des trois usages en terme de volume consommé et en terme de gestion de l'eau au cours de l'année.

En phase finale d'aménagement, les trois usages apparaissent assez compatibles puisque, tous, tendent à une régularisation du débit du fleuve avec stockage des eaux pendant la crue et soutien du débit d'étiage.

En revanche, pendant la phase provisoire d'aménagement, le besoin d'assurer une crue artificielle pour soutenir les cultures de décrue, limite les possibilités de soutien d'étiage.

## 2.2 Les besoins hydroagricoles

L'agriculture irriguée est de loin la principale activité agricole en termes de valeur de la production et des revenus globaux, en comparaison de l'agriculture de décrue et pluviale, même dans la moyenne vallée.

Toutefois, l'agriculture de décrue constitue, dans cette région une activité traditionnelle qui concerne (partiellement) au moins 70% des ménages ruraux. Ces cultures se pratiquent essentiellement dans la moyenne vallée du Sénégal entre Bakel et Dagana, là où le fleuve présente un lit majeur large avec de nombreux bras secondaires. Les surfaces réellement cultivées, assez régulièrement réparties entre ces deux villes ne représentent qu'une partie de la superficie submergée par la crue. Elles sont très variables en fonction de l'intensité de la crue.

Une étude détaillée des besoins en eau, nécessaires pour optimiser l'usage de l'eau en cultures de décrue, a été réalisée récemment par l'IRD [1]. Les principales conclusions de cette étude sont rapportées ci-après.

Les surfaces cultivées entre 1946 et 2000 ont été reportées en fonction de la surface totale inondée sur le graphique de la figure n°4, tiré de rapport IRD de Décembre 2001. Les surfaces potentiellement cultivables en décrue se répartissent approximativement pour un tiers en rive droite et deux tiers en rive gauche.

La figure n°4 montre que la production de ces cultures de décrue est assez aléatoire en fonction de l'intensité et de la durée de la crue. Elle montre aussi qu'à partir d'un certain seuil, les surfaces cultivées augmentent peu avec les surfaces inondées.

La mise en service du barrage de Manantali modifie grandement les conditions de disponibilité de l'eau dans la vallée. Sa capacité permet la régularisation des débits du Sénégal amont (Bafing). Il permet donc de réduire fortement l'aléa sur l'approvisionnement de l'eau dans la vallée. À terme, Manantali permettra un approvisionnement en eau d'irrigation maîtrisé et permettra d'augmenter très sensiblement les rendements en multipliant le nombre de récoltes annuelles.

Cette phase finale de l'aménagement nécessite l'adaptation préalable des méthodes agricoles et notamment le développement de périmètres irrigués permettant une agriculture sécurisée et intensive. Il est prévu que ces aménagements seront réalisés au cours d'une phase transitoire.

Afin de tirer immédiatement parti du barrage de Manantali et de réduire l'aléa lié aux cultures de décrue, la gestion de Manantali prévoit de soutenir, par une régulation interannuelle, les crues les plus faibles en générant une crue artificielle sous forme d'un débit minimal à assurer à Bakel.

L'objectif de la crue artificielle est de garantir la submersion d'une superficie maximale pendant une durée suffisante pour assurer la maturation des cultures. Le potentiel cultivable minimal (variable de 45 000 à 70

000 ha par pas de 5000 ha) et la durée de la submersion (25 ou 30 jours) sont déterminés chaque année en fonction de la ressource disponible. Ce choix est effectué chaque année le 21 août, à la veille des premiers lâchés éventuels, en fonction des réserves disponibles dans le barrage et des apports naturels prévisibles des affluents.

Les hydrogrammes artificiels, optimisés à Bakel, et tirés de [1] ont été reportés sur les graphiques a) et b) de la figure n°5.

### 2.3 Le barrage de Manantali

La retenue du barrage de Manantali a une capacité de 11,5 milliards m<sup>3</sup>, ce qui lui permet de régulariser l'apport moyen du Bafing, soit 365 m<sup>3</sup>/s en 1997.

Les études préalables à la construction du barrage, réalisée par le groupement Manantali [2] avaient déjà prévu que l'exploitation du barrage se ferait en deux phases successives :

Une phase transitoire, avec un débit minimal garanti de 200 m<sup>3</sup>/s et réalisation d'une crue artificielle.

Une phase finale, avec un débit minimal garanti de 300 m<sup>3</sup>/s, sans crue artificielle.

Une étude récente (2001) sur la gestion de Manantali, plus particulièrement en phase transitoire, a été réalisée par l'IRD [5].

Cette étude est basée sur une simulation de fonctionnement du barrage à long terme par reconstitution de la série hydrologique correspondant à la période 1950-1998. 162 scénarios différents, résultant d'un jeu de consignes de gestion, ont été testés en faisant varier les paramètres de la gestion. Certaines consignes de gestion sont imposées par les impératifs de sécurité. Les consignes de gestions proprement dites tendent à optimiser plusieurs objectifs, principalement la production d'énergie, le soutien d'étiage, et la réalisation de la crue artificielle.

Il est à remarquer que les objectifs de production d'énergie et de soutien d'étiage sont assez peu concurrentiels puisque ces deux usages tendent tous deux à régulariser le débit du Bafing même si l'objectif de production d'une quantité constante d'énergie nécessite une augmentation du débit au fur et à mesure que la retenue se vide. En revanche, la réalisation d'une crue artificielle est un objectif plus conflictuel avec les deux autres puisque le débit lâché pendant la crue n'est plus disponible en étiage.

Il est à noter que l'hypothèse faite dans l'étude, en ce qui concerne le soutien de crue, est celle de l'hydrogramme objectif à Bakel dénommé ORSTOM1 ou IRD1.

Cet hydrogramme objectif, qui constitue déjà une amélioration de l'hydrogramme objectif utilisé dans les premières études et connu sous le nom de "GIBB A", est un hydrogramme trapézoïdal défini de la façon suivante :

0 m <sup>3</sup> /s	le 22 août
2500 m <sup>3</sup> /s	le 28 août
2500 m <sup>3</sup> /s	le 02 septembre
0 m <sup>3</sup> /s	le 16 octobre

Cette étude n'a donc pas pris en compte les tout derniers résultats de l'étude [1] qui a été menée en parallèle. L'étude [1], dont les résultats sont exposés au paragraphe 2.2, a conduit à proposer un nouvel objectif d'hydrogramme artificiel (cf figure n°5), qui sera appelé IRD2 dans ce qui suit pour faciliter l'exposé. Ce nouvel hydrogramme permet une économie de 1,6 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par rapport à l'hydrogramme IRD1 et une économie de 2,9 milliards de m<sup>3</sup> d'eau par rapport à l'hydrogramme GIBB A.

La figure n°6, tirée du document cité et qui montre la relation obtenue entre les degrés de satisfaction des trois objectifs principaux, synthétise les résultats de l'étude.

Il apparaît qu'avec un soutien d'étiage à 200 m<sup>3</sup>/s (à Bakel) et pour une production d'énergie de 850 Gwh/an, la crue artificielle peut être réalisée avec une probabilité de 70 %. Pour une production d'énergie de 975 Gwh/an, la probabilité de réalisation de la crue artificielle n'est plus que de 60 % environ. Le choix du point de fonctionnement, qui nécessite un arbitrage entre les trois usages fondamentaux, appartient à l'OMVS.

Il doit être remarqué que cette optimisation de la gestion a été faite avec la crue artificielle IRD1. Avec la crue IRD2, qui permet d'économiser 1,9 Mm<sup>3</sup>, soit plus de 15 % du volume de Manantali, des résultats sensiblement plus favorables auraient sans doute été obtenus. Il est même raisonnable de penser que, avec la crue IRD2, le soutien d'étiage, prévu à 227 m<sup>3</sup>/s dans les études précédentes, au lieu de 200 m<sup>3</sup>/s, reste une hypothèse réaliste.

Bien que l'étude de gestion de Manantali ait été centrée sur le fonctionnement de période transitoire, c'est à dire avec la crue artificielle, une analyse des possibilités de soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s (valeur retenue dans les études précédentes pour la phase finale) a été faite. Il en ressort que :

"Même si le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s était envisagé comme unique objectif pour le barrage, les débits obtenus à Bakel seraient très largement inférieurs à cette valeur pendant une durée de 1 mois, pour 24% des étiages."

"Quel que soit le mode de gestion adopté pour le barrage de Manantali, le soutien d'étiage à 300 m<sup>3</sup>/s ne pourra jamais être garanti à 100 % si l'hydraulicité reste conforme à celle de la période 1950-1998 sur le haut bassin du Sénégal. Environ une année sur trois, il sera impossible d'atteindre cet objectif pendant au moins trois mois."

Il appartient à l'OMVS de décider si ces limitations sont acceptables dans le cadre de l'étude en cours et si le débit d'étiage de 300 m<sup>3</sup>/s doit être conservé ou si un débit plus faible doit être pris en considération.

## 2.4 Le barrage de Diama

Le barrage de Diama a été construit pour empêcher la remontée d'eau salée en étiage dans le delta et la salinisation des terres. Le barrage peut théoriquement maintenir un niveau amont à une cote égale ou inférieure à 2,5 m en étiage. La surface dominée, donc irrigable, dépendant du niveau réglé, l'aménagement hydroagricole du delta a été prévu en deux phases successives :

- phase 1 : >30 000 ha pour une cote de retenue de 1,5 m
- phase 2 : >60 000 ha pour une cote de retenue de 2,5 m

Outre l'irrigation du delta, le barrage a aussi pour objectif de faciliter l'alimentation en eau potable de St Louis et de Dakar et de permettre l'alimentation en eau douce du lac de Guiers, du lac Rkiz et de la dépression de l'Aftout Es Sahel en Mauritanie.

La gestion du barrage de Diama a fait l'objet d'une étude récente par l'IRD [3]. Les objectifs de la gestion sont de fermer les vannes en étiage afin de maintenir un niveau permettant l'irrigation du delta et d'ouvrir les vannes pour laisser passer la crue. Cette gestion, a priori simple, est rendue plus délicate en raison de la limitation de l'énergie dissipée admissible aux vannes à 1000 m<sup>4</sup>/s. Les consignes de gestion qui en résulte, pour une gestion à la cote 2 m. peuvent se résumer ainsi :

- En étiage, le niveau est maintenu à la cote 2, tant que le niveau 356 à Bakel n'est pas atteint, soit approximativement en dessous d'un débit de 500m<sup>3</sup>/s.
- Il est descendu progressivement à 1,5 m pendant que le niveau à Bakel passe de 356 à 465, c'est à dire pendant que le débit à Bakel monte de 500 à 850 m<sup>3</sup>/s. Selon les années, l'abaissement de niveau, ainsi réalisé en fonction de l'arrivée de la crue, peut débuter entre juillet et mi-août. Cet abaissement se fait en 1 à 7 semaines.
- En crue, l'objectif est de maintenir le niveau amont à la cote de 1,5 m. Ceci n'est possible, par réglage des vannes, que pour des débits inférieurs à 1850 m<sup>3</sup>/s. Au delà, les vannes grandes ouvertes laissent le niveau évoluer au dessus de la cote 1,5 m en fonction du débit du fleuve.
- A la décrue, la procédure de gestion des vannes est un peu plus complexe. La remontée du niveau à Diama ne débute que lorsque les deux conditions suivantes sont réunies :
  - \* Le passage du maximum de la crue a été constaté sans ambiguïté à Bakel.
  - \* Le maintien du niveau amont à la cote 1,5 m est effectué avec un palier de réglage inférieur à 7, ce qui signifie, pour une échelle de 22 paliers, que les vannes doivent être déjà fermées au deux tiers de leur ouverture totale.

Cette remontée s'effectue, selon les années, entre fin Septembre et fin Novembre.

Le niveau à Diama est donc maintenu à sa cote haute tant que le débit est inférieur à 500 m<sup>3</sup>/s à la crue. A la décrue, il n'est pas remonté pour un débit donné, mais il est remonté "dans les meilleurs délais". Il est donc peu probable que des tirants d'eau inférieurs à ceux correspondants à la situation critique considérée (étiage et niveau haut à Diama) puissent se produire.

### **3. La navigation**

#### **3.1 Dans la moyenne vallée**

##### **3.1.1 Diagnostic et études passées**

Une première étude de navigation dans la moyenne vallée a été effectuée par le groupement Manantali avant la construction des barrages [2]. Cette étude, menée à un niveau d'avant projet sommaire, a permis de dégager un scénario de gestion multiobjectifs du barrage de Manantali (scénario 7) qui a été repris par la suite comme référence. C'est notamment sur ces bases qu'a été faite l'étude du groupement LDE-SW [ 6 à 15 ], étude très détaillée qui a été menée jusqu'au niveau d'un projet d'exécution.

En période de basses eaux, la navigation sur le fleuve est gênée par un grand nombre de seuils. 53 obstacles à la navigation ont été dénombrés entre Kayes et St Louis. La liste des 50 seuils recensés entre Ambidédi et St Louis est reproduite en annexe. 3 seuils seulement ont été identifiés à l'aval de Leboudou Doué près de Dagana. Aucun n'a été répertorié à l'aval de Richard Toll. La plupart des seuils identifiés sont de nature sableuse.

Les durées annuelles de dépassement d'une profondeur de 2 m et de 1,5 m, le long du fleuve, estimée par Ivanov et reprises par LDE, sont reproduites sur les graphiques de la figure n°7, tirée de [19] pour trois années d'hydraulicité faible, moyenne et forte.

Le développement de la navigation se ferait donc à la fois par un soutien des débits d'étiage et par des travaux d'élimination des seuils. Les seuils étant pour la plupart des seuils sableux, d'origine morphologique, liés à la sinuosité du fleuve, leur élimination nécessiterait à la fois des travaux d'aménagement du type épis et digues et de fastidieux travaux d'entretien par dragage.

##### **3.1.2 Modélisation mathématique**

###### **3.1.2.1 Le modèle EWI**

###### *Logiciel*

Un modèle mathématique a été développé par le groupement LDE dans le cadre de la mission A 1.4 (Modèle mathématique) des études d'exécution. Le modèle EWI utilisé dans l'étude de base est décrit dans

le tome 1 du rapport correspondant [7] et les résultats de calculs sont consignés dans les tomes 2 [8] et 3 [9].

Le logiciel utilisé est un logiciel de calcul de lignes d'eau en régime permanent, développé par Electrowatt pour les besoins de l'étude. Il est basé sur la résolution de l'équation dynamique de Barré de St Venant par la méthode dite du "standard step".

Il est à noter que le logiciel distingue les pertes de charge par frottement des pertes de charge par variations de section (élargissements et contractions) et que ces pertes sont calculées, en fonction du carré de la vitesse moyenne d'écoulement, en prenant en compte un coefficient  $\alpha$ , correcteur de l'énergie cinétique. Ce coefficient, calé sur des observations, a été pris égal à 1,11.

#### *Profils en travers*

Le modèle s'étend depuis Kayes (PK 948) à l'amont jusqu'à Leboudou-Doué (PK 244) à l'aval. Il inclut le lit d'étiage du Sénégal et de son bras permanent le Doué, à l'exclusion du lit majeur et des bras non permanents, donc non actifs en période d'étiage.

Entre ces deux points, 890 profils en travers ont été levés sur le Sénégal et 238 sur le Doué, soit plus de un profil par kilomètre en moyenne. Les profils levés sur le Sénégal ont pu être retrouvés dans les archives de l'OMVS à St Louis. Pour des raisons de commodité, le modèle a été découpé en tronçons, qui ont été calculés d'aval en amont, le niveau calculé à l'amont de chacun des tronçons étant réintroduit comme condition limite aval du tronçon supérieur.

Le tronçon aval, de Leboudou Doué à St Louis, d'une longueur de 244 km, non représenté dans le modèle, appartient au cours inférieur du fleuve. Il est caractérisé par un lit unique dont la largeur varie entre 200 et 600 m, faisant de larges méandres à travers la plaine et calé au dessous du niveau de la mer. Le mouillage y est généralement supérieur à 3 m, malgré la présence localement de trois seuils. Il est donc justifié de ne pas modéliser ce tronçon.

Pour des raisons de commodité, le modèle a été découpé en tronçons par Electrowatt. Les tronçons du bras principal du Sénégal, depuis Ambidédi jusqu'à Leboudou Doué, sont les tronçons :

1	Ambidédi (PK 905)	Bakel (PK 816)
2	Bakel (PK 816)	Matam (PK 637)
3	Matam (PK 637)	Vending (PK 489)
4	Vending (PK489)	Leboudou Doué (PK 244)

- Le tronçon 1, de 89 km de longueur, fait partie du cours supérieur du Sénégal. Le lit du fleuve unique est encore assez rectiligne. Le profil en travers, presque rectangulaire, a une largeur de 300 à 700 m. 13 seuils parfois rocheux ont été dénombrés sur ce secteur.

- Le tronçon 2, de 179 km de longueur, appartient à la moyenne vallée. Les méandres s'accroissent et les bras secondaires se multiplient. La largeur du fleuve varie entre 200 et 700 m. Les profils en travers, encore rectangulaires en section droite, deviennent triangulaires dans les coudes, avec apparition de bancs de sable dans l'intrados des courbes. 12 coudes de rayon inférieur à 1000m et 12 seuils, sableux pour la plupart, y ont été répertoriés.

- Le tronçon 3, de 148 km de long, appartient également à la moyenne vallée. En raison de la multiplication des bras secondaires, la largeur du lit mineur se réduit entre 150 et 500 m. 12 coudes de rayon inférieur à 1000m et 12 seuils, sableux pour la plupart, y ont été répertoriés.

- Le tronçon 4 (Sénégal) a une longueur de 245 km. En raison de la séparation des débits entre le Sénégal et le Doué, la largeur du lit mineur n'est plus que de 60 à 200 m.. Le méandrement s'accroît encore. 56 coudes de rayon inférieur à 1000 m et 11 seuils, sableux pour la plupart, y ont été répertoriés.

#### *Réglage du modèle*

Le réglage du modèle a été effectué sur toutes les observations disponibles et notamment les lois hauteur/débit existantes et divers levés réalisés in situ [7]. Il a essentiellement consisté à déterminer les coefficients de rugosité de Strickler applicable tout le long du modèle. Les valeurs de ce coefficient retenues pour le modèle par Electrowatt, après réglage, sont résumées dans le tableau n°1.

*Tableau n° 1 Coefficients de rugosité de Strickler dans le Sénégal*

Tronçon	PK	Coefficient de rugosité
Kayes - Vending	948 - 489	37
Vending - Dioudé - Diabé	489 - 441	42
Dioudé - Diabé - Boghé	441 - 382	44
Boghé - Léboundou-Doué	382 - 245	49

En certains points particuliers, et notamment au droit des seuils rocheux, des valeurs particulières ont été attribuées au coefficient de Strickler.

Les valeurs plus élevées du coefficient de rugosité, observées à l'aval de Vending, sont attribuées par Electrowatt à l'effet de la marée.

#### **3.1.2.2 Le modèle BCEOM**

Une annexe spécifique est consacrée aux travaux de modélisation effectués par Bceom en 2002.

#### *Logiciel*

Le logiciel d'Electrowatt, qui n'a pas été conservé par l'OMVS, n'a pas pu être repris dans le cadre de la présente étude. Le logiciel retenu par BCEOM pour modéliser le Sénégal est le logiciel HEC-RAS. Ce logiciel de calcul en régime permanent est proche du modèle EWI et bien adapté au problème à traiter. Il s'agit d'un standard international, facilement disponible, sans licence et téléchargeable. Il pourra donc être installé très facilement à l'OMVS.

Ce logiciel possède de plus une procédure particulière d'insertion d'un gabarit de navigation dans une section quelconque et de calcul automatique des volumes de dragage correspondants, particulièrement utile pour l'étude en cours.

#### *Profils en travers et paramètres de calcul*

Le modèle a été développé sur le Sénégal depuis Ambidédi à l'amont jusqu'à Leboudou Doué à l'aval. Le Doué n'a pas été modélisé. Outre que les profils en travers du Doué n'ont pas été retrouvés, cette modélisation n'est pas indispensable étant donné que le chenal navigable n'emprunte pas le bras du Doué. Cette modélisation avait été faite par Electrowatt seulement pour prendre en compte l'influence du Doué sur les débits du Sénégal. Les calculs déjà réalisés, ainsi que les observations faites par l'IRD dans le passé permettent de bien connaître la relation qui régit le partage des débits entre le Sénégal et le Doué en fonction du débit total, relation qui est reproduite sur le graphique de la figure n°8.

#### *Réglage du modèle*

Le réglage du modèle BCEOM a été fait en reproduisant le calcul de réglage d'Electrowatt avec les mêmes débits (calcul n°1 du document [ 9 ]). La prise en compte du coefficient correcteur de l'énergie cinétique et des pertes de charge par élargissement et contractions étant différentes, il a fallu modifier les paramètres de rugosité retenus dans le modèle EWI.

### **3.1.3 Choix des cas de calcul et conditions limites correspondantes**

#### **3.1.3.1 Cas de calculs**

Neuf cas de calcul, définis par la configuration du lit et les conditions limites, résumées dans le tableau n°2, ont été étudiés par Electrowatt dans les études de projet d'exécution.

*Tableau n° 2 Définition des calculs Electrowatt*

Cas n°	Configuration du lit	Conditions de débit	Cote à Diama
1	Naturel, sans chenal	PF, Avril	sans barrage
2	Naturel, sans chenal	PF, Avril	1,5 m
3	chenal 1,5 m	PF, Avril	1,5 m
4	chenal 2,0 m	PF, Avril	1,5 m
5	chenal 2,5 m	PF, Avril	1,5 m
6	chenal 2,0 m	PF, Janvier	1,5 m

7	chenal 1,5 m	PF, Janvier	1,5 m
8	chenal 2,0 m	PT, Juin	1,5 m
9	chenal 2,0 m	PF, Avril	2,5 m

Dans le cadre des études de détail, cinq autres calculs (calculs complémentaires) ont été exécutés. Ces calculs portent sur des détails de la chenalisation et ne remettent pas en cause les hypothèses initiales. Les conditions de calcul du tableau n°2 sont explicitées dans ce qui suit.

### 3.1.3.2 Configuration du lit

Le calcul n°1 est en fait le calcul de réglage, permettant de caler les coefficients de Strickler et de reproduire les conditions d'écoulement observées en l'état naturel, à l'époque sans barrage à Diama. Dans les cas n°3 à 9, ont été testées trois hypothèses de tirant d'eau (enfouissement des bateaux), respectivement : 1,5, 2,0, et 2,5 m.

Les profondeurs minimales du chenal de navigation ont été définies selon le schéma de la figure n°9. La profondeur de référence est calculée à partir de l'enfoncement théorique du bateau en ajoutant un enfouissement supplémentaire du bateau navigant et un pied de pilote. La profondeur hydraulique est obtenue en ajoutant à la profondeur de référence une majoration de sécurité, une majoration hydraulique, une majoration bathymétrique et une tolérance de dragage.

Des surlargeurs ont été appliquées au chenal navigable en fonction du rayon de courbure. C'est ainsi que pour un chenal droit de 55 m de largeur, les surlargeurs sont respectivement de 5, 11, 21 et 40 m pour des rayons de courbures de 800, 600, 400 et 200 m.

Les pentes des talus du chenal ont été prises égales à :

- 1/5 pour des talus sableux, non protégé
- 1/3 pour des talus sableux, protégés
- 1/1 pour des talus rocheux.

### 3.1.3.3 Conditions de débit

La plupart des calculs ont été exécutés pour la phase finale de l'aménagement (PF), hypothèse fondamentale de l'étude. Seul le calcul n°8 a permis de tester les conditions de navigation qui en résulteraient en phase transitoire (PT).

Les débits retenus pour la phase finale sont ceux correspondants au mois d'Avril, identifié dans l'étude du groupement Manantali [2] comme le mois critique (mois le plus faible) du scénario n°7, retenu comme le plus intéressant pour l'optimisation globale de la ressource du barrage. Le débit de référence à Bakel est de 299 m<sup>3</sup>/s. La répartition le long du fleuve, compte tenu des hypothèses de demande et d'évaporation, est donnée dans le tableau n°3.

Des calculs ont également été exécutés, pour la phase finale, avec les débits plus favorables du mois de janvier, dépassés huit mois sur douze.

Les débits retenus pour la phase transitoire sont ceux correspondants au mois de Juin, identifié dans [2] comme le mois critique (mois le plus faible) de la phase transitoire. Le débit de référence à Bakel est de 227 m<sup>3</sup>/s. La répartition le long du fleuve, compte tenu des hypothèses de demande et d'évaporation, est donnée dans le tableau n°3.

Tableau n° 3 Répartition des débits minimaux le long du fleuve en phase finale et en phase transitoire

Station	PK	Débit (m <sup>3</sup> /s) en PF	Débit (m <sup>3</sup> /s) en PT
Kayes	948	302	208
Ambidédi	905	302	208
Bakel	816	299	227
Moudéri	788	298	226
Gouriki	702	280	216
Thienping	656	266	208
Matam	638		
Koundel	616	253	200
N'Guidjilone	587	247	197
Kerr	532	237	191
M'Bagne	497	225	185
Vending amont	490	204	174
Vending aval	490	110	94
Dioudé Diabé	440	106	92
Demet	385	97	86
Mafou	333	89	82
Podor	266	83	78
Leboudou Doué amont	244	81	77
Leboudou Doué aval	244	150	142
St Louis	0	116	119

#### 3.1.3.4 Cote aval

Il est nécessaire de donner une cote de projet au point aval du modèle, à Leboudou Doué, au PK 244.

Etant donné qu'en étiage le niveau entre Leboudou Doué et Diama est pratiquement horizontal, la cote imposée à Leboudou Doué est donc très voisine de la cote maintenue à Diama.

S'appuyant sur des calculs effectués avec le modèle Corediam de l'IRD, LDE a imposé à Leboudou Doué une cote de 1,51 m pour une cote à Diama de 1,5 m et de 2,52 m pour une cote à Diama de 2,5 m.

Tous les calculs ont été réalisés avec une hypothèse de cote 1,5 m à Diama à l'exception du calcul n°9 pour lequel la cote à Diama est de 2,5 m.

En fait, pour les besoins de l'irrigation dans le delta, il est prévu (cf paragraphe 2.4) de maintenir pendant tout l'étiage une cote minimale de 2 m. Actuellement, la cote maintenue à Diama est de l'ordre de 2,1 à 2,2 m.

Il est à noter que l'hypothèse de cote à Diama, entre 1,5 et 2,5 m, a une incidence assez limitée sur la navigation comme le montre le graphique de la figure n°10, tiré de [7].

#### **3.1.4 Principaux résultats obtenus par LDE**

Les résultats détaillés de la modélisation sont consignés dans les rapports [8] et [9]. Ces résultats sont présentés de façon synthétique sur les graphiques des figures n°11 et n°12, tirées de [7].

La figure n°11 donne les profondeurs minimales d'eau obtenues le long du fleuve pour chacun des 9 cas de calcul du tableau n°2.

La figure n°12 donne les volumes de dragage estimés en fonction de la profondeur du chenal navigable. Il est intéressant de constater que jusqu'à Boghé, le volume de dragage nécessaire reste très limité devant le volume de dragage total.

### **3.2 Dans l'estuaire**

#### **3.2.1 Description de l'estuaire**

##### **3.2.1.1 Configuration de l'estuaire**

On entend communément par estuaire la partie du fleuve comprise entre St Louis et la mer, même si la marée remonte aujourd'hui jusqu'au barrage de Diama. L'estuaire est séparé de l'océan par une étroite flèche sableuse, la langue de Barbarie. Cette flèche sableuse résulte des effets conjugués des débits du fleuve et des houles du large sur le transit littoral. Elle témoigne d'un transit littoral, de direction nord-sud, très intense sous l'effet des houles dominantes de direction Nord-Ouest.

Sa largeur varie entre 200 et 600 m. Son profil type comporte une plage de sable fin et à l'arrière une dune plus ou moins développée de quelques mètres de hauteur. Des travaux de stabilisations des dunes par plantation d'arbres ont été effectués au cours du temps.

De fortes tempêtes sont susceptibles de couper cette flèche et de générer des passes naturelles qui se déplacent vers le sud avec le transit littoral en se rebouchant progressivement.

Les profondeurs dans l'estuaire sont en général supérieures à 5 m sur une largeur d'au moins 200 m. Au point bas des profils, elles atteignent couramment 6 à 8 m. Elles n'ont jamais été un obstacle important à la navigation.

En revanche, la houle et le transit littoral, qui doit traverser l'embouchure pour poursuivre sa migration nord-sud, ont conduit à la formation d'une barre qui a toujours été un obstacle essentiel au passage des bateaux au débouché en mer de l'estuaire. Les difficultés de franchissement de cette barre ont été la cause essentielle du déclin, puis de l'abandon du port de St Louis comme port principal de la région.

Les fonds à la barre varient de 2,5 m à 3,5 m selon la saison (A. M. Meglitsky). Selon le même auteur, les fonds de grande profondeur peuvent être observés durant la saison sèche et ceux de faible profondeur pendant l'hivernage.

Le tableau n°4, tiré de [20] donne la répartition des profondeurs minimales mensuelles en fonction de leur probabilité d'occurrence.

Tableau n° 4 Répartition saisonnière des profondeurs minimales à la barre (en mètres)

Mois	95 %	90 %	75 %	50 %
Janvier	2,90	3,00	3,15	3,30
Février	2,90	3,00	3,15	3,30
Mars	2,90	3,10	3,20	3,35
Avril	2,60	2,75	3,05	3,40
Mai	2,70	2,80	3,20	3,40
Juin	2,70	2,85	3,15	3,40
Juillet	2,75	2,90	3,10	3,40
Août	2,55	2,65	2,90	3,40
Septembre	2,45	2,65	2,75	3,00
Octobre	2,50	2,65	2,80	3,10
Novembre	2,65	2,75	2,90	3,10
Décembre	2,65	2,80	3,05	3,25

Ce tableau appelle les remarques suivantes :

- Il a été réalisé à partir de sondages déjà anciens, antérieurs à 1970, dont la plupart ont été effectués à une époque où la navigation justifiait un suivi des fonds, c'est à dire avant 1955.
- Les variations saisonnières restent très faibles.
- Ces statistiques sont difficilement extrapolables à la situation actuelle, où l'estuaire est dans une période d'évolution rapide, sans doute transitoire.

Avant la mise en service des barrages de Diama et de Manantali, l'embouchure se situait un peu à l'aval du phare de Gandiole. Des îles s'étaient formées dans le prolongement de la flèche et la passe de navigation évoluait entre la flèches et ces îles et entre ces îles et la côte.

Depuis la mise en service des barrages, la flèche s'est allongée à une vitesse estimée à 500 m par an en moyenne. L'embouchure se situe actuellement à environ 18 km au sud du phare de Gandiole et cette évolution rapide est toujours en cours aujourd'hui. Elle peut résulter du déséquilibre engendré dans la dynamique des volumes oscillants dans l'estuaire par le barrage de Diama et, dans une moindre mesure, par la régularisation des crues par le barrage de Manantali. Si tel est le cas, ce processus se poursuivrait jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit trouvé.

Outre que cette évolution en cours complique le problème de la navigation à travers la barre et dans l'estuaire, elle risque d'avoir des conséquences notable sur les niveaux d'inondation à St Louis.

Le problème de la navigation dans l'estuaire et de l'accès au port de St Louis a fait l'objet d'un certain nombre d'études dans le passé et actuellement une étude est en cours pour le compte du COSEC, par Sogreah. Cette étude implique des campagnes de mesure sur le terrain avec notamment l'estimation du transit littoral et la mise en œuvre d'une modélisation mathématique hydrodynamique de l'estuaire.

Entre Diama et St Louis, la profondeur maximale est d'une dizaine de mètres.

### 3.2.1.2 Hydrométéorologie et sédimentologie de l'estuaire

Les principaux paramètres hydrométéorologiques qui conditionnent tout aménagement de l'estuaire sont rappelés ci-dessous. Ce sont le vent, l'agitation, les marées, les courants et la sédimentologie.

#### *Le vent*

L'observation des vents par BBL-SW dans l'étude de 1985 montre l'existence de vent réguliers en direction selon la saison. L'orientation des vents peut se résumer de la façon suivante :

- De Novembre à Février inclus, les vents ont une direction Nord.
- De Mars à Juin, ils tournent progressivement du Nord à l'Ouest.
- En Juillet et Août, ils restent orientés à l'Ouest.
- En Septembre et Octobre, ils reviennent progressivement au Nord

La force du vent est également régulièrement répartie, quelle que soit la direction. Les pourcentages de dépassement sont les suivants :

1 % du temps	10,7 m/s
0,1 % du temps	12,8 m/s

0,01 % du temps      14,8 m/s  
0,001 % du temps    16,4 m/s

*L'agitation*

L'agitation au large de Saint Louis résulte essentiellement des houles du large dont la direction "très" dominante se situe entre 300 et 330 degrés (nord-ouest). Les périodes les plus fréquentes des houles sont comprises entre 7 et 14 secondes.

La distribution statistique de la hauteur significative, donnée par BBL-SW est la suivante :

3 heures en 1 an, soit 0,034 % du temps	Hs = 2,7 m
3 heures en 10 ans, soit 0,0034 % du temps	Hs = 3,7 m
3 heures en 100 ans, soit 0,00034 % du temps	Hs = 4,5 m

Les houles les plus fortes et les plus longues sont observées d'Octobre à Mars (Hs moyen > 1,05 m et Tp > 10 s) et les houles les plus faibles et les plus courtes sont observées d'Avril à Septembre (Hs moyen < 1,05 m et Tp < 10 s).

#### *Les marées*

Le régime des marées au large de Saint Louis est de type marées astronomiques, semi-diurnes. L'amplitude minimale des marées est de 0,30 m et l'amplitude maximale de 1,65 m.

#### *Les courants*

Les courants généraux, au large de Saint Louis, se dirigent principalement vers le sud. Des courants forts de 0,4 m/s ont été enregistrés par des profondeurs de 9 m par BBL-SW.

#### *La sédimentologie*

La teneur en sédiments en suspension varie beaucoup au cours de la crue. De 50 mg/l en étiage, la teneur en MES croît à 300-400 mg/l pendant la montée de la crue. Elle commence à redescendre avant même que le maximum de la crue ne soit atteint. Par intégration, la charge annuelle de matériaux en suspension, amenée par le fleuve a été estimée à 900 000 t par BBL-SW, avec un maximum journalier de 18 000 t.

La granulométrie des sables de fond au large et dans l'estuaire est comprise entre 0,1 et 0,5 mm. En bordure de l'estuaire des matériaux plus fins (silteux ou vaseux) sont rencontrés.

### **3.2.2 Problèmes pour la navigation et propositions d'aménagement**

Plusieurs solutions ont été proposées pour résoudre le problème de la communication entre l'océan et l'estuaire. Un schéma de principe de ces solutions, tiré de [18], est reproduit sur la figure n°13.

- a) Création d'un chenal profond à travers la langue de Barbarie (13 m)
- b) Création d'un chenal peu profond (4-5 m)
- c) Création d'un terminal au large avec chaussée sur pilotis
- d) Création d'un terminal au large avec digue en talus

La première solution a d'abord été étudiée par BBL-SW [5] sur modèle mathématique et sur modèle physique à fond mobile, réalisé au laboratoire du Conseil National de la Recherche du Canada (CNRC) en 1984. Devant l'ampleur des dragages à prévoir, les trois autres solutions ont alors été envisagées. été étudiées, peu après, avec les mêmes outils [18] par le laboratoire du CNRC.

### 3.2.2.1 Création d'un chenal profond à travers la langue de Barbarie

Ce chenal se situerait à 7 km à l'aval de l'île St Louis, face au marigot de Nar où a été prévue l'implantation des nouvelles installations portuaires. La disposition des aménagements est figurée sur le plan de la figure n°14, tirée de [5]. Le chenal, qui prévoit l'accès des navires de haute mer au port de St Louis, aurait une profondeur variable entre -12,75 et -13,75 et s'étendrait sur une longueur d'environ 3 km au large. Un brise-lame de 800 m, étudié sur modèle réduit, serait aménagé sur le côté nord du chenal pour dériver le transit littoral. Le musoir du brise-lames serait implanté par des fonds de -11,5 environ.

Le problème principal de l'aménagement est celui de la gestion des apports solides tant marins que fluviaux.

Le transit littoral a été évalué à 1 000 000 m<sup>3</sup>/an environ. Afin d'éviter une érosion rapide de la langue de Barbarie, et d'autres perturbations difficilement prévisibles, la mise en place du brise-lames doit s'accompagner d'un dispositif de dérivation artificielle des sédiments littoraux interceptés. Le pompage hydraulique de 800 000 m<sup>3</sup>/an, soit 80% du transit total a été prévu.

Les apports dans l'estuaire sont des apports fluviaux mais également des apports maritimes. Les apports fluviaux ont été estimés à 550 000 m<sup>3</sup>/an de matières en suspension, dont 350 000 m<sup>3</sup> qui se déposeront dans le chenal et le port, devront être dragués. Les apports maritimes dans l'estuaire ont été estimés à 400 000 m<sup>3</sup>/an dont 400 000 m<sup>3</sup> qui se déposeront et devront être dragués.

Le bilan sédimentaire global prévu est schématisé sur la figure n°14. Une drague à désagrégateur est prévue pour draguer un volume total compris entre 1,5 et 2 000 000 m<sup>3</sup>/an.

Ce volume de dragage est donc considérable. La mise en place d'un chenal de gabarit plus modeste permettrait sans doute de réduire sensiblement les volumes à draguer mais il doit déjà être remarqué que le problème du transfert du transit littoral au sud du chenal resterait entier quel que soit le gabarit adopté. La mise en place d'un brise lame par des fonds suffisants resterait nécessaire ainsi que la mise en place d'un système de transfert du transit littoral.

### 3.2.2.2 Création d'un chenal peu profond

L'objectif d'un chenal peu profond (profondeurs minimales de 4 à 5 m) est de permettre un accès au port existant par des pirogues de pêcheurs en toute sécurité et aussi de permettre le passage de péniches de mer et ce, sans avoir recours à des dragages d'entretien du chenal. Les essais en laboratoire, relatifs à

cette solution, sont décrits en détails dans [18]. Ces essais n'ont apporté que des réponses très qualitatives au problème et n'ont pas permis de conclure définitivement quant à la faisabilité d'un chenal peu profond.

### 3.2.2.3 Création d'un terminal au large avec voie d'accès sur pieux

Cette solution permet de s'affranchir des sujétions liées au passage de la barre et de percement de la langue de Barbarie et des contraintes liées au transit littoral. Un tel ouvrage n'aurait en effet pas d'incidence sur ce transit. Similaire au port de l'Amitié, à Nouakchott.

### 3.2.2.4 Création d'un terminal au large avec digue à talus

Cette option permet une meilleure protection du terminal et la création d'une route d'accès au terminal mais nécessite la mise en place d'un moyen de dérivation du transit littoral.

### 3.2.2.5 Option proposée par BBL-SW

L'option finalement proposée par BBL-SW dans son rapport de synthèse général [17] est celle d'un terminal au large avec voie d'accès fondée sur pieux, situé au sud du port de pêche actuel.

Il est à noter que cette solution est celle qui s'affranchit le plus des contraintes hydrauliques et sédimentaires, très fortes sur ce site.

\* \*

\*

# Hydraulique

## Annexes :

Liste des seuils

Figures n°1 à n°14

Modélisation mathématique du fleuve Sénégal par Bceom en 2002

# MODELISATION MATHEMATIQUE DU FLEUVE SENEGAL

(Bceom, novembre 2002)

*1 Bases théoriques*

*2 Construction du modèle*

*3 Calage du modèle*

*4 Application aux études de navigation*

## 1 / BASES THEORIQUES

Le logiciel HEC RAS permet le calcul de lignes d'eau pour des écoulements graduellement variés en régime permanent. Il permet d'effectuer ces calculs en régime d'écoulement subcritique (fluvial), supercritique (torrentiel) ou mixte. Dans le cas du Sénégal, les écoulements sont en principe toujours de type fluvial.

Comme dans le logiciel EWI, les lignes d'eau sont calculées, d'un profil à l'autre en partant de l'aval en régime fluvial, par application de l'équation de conservation de l'énergie, selon une procédure itérative connue sous le nom de "standard step method". L'équation de la conservation de l'énergie s'écrit :

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2/2g = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2/2g + h_e$$

dans laquelle :

Y1, Y2        sont les profondeurs d'eau aux profils 1 et 2  
Z1, Z2        sont les cotes de fond aux profils 1 et 2  
V1, V2        sont les vitesses moyennes aux profils 1 et 2  
 $\alpha_1, \alpha_2$     sont les coefficients de pondération des vitesses aux profils 1 et 2  
g              est l'accélération de la pesanteur  
h<sub>e</sub>             représente la dissipation d'énergie ou perte de charge

La perte de charge entre deux profils comprend la perte de charge par frottement et les pertes de charge singulières dues aux contractions et aux élargissements de l'écoulement. L'équation qui exprime la dissipation de l'énergie est la suivante :

$$h_e = L S_f + C ( \alpha_2 V_2^2/2g - \alpha_1 V_1^2/2g )$$

dans laquelle :

L              est la longueur du bief  
S<sub>f</sub>             est la pente de frottement entre les deux profils  
C              est le coefficient de perte de charge par contraction ou par élargissement

La pente de frottement Sf, entre les deux profils, est calculée à partir de l'équation de Manning-Strickler qui s'exprime :

$$Q = D Sf^{1/2} \quad \text{avec : } D = Ks S Rh^{2/3} \quad (\text{ou } D = 1/n S Rh^{2/3})$$

dans laquelle :

D	est la débitance
Ks	est le coefficient de rugosité de Strickler
n	est le coefficient de rugosité de Manning (n = 1/Ks )
S	est la surface mouillée du profil
Rh	est le rayon hydraulique

## 2 / CONSTRUCTION DU MODELE

Le modèle du chenal principal du fleuve a été construit depuis Ambidédi (PK 915) jusqu'à Leboudou Doué (PK 245). Sur ce secteur, il est strictement identique à celui développé par Electrowatt; les profils en travers ayant été repris dans leur intégralité. Ces profils sont limités au lit mineur. Le modèle ne permet donc pas de calculer des lignes d'eau de crue.

Les profils en travers levés dans le bras du Doué n'ayant pu être retrouvés, le Doué n'a pas été modélisé. La navigation n'empruntant pas le Doué, la modélisation de ce bras n'est pas indispensable. La prise en compte du Doué dans le modèle EWI n'avait pas d'autre objectif que de calculer la répartition du débit entre les deux bras en fonction du débit total, répartition maintenant connue.

Tous les profils en travers utilisés sont schématisés dans l'appendice n°1. Ils ont été tracés automatiquement par le logiciel HEC-RAS. Ils sont identiques aux profils des rapports : Travaux topographiques et bathymétriques. Mission B.1.1, B.1.2 et B.1.3 du groupement Lackner- Dorsch - Electrowatt.

Le profil en long du Sénégal, obtenu par report du point le plus bas de chaque profil, est schématisé sur la figure n°1. Ce profil, tracé automatiquement par HEC-RAS, illustre également les nombreuses possibilités graphiques du logiciel HEC-RAS.

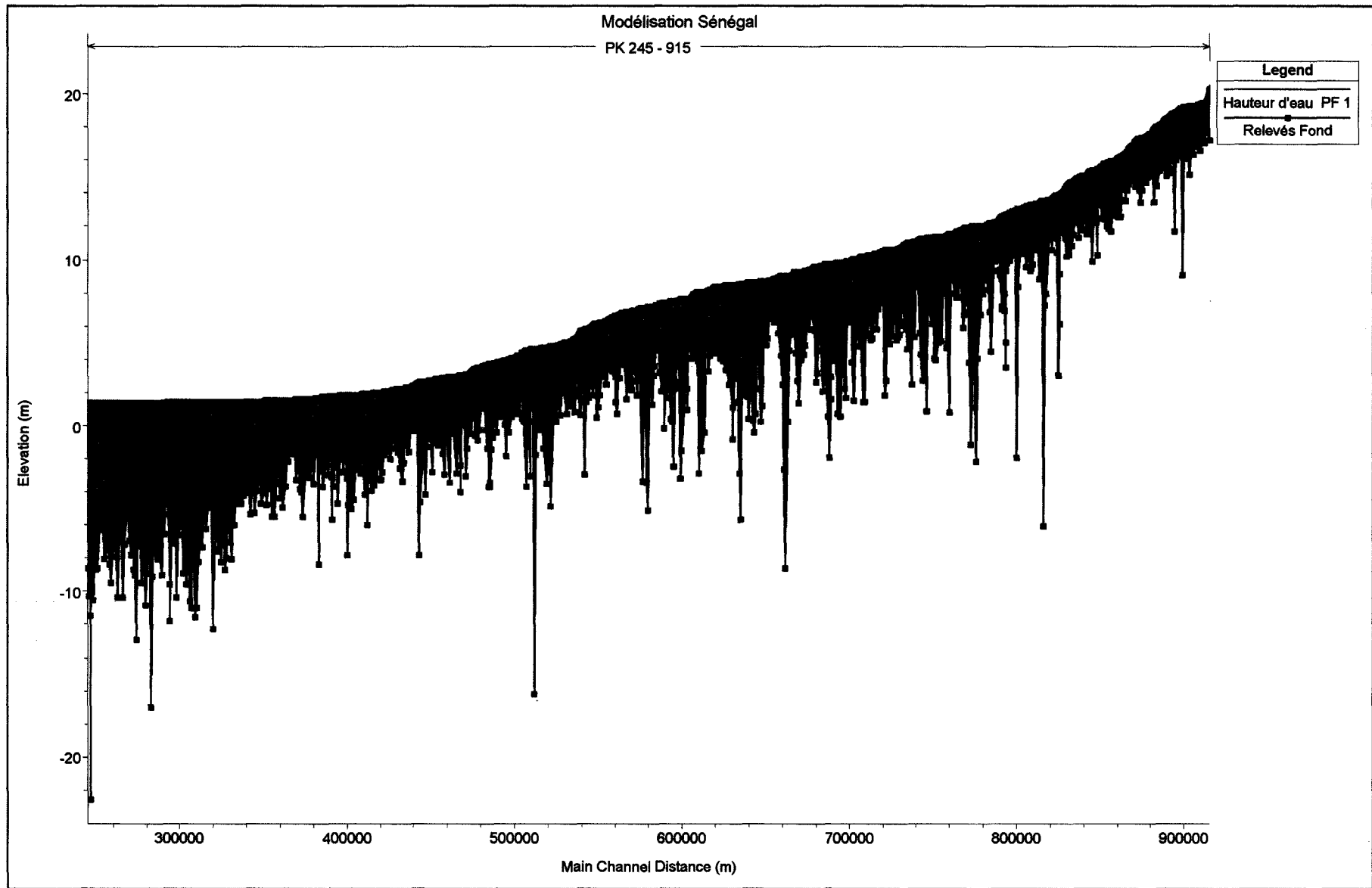


Figure n°1

### 3 / CALAGE DU MODELE

Les bases théoriques de calcul sont les mêmes dans les deux logiciels (EWI et HEC-RAS), mais certains coefficients, notamment les coefficients  $\alpha$  de pondération de la vitesse moyenne, n'ont pas tout à fait la même signification dans les deux logiciels. Un calage du nouveau modèle a donc été nécessaire pour s'assurer de sa compatibilité avec la réalité.

Le calage a été effectué en reproduisant le calcul n°2 des premiers calculs d'Electrowatt. Les résultats du calcul de réglage sont présentés dans la table de l'appendice n°2.

Dans cette table, sont donnés pour chacun des points de calcul, repéré par son PK, la répartition des débits et les hauteurs d'eau obtenues par Electrowatt et par BCEOM. La condition limite aval (cote de 1,52 m IGN) correspond au remous du barrage de Diama.

Les calculs de calage ont été arrêtés lorsque les écarts de niveau, également donnés dans la table de l'appendice n°2, ont été nuls en moyenne et égaux à 5 cm en un point particulier. Les coefficients de rugosité de Strickler ainsi obtenus sont très voisins de ceux utilisés par Electrowatt.

Le profil en long de la figure n°1 représente la ligne d'eau le long du fleuve pour les conditions du calage : débit de 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel et niveau d'eau de 1,52 m IGN à Leboudou Doué.

Les vitesses moyennes en chaque point du fleuve ont été tracées automatiquement par le logiciel HEC-RAS sur le graphique de la figure n°2. Ce graphique montre que les vitesses, sauf en quelques points particuliers, sont toujours faibles en étiage et ne dépassent guère 0,50 m/s.

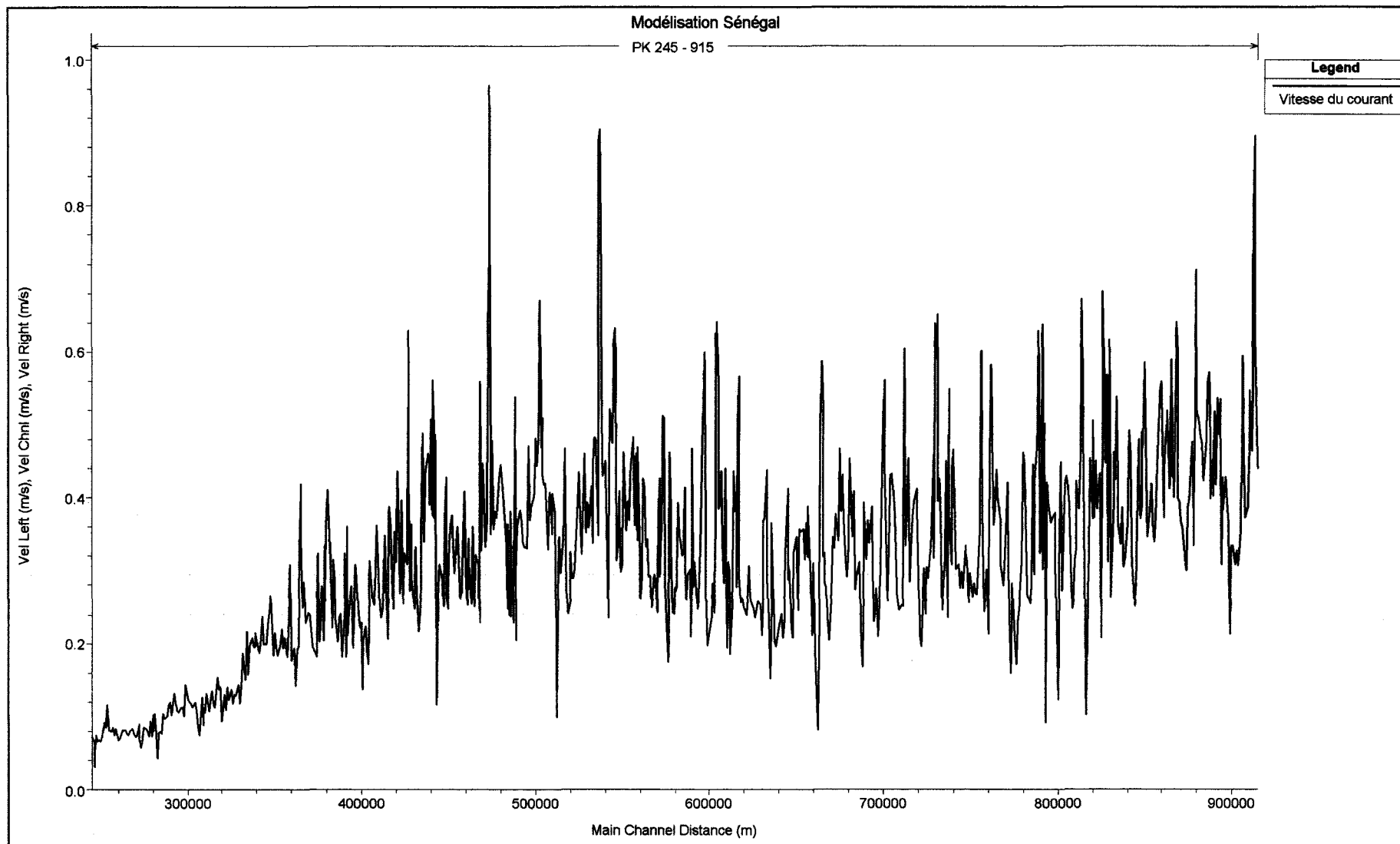


Figure n°2

#### 4 / APPLICATION AUX ETUDES DE NAVIGATION

L'intérêt majeur du choix de HEC-RAS pour la présente étude est son aptitude particulière aux études de navigation. En effet, il permet de modifier de façon très conviviale et très facile un profil en travers quelconque pour y introduire un gabarit de navigation et de calculer immédiatement les volumes de dragage correspondants, grâce à une procédure particulière.

Cette capacité sera particulièrement utile en phase 2 de l'étude pour tester et optimiser les différents gabarits de navigation qui devront être étudiés.

Le profil en travers de la figure n°3, tracée automatiquement par le logiciel HEC-RAS, illustre, à titre d'exemple, l'introduction d'un gabarit quelconque dans le profil du PK 867,8.

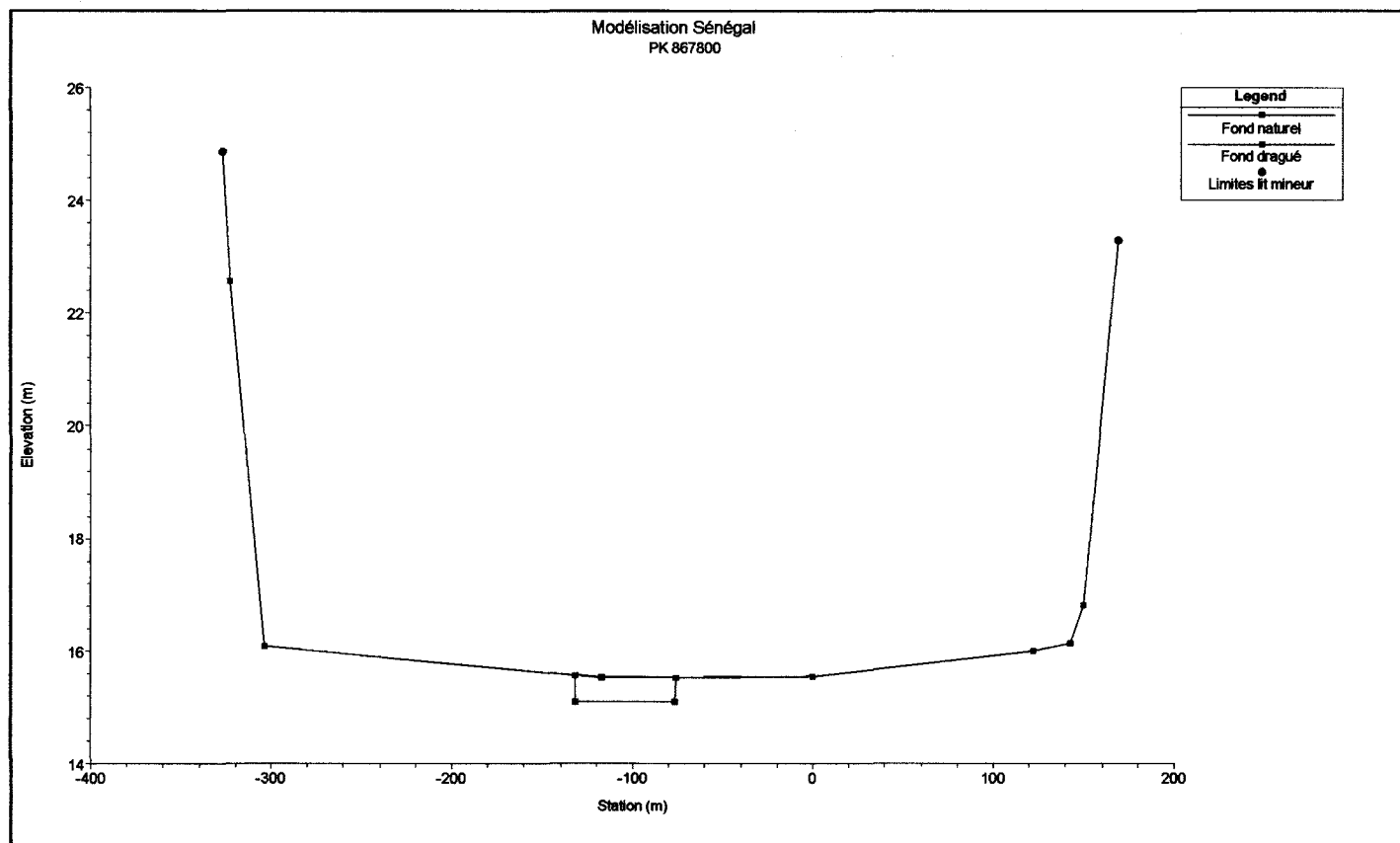


Figure n°3

**APPENDICE N°1**

**Profils en travers du lit mineur du fleuve Sénégal  
entre Ambidédi (PK 915) et Léboudou Doué (PK 245)**

**APPENDICE N°2**  
**Résultats de réglage**

**Section II**

**Navigation**

## Section II - Navigation

1.	Les conditions de navigation sur le fleuve Sénégal.....	2
1.1	Historique.....	2
1.2	La situation actuelle.....	4
1.2.1	L'embouchure et le port de Saint-Louis.....	5
1.2.2	De Saint-Louis à Diama (PK 26).....	6
1.2.3	De Diama à Podor (PK 267).....	6
1.2.4	De Podor à Vending (PK 489).....	7
1.2.5	De Vending à Matam (PK 637).....	7
1.2.6	De Matam à Bakel (PK 816).....	8
1.2.7	De Bakel à Ambidédi (PK 905).....	8
1.3	Les études disponibles.....	8
1.4	L'organisation.....	11
1.5	Premières conclusions en matière de navigation sur le fleuve Sénégal.....	12
2.	Le balisage.....	14
2.1	Historique du balisage du fleuve.....	14
2.2	Etudes disponibles sur le balisage.....	15
2.2.1	Etude de K.I. Beziukov.....	15
2.2.2	Etude du groupement LDE.....	17
2.2.3	Etudes sur le projet de navigation des années 1980-1990.....	20
2.3	La situation actuelle.....	21
2.3.1	Partie fluvio-maritime.....	21
2.3.2	Partie fluviale.....	21
2.4	Conclusions sur le problème du balisage.....	22
3.	La batellerie.....	24
3.1	Les flottes.....	24
3.1.1	Flotte de transport de marchandises.....	24
3.1.2	Flotte de transport de passagers.....	24
3.1.3	Autres flottes.....	24
3.1.4	Flotte malienne du Niger.....	25
3.1.5	Flottes imaginées par le passé.....	25
3.2	Les chantiers navals.....	26
3.2.1	En Mauritanie.....	26
3.2.2	Au Sénégal.....	27
3.2.3	Au Mali.....	27

### Annexes :

1. Extraits des Instructions Nautiques du Capitaine Fromaget
2. Projet de balisage de l'étude LDE
3. Vues de phares
4. Coordonnées des principaux chantiers navals visités
5. Vues du slipway de Rosso-Mauritanie

## 1. Les conditions de navigation sur le fleuve Sénégal

### 1.1 Historique

Depuis les temps les plus anciens, et notamment depuis l'arrivée des portugais au XVIème siècle, le fleuve SENEGAL a constitué la voie de pénétration normale des marchandises et des passagers vers les contrées de l'intérieur, tout au moins de la mer jusqu'à KAYES, dernier port accessible avant des chutes non franchissables. Le port de SAINT LOUIS a été créé dès 1659 par les Français. L'activité de commerce a pris son essor au cours du XIXème siècle, et la navigation sur le fleuve a atteint son maximum vers les années 1900, avec un trafic de l'ordre de 125.000 tonnes, principalement des exportations d'arachide et de coton.

C'est à cette époque qu'a été installé le balisage du fleuve, sous la direction du capitaine FROMAGET [réf. 21]. Ce balisage couvrait la totalité du parcours navigable du fleuve, de l'embouchure jusqu'à KAYES, soit sur quelques 950 km. Il permettait d'utiliser au mieux le fleuve dans son état naturel, c'est à dire avec de sévères restrictions d'utilisation saisonnières sur toute la partie amont.

De fait, à cette époque, les conditions de circulation étaient les suivantes :

- La navigation était permanente de l'embouchure jusqu'à PODOR, avec environ 3 m de tirant d'eau, et jusqu'à BOGHE avec un tirant d'eau de 1 m.
- Au delà, l'accès à KAYES n'était possible qu'aux conditions suivantes :
  - pour un enfoncement de 1,8 m, environ 4 mois par an ;
  - pour un enfoncement de 3,0 m, environ 2,5 mois par an ;
  - pour un enfoncement de 4,5 m, environ 1 mois par an.
- Les escales intermédiaires étaient accessibles pendant des durées plus ou moins supérieures en fonction de leur éloignement de la mer.

Mais le principal problème du fleuve a toujours été celui de son accès à la mer. Le débouché vers celle-ci a toujours été obstrué par la barre, qui à la fois limite les tirants d'eau (celui ci varie selon les saisons entre 2,0 m et 5,0 m), mais surtout évolue constamment, le chenal évoluant d'un jour voire d'une heure à l'autre. Vers les années 1900, une équipe de pilotage était disponible en permanence pour aller relever les fonds avant le passage de chaque bateau et pour le guider par le passage le meilleur possible à ce moment-là. C'est d'ailleurs la méthode encore utilisée aujourd'hui pour accéder aux entrées des ports du SALOUM et de la CASAMANCE.

Ces conditions particulières ont fait que SAINT LOUIS n'a jamais pu devenir un grand port de mer, et que le rôle de port du SENEGAL a été vite dévolu à DAKAR, qui a été relié à SAINT LOUIS par chemin de fer (1885). Le cheminement de la ligne principale de transport des marchandises dans la région est alors devenu le suivant :

- Chemin de fer de KOULIKORO (sur le NIGER) et BAMAKO jusqu'à KAYES.
- Voie fluviale de KAYES jusqu' à SAINT LOUIS.
- Chemin de fer de SAINT LOUIS jusqu'à DAKAR.

C'était déjà une chaîne de transport multimodale avant la lettre.

Elle était cependant lourdement handicapée par les ruptures de charge et les aléas des transports saisonniers. C'est pourquoi, dès le début du XXème siècle fut entreprise la construction du chemin de fer DAKAR- KAYES. Son ouverture en 1927 sonna le glas de la grande navigation sur le fleuve pour la desserte de l'intérieur (c'est à dire de l'actuelle république du MALI). La fonction du fleuve se réduisit largement à la desserte interne des agglomérations riveraines, tandis que l'activité commerciale et le développement urbains se déplaçaient plus au Sud.

Le trafic est alors descendu progressivement jusqu'à un niveau de l'ordre de 25.000 tonnes de marchandises par an au début des années 1970. C'était alors un trafic de produits vivriers (sucre, riz, céréales) et de matériaux de construction desservant les principales escales du fleuve, au nombre d'une dizaine, de ROSSO jusqu'à KAYES. La flottille assurant ces transports comportait une douzaine d'unités capables de charger de 50 à 200 tonnes, et dont le fleuron était le « Bout-El-Moghdab », de 51 m de long sur 10 m de large, qui chargeait 350 tonnes à 2,25 m d'enfoncement. Il s'y ajoutait une activité importante de pirogues chargeant de 5 à 50 tonnes sur de petites distances.

Cette activité a été à son tour atteinte par le développement du transport routier. La route bitumée avait atteint ROSSO, RICHARD TOLL et DAGANA dès les années 1960. Elle longe maintenant le fleuve tout le long du côté SENEGAL, tandis que d'excellentes routes rejoignent maintenant NOUAKCHOTT depuis BOGHE et KAEDI. Les faibles unités fluviales n'ont pu soutenir cette nouvelle concurrence et se sont toutes arrêtées au début des années 1970. Le « Bout-El-Moghdab » lui-même a été transformé en bateau de tourisme et circule actuellement sur l'estuaire du SALOUM. Il n'y a plus d'activité de transport fluvial de marchandises et les quelques pirogues subsistantes se contentent de faire la traversée du fleuve entre le SENEGAL et la République Islamique de MAURITANIE. L'activité du port de SAINT LOUIS s'est éteinte, les équipes responsables du pilotage et du balisage ont été progressivement dissoutes. La seule navigation encore réelle sur le fleuve est celle du bac de ROSSO, réinstallé dans les années 1980 par la coopération mauritano-allemande, et qui connaît une activité soutenue.

On aurait pu, comme cela s'est passé sur bien d'autres fleuves, en prendre acte et abandonner la voie d'eau comme mode de transport. Cependant, au cours des trente dernières années, la configuration du fleuve SENEGAL a connu un bouleversement complet, tant au niveau physique qu'au niveau économique, qui permet maintenant de poser le problème en termes entièrement nouveaux.

A partir des années 1970, en effet, sous l'impulsion de l'OMVS, un véritable programme d'aménagement de la vallée s'est progressivement mis en place. Les deux pierres angulaires qu'en sont les deux barrages de DIAMA et de MANANTALI ont été construits et sont aujourd'hui opérationnels. Ces ouvrages ont notamment les conséquences suivantes :

- Sur le plan hydraulique, Le fonctionnement du barrage de MANANTALI crée un soutien de l'étiage du fleuve qui remontera celui ci de moins de 10 m<sup>3</sup> auparavant à un chiffre compris entre 200 et 300 m<sup>3</sup> par seconde. Sur toute la partie amont du fleuve les niveaux d'eau qui barraient complètement la navigation vont être considérablement relevés. L'aménagement des seuils par dragage, qui n'aurait eu aucun intérêt en débit quasi-nul, devient à nouveau quelque chose d'envisageable. Sur l'aval, le barrage de DIAMA crée une vaste retenue à un niveau qui est actuellement maintenu entre 2,00 m et 2,20 m, ce qui conforte un maintien des niveaux qui, compte tenu de l'extrême faiblesse des pentes, paraît pouvoir remonter jusqu'à PODOR.
- Sur le plan économique, cet aménagement du fleuve a deux conséquences importantes : d'une part un approvisionnement en énergie à bon marché, qui s'étend sur toute la région (et même jusqu'à NOUAKCHOTT), ce qui permet d'envisager certainement de nouveaux développements industriels et d'autre part un considérable développement agricole, car les superficies que le nouveau fleuve permettra d'irriguer se comptent en dizaines de milliers d'hectares. Quand on y ajoute les possibilités minières, l'intérêt d'un nouveau système de transport pour alimenter la région peut apparaître comme autre chose qu'une utopie.

C'est dans cet esprit que, depuis trente ans, l'OMVS, dont c'est l'une des vocations originelles, s'efforce de définir les conditions de remise en service sur le fleuve d'un système moderne de navigation. Un certain nombre d'études ont été réalisées, sur lesquelles nous reviendrons (voir § 1.3 ci-après). Certaines de ces études sont d'une grande qualité et l'on peut estimer que le problème actuel de la navigation sur le fleuve est assez bien connu. Aucune de ces études par contre n'a en fait donné de résultats en matière de réalisations. Un examen attentif montre en fait que la rentabilité des travaux proposés repose sur la naissance de trafics de pondéreux dont la réalisation est jusqu'à présent très aléatoire. On peut dès à présent souligner que la question de la remise en navigabilité du fleuve n'est pas tant un problème technique qu'un problème économique.

## 1.2 La situation actuelle

La présentation de la situation actuelle est faite à partir d'une analyse des documents existants, ainsi qu'une tournée sur le terrain, qui nous a menés de l'embouchure jusqu'à KAYES en période de début de crue, c'est à dire avec un niveau de débits de l'ordre de 200 m<sup>3</sup> à l'échelle de BAKEL, soit le débit moyen d'étiage futur que pourra fournir le barrage de MANANTALI en période normale d'exploitation.

Dans sa configuration actuelle le fleuve, du point de vue de la navigation entre la mer et AMBIDEBI, mérite d'être séparé entre 6 sections distinctes :

- L'embouchure et le port de SAINT LOUIS
- De SAINT LOUIS à DIAMA (PK 26)
- De DIAMA à PODOR (PK 267)
- De PODOR à VENDING (PK 489)
- De VENDING à MATAM (PK 637)
- De MATAM à BAKEL (PK 816)
- De BAKEL à AMBIDEBI (PK 905)

Les PK sont les PK recalculés par la mission LDE de 1981, sur laquelle nous nous sommes largement appuyés pour l'examen de la rivière.

### 1.2.1 L'embouchure et le port de Saint-Louis

On l'a vu, l'accès à l'embouchure est l'un des verrous majeurs au développement du port de SAINT LOUIS, et donc aussi à celui de la navigation sur le fleuve. L'embouchure elle-même n'est pas fixe. Elle se déplace le long de la Langue de Barbarie sur une trentaine de kilomètres au sud de SAINT LOUIS (le débouché en mer a changé de place 27 fois depuis 1850). Le chenal terminal lui-même assez profond (5 à 6 m), débouche sur une barre qui évolue constamment. Les relevés des fonds effectués lors du passage des navires ont été exploités en 1970. Ils montrent une profondeur du meilleur chenal variant entre 2 et 5 m. Les meilleures profondeurs se trouvent en juin et juillet et les plus faibles en septembre. La profondeur obtenue pendant 95% du temps est de 2,60 m. Au manque de profondeur s'ajoutent les rouleaux particulièrement forts entre décembre et avril. La situation ainsi décrite ne semble pas avoir beaucoup changé. Il faudrait vérifier si des modifications ont été induites par le barrage de DIAMA. Nous attendons sur ce point les résultats des dernières mesures effectuées par SOGREAH.

La configuration actuelle paraît hélas difficilement aménageable. La stabilisation de chenal supposerait la création d'un épi en mer rejoignant les grands fonds, qui sont à plusieurs centaines de mètres au large. Le transit des matériaux selon la direction NORD-SUD paraît visiblement considérable et très difficile à maîtriser. La seule solution permanente est celle employée à NOUAKCHOTT, c'est à dire celle d'un wharf ouvert sur plusieurs centaines de mètres pour laisser passer le transport solide. Ce wharf n'a pas besoin d'être à l'embouchure, mais peut se situer au droit de SAINT LOUIS. C'est cette solution qui a été retenue dans les projets précédents de LDE et de LOUIS BERGER.

Le port de SAINT LOUIS, totalement inactif de nos jours (sauf pour les pirogues des pêcheurs), connaît une marée de l'ordre de 1 m. Les anciens quais s'alignent le long du fleuve, sur une longueur officielle de l'ordre de 1500 m ; mais ils n'offrent plus guère de terre pleins arrières, la ville ayant tendance à occuper tout l'espace disponible. Le tirant d'eau initial y était de 3 m, mais les dépôts divers effectués anarchiquement depuis lors en ont fortement réduit la capacité.

### 1.2.2 De Saint-Louis à Diama (PK 26)

La section soumise à marée, qui autrefois remontait très haut sur le fleuve (jusqu'à près de 400 km de l'embouchure), s'arrête maintenant au barrage de DIAMA (PK 26). Les fonds du chenal sont importants (6,5 m au moins selon l'atlas nautique du fleuve dressé en 1970 par BEZIUKOV, un peu moins au départ de SAINT LOUIS à cause de l'élargissement du fleuve).

Le principal obstacle rencontré sur cette section est constitué par le pont Faidherbe. Ce pont, qui traverse le fleuve au droit de SAINT LOUIS, est long de 508 m et ne dégage qu'un tirant d'air de moins de 3 m à marée basse. Il comporte en fait une travée tournante de 73 m de long, dégageant deux passes de 28 m quand elle est ouverte. Mais cette travée est bloquée et n'a plus fonctionné depuis le passage des bateaux fluvio-maritimes approvisionnant le chantier du barrage de DIAMA, dans les années 80. Cette situation bloque actuellement tout essai de navigation, notamment l'arrivée éventuelle de bateaux de tourisme qui pourraient remonter le fleuve en tout ou en partie. Il y aurait pourtant une demande en ce sens, d'après les spécialistes que nous avons interrogés à SAINT LOUIS.

Le barrage de DIAMA est un ouvrage remarquable construit dans les années 80. Il arrête la remontée de la marée et de son coin salé, et assure à l'amont un niveau d'eau constant qui assure les besoins de l'irrigation et, partant, aussi ceux d'une éventuelle navigation, à un niveau situé actuellement autour du 2.0 m par rapport au zéro IGN. Un endiguement sur les deux rives remonte jusqu'à ROSSO, sur environ 90 km.

Le barrage est doté d'une écluse tout à fait remarquable, de 175 m de longueur sur 13 m de large, pour une profondeur de 5,20 m. L'écluse est parfaitement équipée (garages amont et aval, pont basculant, quais d'accostages, etc). Elle est manœuvrée de temps en temps pour assurer une bonne conservation de ses organes mobiles.

### 1.2.3 De Diama à Podor (PK 267)

Cette section est la section traditionnelle de navigation permanente. La pente du fleuve est à peu près nulle. Le lit mineur est large de 200 à 400 mètres. La profondeur avant la réalisation du barrage de DIAMA était partout supérieure à 4,50 m sauf sur le seuil de BOKHOL (PK 189). Ces conditions ont encore été améliorées depuis, puisque la retenue du barrage relève le niveau de l'eau de près de 1,50 m à LÉBOUDOU DOUE (PK 244). De fait, la profondeur garantie à BOKHOL serait maintenant de l'ordre de 4 m. Quelques courbes descendent à 300 m de rayon, mais ne devraient pas gêner la navigation.

Les principales stations le long de ce parcours sont celles de ROSSO (PK 131), de RICHARD TOLL (PK 143), de DAGANA (PK 168) et de PODOR (PK 267). Sur ces différents points les installations anciennes sont encore en place, bien que complètement désertées. Elles paraissent encore réutilisables, à condition d'y amener du matériel de manutention. Les fonds en pied de quai demandent cependant à être vérifiés. Le secteur le plus actif est celui de ROSSO, où nous avons pu constater quelques transports locaux par pirogue. Le quai de RICHARD TOLL dispose de bons terre pleins arrière. Ceux de DAGANA et de PODOR

sont en pleine ville et manquent de terrains en arrière. Le marnage constaté est de l'ordre de 2,50 m entre ROSSO et DAGANA, pour s'élever à quelques 5 m à PODOR.

Le bac de ROSSO, géré par une société mauritanienne, la SBR (Société des Bacs de ROSSO) dispose d'une installation de tirage à terre de bonne qualité qui pourrait être utilisée par d'autres unités (voir chapitre sur la flotte).

#### 1.2.4 De Podor à Vending (PK 489)

C'est la section où le fleuve se sépare en deux bras, le SENEGAL proprement dit et le DOUE. Le DOUE se sépare du fleuve à VENDING (ou SALDE), au PK 489, et le rejoint à LBOUDOU DOUE, un peu à l'aval de PODOR (PK 244). De ce fait, le fleuve est plus étroit (60 à 200 m). L'influence du barrage de DIAMA continue à se faire sentir, mais en diminuant progressivement. Le fleuve est fortement méandré (31 courbes de rayon inférieur à 500 m) et commence à comporter des seuils gênants. Le premier seuil vraiment limitant est celui de MAFOU (PK 330) avec une profondeur à l'étiage descendant à 1,40 m. Sur l'ensemble du tronçon on en compte 15 où la profondeur à l'étiage est inférieure à 2 m, et encore 4 qui seraient à draguer pour obtenir un tirant d'eau minimum de 1,30 m. Le plus difficile est celui de DIOUBE DIABE, au PK 440, considéré traditionnellement comme le terminus de la navigation en saison sèche. On vérifiera sur le modèle les impacts des barrages de MANANTALI et de DIAMA, et notamment les conséquences d'un maintien du niveau de DIAMA à 2,10 m, ce qui est la situation que nous avons constatée lors de notre passage à l'ouvrage.

Le seul port sur cette section est le port de BOGHE (PK 382), en MAURITANIE. Il n'y a plus d'installation portuaire, et seulement un passage de pirogues entre les deux rives. Le marnage semble être de l'ordre de 6 m. Se trouvant à l'aval du seuil le plus limitant, BOGHE pouvait, en navigation traditionnelle, être atteint 10 mois sur 12 avec un tirant d'eau de 1 m. Compte tenu de l'impact du barrage de DIAMA, on peut considérer que dès à présent BOGHE peut être atteint toute l'année avec un tirant d'eau de 1,50 m.

#### 1.2.5 De Vending à Matam (PK 637)

Cette section, où le fleuve ne retrouve qu'un seul bras, n'est plus que marginalement sous l'influence du barrage de DIAMA, mais offre des conditions de navigation plus faciles que le tronçon précédent. Le lit mineur a une largeur de 150 à 500 m. Le tronçon comporte 5 coudes d'un rayon inférieur à 500 m et seulement 7 seuils engageant les 2 m. Un aménagement à 1,50 m ne suppose que des dragages sur 3 seuils.

Deux localités importantes se rencontrent sur cette section, celles de KAEDI, en MAURITANIE, au PK 542, et celle de MATAM, au SENEGAL. Le quai de KAEDI est entièrement détruit. Celui de MATAM existe encore, mais n'est pas entretenu. L'accès routier y est limité à moins de 3,5 tonnes, ce qui le rendrait impropre à des transports lourds. Le marnage est de l'ordre de 6 m.

### 1.2.6 De Matam à Bakel (PK 816)

Sur cette section le fleuve est plus large (200 à 700 m) et plus rectiligne que dans les sections situées plus à l'aval. La pente du fleuve augmente (3 cm / km). 11 seuils engagent le mouillage de 2 m et 6 seuils engagent le mouillage de 1,50 m.

Il n'y a pas de quai à BAKEL, mais une berge terrassée en pente, qui paraît bien nivelée. Un certain trafic existe, avec des pirogues de 15 à 20 mètres de long, qui effectuent des transports réguliers de passagers et de marchandises entre BAKEL et KAYES.

### 1.2.7 De Bakel à Ambidédi (PK 905)

Dans cette dernière section du fleuve navigable le tracé est encore moins sinueux. La largeur du lit mineur varie entre 300 et 400 m. La pente est de 6 cm / km. On y rencontre 8 seuils engageant le mouillage de 2 m, dont 5 engageant celui de 1,50 m. Les aménagements y seront plus difficiles qu'ailleurs du fait de la présence de rochers et de la largeur du lit.

Ce tronçon est, on vient de le dire, le seul qui soit vraiment trafiqué à l'aide de pirogues.

A AMBIDEBI, terminus actuellement envisagé pour la navigation, la voie ferrée est proche du fleuve. Celui-ci est fort encaissé, et le marnage apparent dépasse les 12 m. On y trouve un petit môle à deux étages.

## 1.3 Les études disponibles

Les études disponibles sur le sujet sont nombreuses et d'accès facile grâce au remarquable travail mené par le CENTRE REGIONAL DE DOCUMENTATION (CRD) de l'OMVS à SAINT LOUIS. Nous tenons à signaler la qualité de ce centre dont pourraient s'inspirer les services de documentation de beaucoup d'autres pays, y compris parmi les plus développés.

Le fleuve SENEGAL est documenté depuis près d'un siècle, et le premier document disponible remonte à 1908. Il s'agit des instructions nautiques pour la remontée du fleuve, établies par le capitaine FROMAGET. Ce document précieux donne une bonne information sur l'état du fleuve avant tout aménagement. Un atlas nautique plus récent a été établi en 1970 par K.I. BEZIUKOV, mais il ne va que de l'embouchure à BOGHE (PK 382).

Des les années 1960, la question de la remise en route de la navigation sur le fleuve avait fait l'objet d'une première série d'études pour un aménagement possible menées par l'OERS, puis l'OMVS avec des financements PNUD et ONU. Elles traitaient de la relance de la navigation existante dans ses conditions initiales. Le principe proposé était de construire des unités de 300 à 400 tonnes de port en lourd, avec un tirant d'eau proche de 1,30 m, avec une remontée saisonnière jusqu'à KAYES. Elles ont été concomitantes

à la disparition de la navigation qu'elles avaient d'ailleurs déjà pronostiquées (Pomerantsev, et Meglitski, 1969-1970).

C'est à partir de 1977, quand la gestation des ouvrages de DIAMA et de MANANTALI est entrée dans sa phase opérationnelle, que l'examen sérieux de la situation du fleuve et des conditions nécessaires à la relance de la navigation a été entreprise. Ces études, menées avec grand soin, et qui ont engagé des moyens considérables (8 milliards de francs CFA dépensés à ce jour) ont connu plusieurs phases :

La première phase, menée entre 1977 et 1985, avait pour objet la réalisation d'une navigation permanente de bonne qualité sur l'ensemble du fleuve. Elle a été menée de façon successive et complémentaire par trois groupements de bureaux d'études :

- Le groupement MANANTALI (RRI/Trationnel/Stucky/Soned), chargé du projet de barrage, et qui a établi les données de base de l'aménagement hydraulique du fleuve.
- Le groupement Lackner/Dorsch Consult/Electrowatt (LDE), qui a travaillé au projet d'aménagement du fleuve.
- Le groupement Beauchemin/Beaton/Lapointe et Swan-Wooster (BBL-SW), sous le titre de « Etude des ports et escales du fleuve SENEGAL ».

Les débits établis par le groupe MANANTALI tournent autour de deux étapes d'aménagement . En gros, on peut dire que la phase définitive d'aménagement correspond à 300 m<sup>3</sup>/s à BAKEL, et la phase transitoire à 200 m<sup>3</sup>/s.

Quant à l'étude LDE, elle a procédé à un relevé exhaustif du parcours du fleuve, en plan et en travers, avec notamment un relevé de profils tous les kilomètres. Toutes les difficultés de navigation ont été relevées sur l'ensemble du parcours entre Saint LOUIS et KAYES. Un modèle mathématique d'étiage a été réalisé (par ELECTROWATT), qui a permis l'examen des différents seuils du fleuve, et de leur impact pour différentes hypothèses de fonctionnement de DIAMA et MANANTALI. Ont été notamment définis les besoins en dragage pour différentes profondeurs : 1,50 m, 2 m et 2,50 m. Ce travail très complet a servi de base à toutes les études ultérieures.

A l'issue de ce travail, une première évaluation des travaux nécessaires à la réalisation d'un chenal de navigation a été établie sur les bases suivantes :

- Un chenal navigable de 55 m de largeur entre Saint LOUIS et KAYES.
- Une profondeur de 1,90 m en phase transitoire (soit 1,50 m de tirant d'eau). En phase définitive, le tirant d'eau passerait ainsi à environ 2 m.
- 65 seuils seuils arasés et 9 ouvrages de correction.

Enfin, l'étude BBL-SW, qui était chargée plus précisément des études d'aménagement portuaires, notamment de celles du port de SAINT LOUIS et des escales le long du fleuve SENEGAL, s'est achevée par une synthèse d'ensemble, présentant le projet tel qu'approuvé par les autorités de l'OMVS sous le nom

d'OPTION TECHNIQUE RETENUE (OTR) publiée en novembre 1985. L'OTR, outre le chenal caractérisé précédemment, comportait :

- L'achat des barges nécessaires au transport.
- L'aménagement d'un port à SAINT LOUIS, avec un port sur wharf en mer et un terminal fluvial dans l'estuaire.
- L'aménagement d'un port fluvial à KAYES.
- L'aménagement de sept escales fluviales à ROSSO, RICHARD TOLL, PODOR, BOGHE, KAEDI, MATAM et BAKEL.
- L'organisation de la gestion du système.

Le coût total de l'investissement nécessaire était évalué à 102 milliards de francs CFA. Aucun commencement de réalisation n'a eu lieu.

La deuxième phase s'est déroulée entre 1989 et 1991. Financée par la Banque Africaine de Développement, elle a consisté en une « Etude d'Actualisation du Projet de Navigation » menée par LOUIS BERGER INTERNATIONAL (LBI).

Cette étude d'actualisation portait essentiellement sur l'aspect économique du projet. Les données techniques sont reprises des études antérieures. La recherche d'un coût moindre se traduit par une importante réduction de l'enfoncement recherché à l'étiage. En effet, au lieu de 1,90 m de profondeur recherchés en phase provisoire (c'est à dire 200 m<sup>3</sup>/s à BAKEL), l'option retenue est de viser les 1,90 m seulement en phase définitive (c'est à dire 300 m<sup>3</sup>/s à BAKEL). De ce fait, l'enfoncement en phase transitoire ne serait plus que de 1,10 m à 1,20 m à l'étiage. Les autres données restent inchangées. La navigation est toujours prévue jusqu'à KAYES. Le trafic principal est celui des phosphates.

Le coût total du projet est évalué à 74 milliards de francs CFA.

La troisième phase se déroule depuis 1992. Elle consiste à chercher à élaborer un programme réaliste qui permette de relancer la navigation sans attendre les hypothétiques transports de phosphates. Un travail en ce sens a été publié en 1992, sous le titre de « Etude technico-économique d'un système de transport par cabotage comme solution transitoire d'aménagement du fleuve SENEGAL pour la navigation » (OMVS-DIR, novembre 1992). Les principales hypothèses réductrices sont les suivantes :

- Réduction de la largeur du chenal à 35 m au lieu de 55 m.
- Terminus de la navigation à AMBIDEBI au lieu de KAYES.
- Arasement limité à 21 seuils au lieu de 65.

Les impacts sur la navigation ne sont pas précisément évalués. Le principe annoncé est celui du retour à une navigation saisonnière. Les évaluations de travaux s'appuient sur les données LDE.

A l'issue de ce tour d'horizon, et après avoir examiné l'ensemble des documents disponibles, nous pouvons mettre en avant trois points essentiels :

- Le fleuve est bien connu. Le travail réalisé par LDE a été complet et bien documenté. Les quelques pointages que nous avons effectués sur le terrain montrent des conditions parfaitement cohérentes avec les documents disponibles.
- Les seuils sont globalement stables. Une comparaison des différents documents nautiques, depuis ceux du début du siècle (Instructions Nautiques du Capitaine FROMAGET) jusqu'à ceux de 1971 (Atlas Nautique de BEZIUKOV) et les relevés de LDE montre que ceux-ci sont concordants. Ceci ne veut pas dire qu'ils soient fixes. A l'exception des seuils rocheux, les autres, qui sont sableux, sont tout naturellement remodelés à l'occasion des crues, et cela a été relevé par LDE sur des photos aériennes. Cependant la très faible pente du fleuve est peu propice au charriage, et les régularisations en cours réduiront encore le phénomène. Cependant, il est certain que tout dragage entraînera une réaction du fleuve qu'il n'est pas possible de prévoir précisément. Tout aménagement ne pourra être que progressif, et devra être suivi dans le temps. Il n'y a pas en effet de meilleur modèle que le fleuve lui-même.
- La barre à l'entrée du fleuve est un problème majeur. La solution idéale consiste à la contourner. Son passage dans les conditions actuelles sera toujours difficile, et nécessitera des bateaux spécialement équipés et des équipages aguerris. Ces conditions ne paraissent pouvoir être améliorées qu'avec des coûts élevés.

#### 1.4 L'organisation

Comme on l'a indiqué, aucune navigation organisée n'existe actuellement sur le fleuve SENEGAL. Il est cependant intéressant de préciser l'organisation actuelle de la navigation sur les autres fleuves du pays, sachant que dans notre cas la recréation d'une activité se fera forcément dans un cadre international, et que les dispositions réglementaires correspondantes sont entièrement à rebâtir.

Au SENEGAL, la navigation fluviale et maritime dépend du Ministère de l'EQUIPEMENT et des TRANSPORTS et, dans ce Ministère, de la Direction de la MARINE MARCHANDE.

Cette Direction comporte notamment un Bureau de la NAVIGATION FLUVIALE ET COTIERE, qui est responsable des voies navigables et des ports secondaires, ainsi que de la tutelle des activités de balisage qui sont par ailleurs confiées au service des phares et balises du port de DAKAR.

Le Bureau est relayé sur le terrain par trois capitaineries, situées respectivement à SAINT LOUIS, où nous avons rencontré le capitaine, à KAOLACK et à ZIGUINCHOR. Chacune de ces capitaineries a en charge le port et le fleuve correspondant, à savoir le SENEGAL pour SAINT LOUIS, le SALOUM pour KAOLACK et la CASAMANCE pour ZIGUINCHOR.

Pour le SALOUM et la CASAMANCE, où il existe encore une certaine activité, existe un service de « pilotage des rivières », basé à DAKAR. Le service comporte 13 pilotes. Le mode opératoire est celui qui existait naguère à SAINT LOUIS, à savoir une reconnaissance de la barre en pirogue avant le passage des bateaux.

En matière de sécurité le bureau responsable est celui de la SECURITE MARITIME et de la GESTION DES FLOTES. Ce bureau assure la tenue du registre d'immatriculation et le contrôle technique des quelques 300 bateaux de la flotte sénégalaise, ainsi que des bateaux étrangers. Les bateaux sont soumis à une visite annuelle. Ce sont essentiellement des bateaux de pêche basés à DAKAR. En matière de tourisme, le principal bateau sous pavillon sénégalais serait le « Bout El Moghdab » déjà vu sur le fleuve SENEGAL et dûment reconditionné. D'autres bateaux fonctionnent sous pavillon étranger (par exemple « l'African Queen »).

Enfin, il faut bien sûr mentionner l'activité des pirogues, tant de mer que de rivière, qui sont au nombre de plusieurs milliers. Les pirogues de pêche en mer relèvent du Ministère de la PECHE qui est chargé de leur enregistrement. Il n'existe pas de définition précise de la limite entre la catégorie « bateau de pêche » et la catégorie « pirogue ». Dans la pratique, la distinction relève de l'appréciation des autorités compétentes.

#### **1.5 Premières conclusions en matière de navigation sur le fleuve Sénégal**

De ce premier examen de la situation on peut retenir les points particuliers suivants :

- Pour le transport des marchandises la concurrence routière sera particulièrement sévère. L'ensemble des localités riveraines dispose d'une bonne desserte, soit avec DAKAR, soit avec NOUAKCHOTT. La mise en place d'une chaîne de transport concurrentielle par le fleuve ne pourra probablement se justifier que pour des transports relativement massifs et peu sensibles aux contraintes de temps.
- Une demande existe certainement pour des activités touristiques de croisière sur le fleuve. La principale contrainte à ce genre d'activité est constituée par le pont Faidherbe qui empêche des transferts de bateaux avec les fleuves voisins. La remise en service de la travée tournante conditionne un éventuel développement de cette activité.
- L'aménagement du fleuve lui-même ne paraît pas devoir poser de gros problèmes techniques. En dehors des quelques seuils rocheux, les profondeurs à draguer sont modestes et les matériaux peu difficiles à extraire. Par contre, le travail d'entretien sera permanent et ne pourra être correctement évalué qu'après quelques années d'expérience.
- La question de la barre reste entière. Il n'existe pas de solution technique simple. Il n'y a guère de moyen terme entre la solution rustique existante (passage à 2,50 m de petits caboteurs de 300 à 600 tonnes de port en lourd), qui paraît difficile à faire passer sur le plan économique, et la solution lourde (wharf en mer et port fluvial intérieur), qui ne pourra être justifiée que par un transport lourd (phosphates ?).

- En définitive il nous semble qu'il conviendra d'examiner la factibilité de trois scénarios, qui peuvent être ou non complémentaires :
  1. La solution fluvio-maritime, avec des petits caboteurs franchissant la barre et reliant directement DAKAR ou NOUAKCHOTT.
  2. La solution portuaire, avec un transfert à SAINT LOUIS entre bateaux fluviaux et bateaux de mer.
  3. La solution mixte, avec mise à terre à SAINT LOUIS et transfert par voie ferrée sur DAKAR.

## 2. Le balisage

### 2.1 Historique du balisage du fleuve

Le premier système de balisage du fleuve SENEGAL a été mis en place au début du vingtième siècle qui a vu un grand développement de la navigation sur le fleuve, dû, en particulier, au transport des arachides. Ce balisage permettait d'utiliser le fleuve dans son état naturel, sur une distance de 950 km, de la mer jusqu'à KAYES, dernier port accessible pour la navigation, avec des restrictions saisonnières d'utilisation, en particulier dans la partie amont :

- Les navires de mer de tirant d'eau 4,50 m pouvaient atteindre Kayes pendant un mois de l'année.
- Les bateaux fluviaux de tirant d'eau 1,80 m naviguaient entre Kayes et Saint Louis pendant 4 mois.
- Les unités de 3m de tirant d'eau desservaient Podor pendant toute l'année.

La conception de ce balisage est due au Capitaine FROMAGET qui s'est inspiré des méthodes utilisées sur les cours d'eau européens en les adaptant aux pratiques des utilisateurs locaux. Le Capitaine FROMAGET a conduit la mission chargée de la mise en place du balisage de 1906 à 1908 et publié les Instructions Nautiques du fleuve SENEGAL qui décrivent, section par section, le parcours du chenal navigable, les obstacles (dangers isolés, seuils etc) et les marques de balisage à suivre pour naviguer en sécurité sur le fleuve.

Les signaux de balisage indiquaient au pilote à quelle distance de la rive il doit rester ou s'il doit naviguer au milieu du fleuve ; ils signalaient les dangers de toute nature rencontrés sur cette route et marquaient les points où il convient de s'éloigner de la rive ou de traverser le fleuve pour changer de rive.

Ce balisage était essentiellement constitué de 400 balises portant des signaux caractéristiques, 20 tours balises éclairées sur les points dangereux et 7 bouées sur seuils ou dangers isolés. Il était complété par une série d'échelles de crue placées aux escales et sur les tours balises des seuils rocheux.

L'annexe 1 reproduit la carte générale du balisage du fleuve SENEGAL et quelques signaux et amers avec trois exemples d'implantation sur le fleuve, extraits des Instructions Nautiques du Capitaine FROMAGET.

A partir de 1925 a commencé le déclin de la navigation sur le fleuve, dû à la fois aux difficultés particulières de l'accès maritime, avec le passage très délicat de la barre et à la concurrence des transports ferroviaire puis routier.

Les Instructions Nautiques du Capitaine FROMAGET décrivent l'organisation mise en place pour aider les navires à franchir la barre et les tâches du Service de Pilotage qui était chargé de surveiller journallement la passe, de relever les fonds avant le passage de chaque bateau et de baliser la passe par une série de bouées, à l'endroit le plus favorable. Un système de pavillons du Code International des Signaux, hissés au Poste de la Barre, donnait aux navires les indications sur l'état de la barre et la possibilité de la franchir.

Ces conditions maritimes particulières ont eu pour effet de faire obstacle au développement d'un port de mer à Saint Louis au profit du port de Dakar. Par ailleurs, la construction, dès le début du vingtième siècle, des voies ferrées reliant Dakar à la haute vallée du Sénégal et au Mali puis à Saint Louis et dans les années 1960, la création d'un réseau routier le long du fleuve ont entraîné la disparition du trafic qui est aujourd'hui réduit à une circulation locale de pirogues de faible capacité, à la seule exception du bac de Rosso qui assure un transport régulier de passagers et de marchandises entre les escales sénégalaise et mauritanienne.

Le balisage mis en place par la mission du Capitaine FROMAGET a subsisté jusque dans les années 1970, comme en témoigne l'Atlas Nautique, établi par K.I. BEZIUKOV pour la partie allant de l'embouchure à BOGHE.

La régression progressive du trafic a entraîné la suppression des équipes chargées de l'entretien du balisage et du chenal et les signaux de balisage du fleuve ont peu à peu disparu.

## **2.2 Etudes disponibles sur le balisage**

### **2.2.1 Etude de K.I. Beziukov**

Dans les années 1960, alors que le trafic sur le fleuve ne cessait de décliner, l'OMVS a fait réaliser une série d'études en vue d'un aménagement du fleuve permettant la relance de la navigation dans les conditions initiales.

Dans le cadre de l'étude de la navigabilité et des ports du fleuve SENEGAL (Novembre 1970), l'ingénieur hydrologue K.I. BEZIUKOV a, en particulier, traité la question de la signalisation du fleuve et proposé un nouveau système de balisage ainsi que l'organisation d'un Service de Balisage.

#### **2.2.1.1 Principes du projet de balisage**

L'étude de K.I. BEZIUKOV constate les insuffisances du système installé au début du siècle, notamment :

- Un balisage constitué essentiellement de signaux côtiers qui ne donnent pas d'indications précises sur la position du chenal et ne peuvent être utilisés qu'en période de hautes eaux.
- Un rapport du nombre de signaux au kilomètre très faible (0,40 signal/km).
- L'absence d'éclairage des signaux de balisage qui interdit la navigation de nuit.
- Le manque de moyens en personnel qualifié et en matériels de la Subdivision chargée de l'entretien du balisage qui ne peut assurer le remplacement des signaux disparus et l'adaptation du balisage aux évolutions du chenal.

Le projet de balisage de K.I. BEZIUKOV est fondé sur les principes suivants :

- Définir un système conforme aux normes et exigences contemporaines en prenant pour base l'ouvrage "Système de Balisage uniforme sur le Danube".

- Combiner un balisage côtier et un balisage flottant pour une utilisation plus complète des profondeurs du chenal et un prolongement de la période de navigation.
- Augmenter le nombre de signaux afin de permettre une bonne visibilité d'un signal à l'autre.
- Assurer la visibilité des signaux de jour et de nuit.
- Mettre en place une organisation du Service de balisage avec une base principale et 5 bases secondaires chargées chacune d'un tronçon du fleuve et dotée des moyens naval, matériels et humains nécessaires à l'entretien du chenal et du balisage.

#### 2.2.1.2 Consistance du projet

Les signaux recommandés sont divisés en plusieurs groupes :

- Signaux côtiers balisant les directions, traversées, position du chenal par rapport aux rives, dangers dans le lit.
- Signaux balisant les passes navigables des ponts et sections fermées à la navigation.
- Signaux côtiers spéciaux (obligations, interdictions, restrictions etc).
- Signaux flottants balisant les côtés et l'axe du chenal, les dangers nautiques.

Le balisage proposé comprend 1100 signaux balisant le chenal et les dangers (à l'exclusion des signaux côtiers spéciaux) dont 640 côtiers et 460 flottants (bouées).

Le nombre des signaux au kilomètre augmente en moyenne de 0,40 à 1,16 ; il est de 0,88 à 1,40 dans la partie amont où la navigation est plus difficile.

Le projet distingue deux schémas de balisage : l'un, pour la période de crue utilisant la totalité du balisage côtier et un petit nombre de signaux flottants, l'autre, pour la période de l'étiage, pendant laquelle, au fur et

- Combiner un balisage côtier et un balisage flottant pour une utilisation plus complète des profondeurs du chenal et un prolongement de la période de navigation.
- Augmenter le nombre de signaux afin de permettre une bonne visibilité d'un signal à l'autre.
- Assurer la visibilité des signaux de jour et de nuit.
- Mettre en place une organisation du Service de balisage avec une base principale et 5 bases secondaires chargées chacune d'un tronçon du fleuve et dotée des moyens naval, matériels et humains nécessaires à l'entretien du chenal et du balisage.

#### 2.2.1.2 Consistance du projet

Les signaux recommandés sont divisés en plusieurs groupes :

- Signaux côtiers balisant les directions, traversées, position du chenal par rapport aux rives, dangers dans le lit.
- Signaux balisant les passes navigables des ponts et sections fermées à la navigation.
- Signaux côtiers spéciaux (obligations, interdictions, restrictions etc).
- Signaux flottants balisant les côtés et l'axe du chenal, les dangers nautiques.

Le balisage proposé comprend 1100 signaux balisant le chenal et les dangers (à l'exclusion des signaux côtiers spéciaux) dont 640 côtiers et 460 flottants (bouées).

Le nombre des signaux au kilomètre augmente en moyenne de 0,40 à 1,16 ; il est de 0,88 à 1,40 dans la partie amont où la navigation est plus difficile.

Le projet distingue deux schémas de balisage : l'un, pour la période de crue utilisant la totalité du balisage côtier et un petit nombre de signaux flottants, l'autre, pour la période de l'étiage, pendant laquelle, au fur et à mesure de la diminution des eaux, tous les signaux flottants sont mis à l'eau pour indiquer l'alignement sur les seuils, les bancs et les rochers.

Le projet comporte des indications techniques sur la fabrication et l'équipement des signaux de balisage (dimensions, matériaux, éclairage).

#### 2.2.1.3 Projet d'organisation

Le projet présente un schéma d'organisation du Service de Balisage avec une base principale à Saint Louis et 5 bases secondaires à Boghé, Kaedi, Matam, Bakel et Kayes, avec le détail des moyens en personnel, bateaux de service et autres moyens techniques.

#### 2.2.1.4 Coût du projet

Les investissements pour l'implantation du système de balisage, la construction et l'équipement des bases de balisage étaient alors évalués à 270 millions de francs CFA.

L'étude propose la réalisation des travaux en deux étapes suivant les phases d'aménagement du fleuve :

- Une première étape de 60 à 80 millions de francs CFA, selon la variante retenue portant sur le nombre de signaux et leur utilisation nocturne.
- Une deuxième étape de 160 à 180 millions de francs CFA, selon la variante retenue en première étape, pour une réalisation du projet complet.

### 2.2.2 Etude du groupement LDE

A partir des années 1970, suite à la mise en œuvre d'un programme d'aménagement de la vallée comportant, en particulier, la construction des barrages de DIAMA et de MANANTALI, les conditions de navigation sur le fleuve SENEGAL ont été progressivement modifiées :

- Sur le plan hydraulique, par la création d'une vaste retenue d'eau sur la partie aval du fleuve jusqu'à Podor et par le relèvement des niveaux d'eau sur toute la partie amont du fleuve.
- Sur le plan économique, par un important développement agricole dû à l'irrigation (Diamas mis en exploitation en 1985) et par l'approvisionnement en énergie électrique (Manantali opérationnel à partir de 1998).

Pendant cette période, l'OMVS s'est attachée à faire progresser le projet navigation et à étudier les différents aspects de ce projet, notamment avec l'intervention du groupement LDE qui a consacré en 1977 une partie de ses études d'aménagement du fleuve Sénégal pour la navigation à une Etude Complémentaire du Système et du Matériel de Balisage.

#### 2.2.2.1 Principes du projet de balisage

L'étude LDE reprend les observations de l'étude de K.I. BEZIUKOV sur les insuffisances du balisage mis en place au début du siècle par rapport aux exigences de rentabilité du trafic escompté.

L'étude LDE propose de concevoir un nouveau système de balisage prenant pour base les dispositions suivantes :

- Adopter un système conforme aux Réglementations Internationales :
  - Pour la section maritime, de l'embouchure au pont Faidherbe à Saint Louis : Système de Balisage Maritime, Système A, Paris 1976, Association Internationale de Signalisation Maritime.
  - Pour la section fluviale, du pont Faidherbe à Saint-Louis jusqu'à Kayes : Signalisation des Voies Navigables, Genève 1972, Commission Economique pour l'Europe- ECE.
- Permettre une navigation ininterrompue, de jour comme de nuit, en utilisant le chenal navigable.

- Adapter le balisage au tracé du chenal et signaler de façon particulière les passages difficiles, notamment les seuils et les coudes d'un rayon inférieur à 1000 m.
- Choisir des équipements d'un entretien facile et simple.

#### 2.2.2.2 Consistance du projet

Le système de balisage proposé comporte :

- Un balisage de jour constitué :
  - De signaux pour la voie navigable :
    - Bouées sur les limites du chenal navigable.
    - Bouées et balises signalant les obstacles dans ou près de ce chenal.
    - Balises sur la rive indiquant la position du chenal par rapport à la rive, aux endroits où le chenal navigable est assez large.
    - Balises directionnelles (alignements) pour les passages difficiles et étroits.
  - De signaux pour les ouvrages : ponts fixes, ponts mobiles, écluses.
  - De signaux particuliers (prescriptions, interdictions, limitations).
- Un balisage de nuit pour la réalisation duquel trois solutions sont envisagées :
  - Signaux revêtus d'une matière réfléchissante et bateaux équipés de projecteurs (les signaux sont reconnus grâce à la lumière des projecteurs).
  - Feux de balisage sur une grande partie des bouées et des balises.
  - Equipement radar des bateaux : les points remarquables sur le parcours du chenal et les signaux de balisage sont identifiés sur l'écran du radar de bord.

L'étude propose dans la phase initiale la solution 1 et dans une étape ultérieure la solution 3 qui correspond au développement des équipements radar sur les navires. La solution 2 est écartée pour des raisons techniques et financières.

Pour évaluer la consistance du balisage du fleuve SENEGAL, l'étude LDE prend pour base les valeurs indicatives suivantes :

- Sur toute la longueur du fleuve :
  - Distance moyenne entre les bouées : 2 km
  - Distance moyenne entre les balises placées sur la rive : 3 km
- Pour les seuils :
  - Pour chaque seuil : 3 bouées
  - En plus pour 30 seuils : 2 balises par seuil
  - En plus pour 23 seuils : 4 balises par seuil, formant alignements directionnels.

- Pour les coudes d'un rayon inférieur à 1000 m : 3 bouées.

L'étude LDE prévoit au total un système de balisage comprenant 1188 signaux, dont 727 bouées et 461 balises, soit, en moyenne, 1,3 signaux au kilomètre.

La densité des signaux par kilomètre de tronçon du fleuve met en évidence les degrés de difficultés et les différences existant entre les tronçons : de 0,91 signal au km dans la partie aval jusqu'à 1,62 signaux au km à l'amont, entre les PK 600 et 755, section caractérisée par la présence de 16 seuils et 7 coudes.

Le choix d'un nombre de bouées largement supérieur à celui des balises est justifié par la nécessité d'un balisage précis des limites du chenal navigable qui ne pourrait pas être obtenu avec des balises sur les rives.

L'étude LDE recommande, en outre, de définir chaque point de la voie navigable à l'aide de points kilométriques qui seraient installés en même temps que les signaux de balisage.

Enfin, en ce qui concerne le balisage de la partie fluvio maritime, de l'embouchure à Saint Louis, l'étude recommande l'application du système A de la signalisation maritime, compatible avec la réglementation fluviale (rouge à bâbord, noir à tribord pour un navire venant de la mer).

Le projet de balisage de cette section dépend des décisions à prendre pour l'aménagement du port de Saint Louis et de ses accès.

L'annexe 2 au présent document reproduit la description des signaux pour la voie navigable, le tableau de répartition des signaux sur les différents tronçons du fleuve et deux exemples de balisage, dans un coude du fleuve et sur un tronçon rectiligne, extraits de l'étude LDE.

L'étude LDE comporte, également quelques indications et recommandations pour la réalisation des bouées, balises et éléments de signalisation, en privilégiant les constructions locales.

#### 2.2.2.3 Projet d'organisation

L'étude LDE consacre un chapitre important à l'organisation du Service de Balisage :

- Définition des tâches et travaux à réaliser sur le fleuve (bouées, balises, contrôle de la position du chenal).
- Temps requis pour l'exécution des travaux (temps de parcours, temps de travail).
- Détermination du nombre de baliseurs nécessaires et leur équipement en personnel et matériels.
- Organisation des tâches à terre :
  - Création d'un service technique central pour les signaux de balisage (stockage des matériels et réparations).
  - Création de dépôts secondaires de balisage et de dépôts intermédiaires.

Les recommandations de l'étude LDE visent à assurer un contrôle et un entretien permanents du balisage et du chenal.

En ce qui concerne la partie maritime, l'étude propose de laisser la gestion et l'entretien du balisage à la Subdivision des Phares et Balises du Port de DAKAR qui dispose des compétences techniques et des moyens nécessaires.

#### 2.2.2.4 Coût du projet

Les coûts de fabrication et de mise en place des bouées, balises et bornes kilométriques sont évalués à 186,1 millions de francs CFA. Ces estimations sont basées essentiellement sur des fabrications locales. Ce budget ne peut être comparé aux évaluations de l'étude de K.I. BEZIUKOV, qui prenait en compte les moyens navals et autres équipements ainsi que des travaux de génie civil.

#### 2.2.3 Etudes sur le projet de navigation des années 1980-1990

Les études effectuées dans les années 1980 et au début des années 1990, notamment :

- l'Etude d'Actualisation du projet Navigation, menée par LOUIS BERGER INTERNATIONAL (LBI ), 1989-1991 et
- l'Etude Technico économique d'un Système de Transport par Cabotage comme solution transitoire d'aménagement du fleuve SENEGAL pour la Navigation (OMVS-DIR, Novembre 1992), n'ont pas accordé de développement particulier au balisage qui avait été traité de manière très complète dans l'étude LDE.

Ces études ont marqué une évolution du projet navigation vers des options techniques plus modestes et mieux adaptées à des perspectives réalistes de développement économique de la vallée.

A partir de ces documents, l'OMVS a fixé les orientations pour une réalisation par étapes du projet navigation. Dans une première étape, qui tient compte des réalités économiques et des possibilités de financement, le projet navigation sera lancé sur les bases suivantes :

- Transport mixte mer/fleuve par cabotage.
- Report de la réalisation du port fluvio maritime de Saint Louis.
- Terminus fluvial fixé à Ambidébi au lieu de Kayes.
- Aménagement d'un chenal navigable de 35 m de large pour un tirant d'eau de 1,30 m, avec un retour à une navigation saisonnière.

Il est prévu d'installer en priorité un système de balisage comportant :

- La mise en place d'une signalisation maritime appropriée au niveau des côtes entre Dakar et Nouakchott et au niveau de la barre et de l'estuaire du fleuve.

- Un balisage sommaire du fleuve.
- Un service de balisage et d'entretien de la voie navigable.

### 2.3 La situation actuelle

La présentation de la situation actuelle est faite à partir d'une tournée sur le terrain, de l'embouchure jusqu'à Kayes, en période de début de crue (début juillet 2002).

#### 2.3.1 Partie fluvio-maritime

La tournée sur le terrain a commencé par un parcours en pirogue de la section fluvio-maritime, depuis le phare de Gandiole jusqu'à l'embouchure.

Le balisage ne comporte plus que deux établissements :

1. Le phare de GANDIOLE, édifié sur la rive tribord pour signaler l'atterrissage sur l'embouchure qui était alors accessible par la passe dite de Gandiole, repérée en 1959 sur les cartes marines. Le phare montre un feu blanc à 3 occultations en 12 secondes, avec une portée nominale de 10 milles nautiques. La tour octogonale est peinte par bandes noires et blanches. Compte tenu du déplacement progressif de l'embouchure vers le Sud, le long de la Langue de Barbarie, ce phare ne joue plus le rôle de marque d'atterrissage qui lui était dévolu. Il pourrait même constituer un danger si une navigation commerciale reprenait vers le port de Saint-Louis. Il est actuellement utilisé comme feu de jalonnement et par les pêcheurs qui l'apprécient comme repère le long de la côte.
2. Le feu de GUET N'DAR, situé sur la plage, à proximité de la base de pêche de Saint-Louis, signale l'atterrissage sur la plage où viennent s'échouer les pirogues. Le feu est blanc, à 2 éclats groupés en 6 secondes, avec une portée nominale de 12 milles nautiques. Il est installé sur un pylône métallique peint en blanc, partie supérieure peinte en rouge.

Ces deux établissements sont alimentés par l'énergie solaire et leur fonctionnement est satisfaisant. Ils sont gérés et entretenus par la Subdivision des Phares et Balises du Port de DAKAR qui est responsable de l'ensemble de la signalisation maritime du SENEGAL.

Un nouveau feu de jalonnement doit être prochainement mis en service à quelques milles au nord du feu de GUET N'DAR, dans le cadre d'un programme d'amélioration du balisage des côtes Sénégalaises pour les pêcheurs.

Les photos du phare de Gandiole et du feu de Guet N'Dar sont jointes en annexe 3.

#### 2.3.2 Partie fluviale

Les entretiens que nous avons eus avec le Commandant de port de Saint Louis et un ancien responsable du balisage à Dagana confirment que le balisage mis en place sur le fleuve au début du vingtième siècle par la mission FROMAGET, et plus ou moins maintenu jusqu'à la fin des années 1970 par le Service du Balisage du fleuve, est aujourd'hui tout à fait inexistant.

Lors de notre parcours sur le fleuve et sur ses rives nous n'avons pu voir que deux balises dont il était difficile d'identifier les signaux.

Il est d'ailleurs certain que ce balisage, s'il était encore en place, ne reflèterait plus les caractéristiques du chenal navigable.

A Saint-Louis la signalisation de la travée tournante du pont Faidherbe a disparu. En revanche, l'écluse de Diama est équipée de panneaux de signalisation montrant les feux réglementaires à l'extrémité de chaque mur-guide de l'écluse et le bon fonctionnement des feux est testé régulièrement.

#### **2.4 Conclusions sur le problème du balisage**

Le balisage est un élément essentiel de la mise en œuvre du projet navigation sur le fleuve SENEGAL. Sans balisage, aucune navigation n'est possible, à l'exception du trafic local des pirogues. Le balisage mis en place au début du vingtième siècle répondait aux besoins de la navigation de l'époque et était réalisé avec les moyens techniques disponibles.

Les études effectuées dans les années qui ont vu la disparition progressive du trafic sur le fleuve ont conservé les mêmes principes de base d'un système de balisage fluvial en les adaptant aux nouveaux objectifs du projet navigation, aux besoins d'une navigation moderne et à l'évolution des techniques.

Le projet de balisage qu'il nous est demandé d'établir aujourd'hui sera élaboré dans la continuité des projets antérieurs et pour permettre la navigation dans les conditions prévues par l'OMVS, en première étape, avec le souci de l'adaptation du système aux futurs développements du trafic.

Les principales orientations de ce projet sont les suivantes :

- Conformité avec les réglementations internationales, soit :
  - Pour la partie maritime, Systèmes de Balisage Maritime Système A, Paris 1976, Association Internationale de Signalisation Maritime.
  - Pour la partie fluviale, Code Européen des Voies de Navigation Intérieure (CEVNI) Annexe 8 et Guide pour l'application du CEVNI publié par le Ministère Français de l'Équipement, des Transports et du Logement (2001).
- Etude d'un système de balisage pour les parties maritime et fluvio-maritime adapté aux solutions techniques qui seront retenues pour les accès au port de Saint-Louis, à l'issue des études en cours.

- Pour la partie fluviale, étude d'un système de balisage constitué essentiellement de bouées qui sont préférées aux balises implantées sur les rives pour les raisons suivantes :

- Meilleure précision de la signalisation du chenal navigable.
- Souplesse d'utilisation en fonction des modifications du chenal, de la période de navigation (de la crue à l'étiage) et de l'évolution du trafic.
- Facilité d'entretien.

Les balises sur les rives seront réservées au balisage des sections où le chenal navigable est large et aux sections étroites et dangereuses (coudes, seuils rocheux) où les balises prises en alignement indiquent de façon très précise la direction à suivre.

- Etude d'un balisage lumineux (feux) et radar (réflecteurs passifs) permettant la navigation de jour et de nuit et répondant aux équipements actuels de navires.

- Sur le plan technique, choix d'équipements utilisant les technologies modernes, éprouvées dans leurs applications aux domaines maritime et fluvial, afin de réduire les coûts d'investissement et d'entretien (matériaux composites, feux alimentés par l'énergie solaire, feux constitués de diodes électroluminescentes - LED -).

- Etude de l'organisation du Service de Balisage et de ses moyens en personnel et en matériels.

- Présentation d'un programme de formation destiné aux agents chargés de la maintenance du système de balisage.

### **3. La batellerie**

#### **3.1 Les flottes**

##### **3.1.1 Flotte de transport de marchandises**

Il faut déplorer qu'aucun véritable navire marchand ne navigue actuellement sur le fleuve Sénégal. La dernière navigation commerciale remonte aux années quatre-vingts, lorsque qu'un caboteur fluvio-maritime franchit la barre et remonta le fleuve avec des équipements venus d'Europe, destinés au barrage de DIAMA.

En ce qui concerne le passé plus lointain, le rapport Pomerantsev (1970) faisait état de quinze unités fluviales opérant sur le Sénégal et réparties comme suit :

- Messageries du Sénégal : 7 unités
- Société Mauritanienne de transport : 3 unités
- Flotte de la République du Mali : 3 unités
- Flotte de Monsieur Aléazard : 2 unités

L'ensemble a disparu à l'exception du "Bout El Moghdab", reconverti en bateau-hôtel et actuellement basé dans le Saloum, au sud de Dakar.

##### **3.1.2 Flotte de transport de passagers**

A part le Bout El Moghdab, qui avait depuis ses origines une fonctionnalité mixte fret-passagers, et qui a quitté le fleuve Sénégal, aucun service régulier de passagers n'existe actuellement. Seules de frêles pirogues assurent un certain transport de personnes, essentiellement dans le sens transversal, entre les deux rives du fleuve.

Il y a sans aucun doute une réactivation possible dans le domaine touristique car des opérateurs sont prêts à investir (par exemple Sahel Découverte, à Saint-Louis). Aucune infrastructure importante n'est nécessaire pour ce renouveau, le principal obstacle se situe au niveau du franchissement du pont Faidherbe, à Saint Louis. La travée tournante du pont doit être réparée. Sans cette remise à niveau tout franchissement reste interdit, le tirant d'air étant inférieur à deux mètres lorsque le pont est fermé.

##### **3.1.3 Autres flottes**

Quasiment impossible à quantifier tant en nombre d'unités qu'en tonnage ou en personnes transportés, il n'en reste pas moins que la pirogue est un moyen de transport fluvial très largement utilisé avec toute la souplesse de sa petite taille et de sa capacité à aborder n'importe quelle type de rive. Avec ses capacités

réduites elle reste un moyen de proximité et ne pourrait en aucun cas s'intégrer dans une logique d'exploitation régulière, tout au moins dans ses configurations actuelles.

### 3.1.4 Flotte malienne du Niger

Bien qu'en marge de cette étude, il est à verser au dossier le résultat de contacts avec les responsables de la COMANAV (Compagnie Malienne de Navigation), à Koulikoro. La flotte malienne, qui fut construite avec les Allemands, est encore importante. Elle est composée à ce jour de :

- 3 bateaux à passagers de 51,5 m x 10 m (300 / 400 passagers chacun)
- 1 gros pousseur de 600 CV, de 29 m x 8,70 m
- 1 remorqueur de 100 CV
- 1 automoteur pétrolier de 265 tonnes
- 18 barges de différents gabarits, de 200 tonnes de capacité unitaire, en moyenne.

La navigation s'effectue sur 1300 km de fleuve avec un seul passage d'écluse, à Makala, à 270 km de Bamako.

Selon les responsables interrogés le trafic de marchandises est en baisse constante, passant ces trois dernières années de 50 000 à 25 000 puis à 15 000 tonnes par année.

Comparé au potentiel théorique de la flotte ce bilan est dramatique. En tentant d'inventorier les motifs de cette chute la COMANAV a constaté un transfert vers le mode de transport terrestre mais aussi une concurrence fluviale au moyen de "pirogues" allant de 40 à 150 tonnes de charge et qui apparaissent plus en phase avec la taille commerciale des échanges. Il a été rapporté que même les pirogues de 150 tonnes n'étaient pas très recherchées car considérées comme trop importantes.

Ce constat est riche d'enseignements pour ce qui concerne la démarche à adopter sur le fleuve Sénégal, tout au moins en phase préliminaire.

### 3.1.5 Flottes imaginées par le passé

Un remarquable travail de conception a été réalisé par le passé sur le sujet des matériels de transport fluvial, notamment dans le cadre de la mission A.1.9 de LDE. Son contenu est de grande qualité, avec des solutions en adéquation avec le transport de grandes quantités de marchandises : convois constitués de trains de barges et de pousseurs. Les études de tailles et de formes sur les barges participent d'un excellent compromis efficacité / économie.

Ceci étant, les flux de marchandises qui seront inventoriés dans le cadre de l'étude actuelle conduiront nécessairement à une révision de ces projets.

## **3.2 Les chantiers navals**

### **3.2.1 En Mauritanie**

#### **3.2.1.1 A Rosso**

La Société des Bacs de Rosso possède deux bacs qui sont affectés à la liaison entre Rosso-Mauritanie et Rosso-Sénégal, assurant ainsi la continuité de la route Dakar-Nouakchott. Ils ont été construits sous un programme de coopération avec l'Allemagne qui comprenait aussi un slipway attenant, permettant le tirage à terre des deux unités (voir photos). Un petit atelier bien tenu jouxte le slipway, équipé pour des travaux de petite mécanique et de chaudronnerie.

Le slipway, transversal au fleuve, présente une pente régulière de l'ordre de 5% . Deux massifs de béton de près de 100 mètres de long supportent les chemins de roulement en rails écartés de 5 mètres. Les dimensions du plateau mobile sont de 20 m de long sur 10 m de large. Ce plateau repose sur les rails en quatre points (entraxes de 16 m en longueur et de 5 m en largeur). Les points d'appui sont constitués de petits chariots oscillants permettant d'absorber les éventuelles déformations des rails. Chaque chariot repose sur le rail par deux galets. Le tirage de l'ensemble s'effectue au moyen d'un guindeau électrique central situé au sommet du chemin de roulement. Il est aussi de construction allemande et affiche 10 tonnes de traction.

Ce slipway est en parfait état et pourrait subir quelques modifications d'adaptation à un matériel naval de type différent. Le poids ne devrait pas être un obstacle, puisque les bacs actuels pèsent 120 tonnes chacun.

Au chapitre de l'entretien et notamment de l'envasement de la partie immergée du slipway, les solutions locales sont simples et efficaces. Quelques employés suffisent pour dégager en peu de temps les parties immergées, à l'aide d'outils manuels.

#### **3.2.1.2 A Nouakchott**

Il existe quelques chantiers navals dont la cible est plutôt la pêche. Le Consultant a pu remarquer au chantier MIP de belles pirogues de pêche réalisées en mélange fibre de verre - polyester, présentant une ligne et une finition soignées. Les longueurs usuelles vont de 10 à 14 mètres. Cependant ce type de bateaux n'est pas adapté à la navigation fluviale de commerce.

La Société BAPAM HAUCHARD, située route de l'aéroport à Nouakchott, a quant à elle une expérience dans la construction navale en acier et en aluminium mais principalement d'unités de petite taille. Monsieur CHEIBANY, son directeur, a opéré une reconversion dans cette ancienne société de chaudronnerie. Il la dirige et en est actionnaire en association avec la société belge OUTILAC. Il s'assure par ce biais des fournitures de produits métallurgiques et des outillages de qualité.

La marine nationale mauritanienne leur a confié la construction de vedettes de surveillance des pêches de dimensions 10 m x 2,5 m, lesquelles marchent à 20 nœuds grâce à une construction en aluminium leur

offrant un poids en ordre de marche de seulement 1200 kg. Elles sont vendues 21 000 dollars US clefs en mains, avec une propulsion de 2 x 40 CV (moteurs hors-bords en puits).

Outre les constructions nautiques, cette société réalise toujours de la chaudronnerie classique en acier telle que cuivages et silos.

### 3.2.2 Au Sénégal

La position privilégiée de Dakar a généré à l'époque coloniale la construction d'un arsenal naval militaire. Le groupe portugais LISNAVE a récemment pris en gestion ce chantier, aujourd'hui exploité sous le nom de DAKARNAVE. On y trouve des compétences permettant des réparations sur des unités allant du chalutier à la plateforme de forage. Tous les travaux de chaudronnerie sont réalisables, de même que le sablage et la peinture. Pour les mises à sec le chantier dispose d'une cale de radoub de 188 m x 23 m, d'un dock flottant de 210 m x 32 m et d'un élévateur de type Syncrolift de 65 m x 15 m offrant 650 tonnes de capacité de levage. Le tout est couvert par des grues fixes et mobiles allant jusqu'à 45 tonnes de capacité de levage.

Dans l'hypothèse d'une utilisation pour des unités fluviales c'est le Syncrolift qui serait le moyen le plus adapté. La conception modulaire du système d'attinage est actuellement configurée pour des coques à quille centrales telles que celles des chalutiers. Elle est néanmoins adaptable à des coques à fond plat. En quelques heures il serait aisé de disposer les chariots pour accueillir des coques fluviales.

A noter également qu'il existe à Dakar deux grues mobiles de forte capacité, respectivement de 200 tonnes et de 250 tonnes, propriétés respectives de SDV et de SOCOCIM.

La construction navale est a priori possible à Dakar car les équipements pour le travail de l'acier sont bien dimensionnés. En revanche la conception des coques n'est plus dans la pratique locale. Pour construire des navires sur ce site il faudrait fournir au chantier les plans des unités et s'assurer l'assistance d'experts vérifiant le suivi des constructions.

Sur le territoire sénégalais c'est le seul site qui pourrait intervenir dans le domaine qui intéresse cette partie du projet. Cependant il est éloigné de l'embouchure du fleuve Sénégal de plus de 200 km par la mer. Ceci ne serait pas un gros handicap pour la construction, en revanche cela deviendrait rédhibitoire pour des opérations de maintenance.

### 3.2.3 Au Mali

Situé sur le grand bief du Niger, à Koulikoro, INACOM-MALI peut être fier de son chantier naval. Monsieur Siaka SINGARE, administrateur gérant du chantier, diplômé d'architecture navale de l'université de Rostock, épaulé par son directeur technique, monsieur PORTNER, mène son entreprise de main de maître. Les installations sont extrêmement fonctionnelles et ordonnées. La sécurité est omniprésente.

Le site lui-même regroupe un hall de construction couvert, un parvis extérieur, un slipway parallèle au fleuve et une zone administrative comprenant un bureau d'études équipé de conception et dessin assistés par ordinateur.

Toute la zone de construction est couverte par une grue à tour, et une grue mobile est présente pour les interventions externes.

Le slipway permet le tirage à terre d'unités de 52 m x 10 m pesant jusqu'à 300 tonnes, ce qui permet de couvrir l'ensemble de la flotte en exploitation sur le fleuve Niger.

Ne pouvant pas vivre uniquement de construction navale, INACOM fabrique aussi des silos de stockage pour vracs liquides et vracs solides, ainsi que des charpentes métalliques. Il semble néanmoins qu'il se soit fait une spécialité dans la construction de bacs pour traversée de fleuve.

Bien qu'étant enclavé sur le grand bief du Niger, les constructions pour des sites éloignés sont maîtrisées. INACOM sait construire par tronçons et, en tirant parti de la voie ferroviaire jouxtant le chantier ou bien au moyen d'une remorque routière CODER, des éléments de 14 m x 3,90 m x 4,30 m pour 30 tonnes sont transportables sur de grandes distances. Ainsi ont été construits et acheminés des bacs pour le fleuve Sénégal et pour la Gambie.

La formation des dirigeants du chantier et leur contact permanent avec les entreprises européennes leur assurent une très bonne pratique des engins de propulsions modernes. Fidèles à Schottel, les anciens principes SRP (Schottel Ruder Propeller) équipant la majorité des bacs fluviaux ont été récemment remplacés par les systèmes SPJ (Schottel Pump Jet), sorte de turbine intégrée à la coque qui autorise un tirant d'eau encore plus faible. Ces systèmes sont tout aussi utilisables en propulsion qu'en manoeuvre puisqu'ils sont actifs sur 360°.

A titre d'illustration, le bac de BAFOULABE (28 m x 8 m x 0,35 m, 70 tonnes lège et 60 tonnes de port en lourd), motorisé en 2 x 94 kW, a été facturé près de 300 millions de francs CFA.

Par rapport aux chantiers navals BAPAM HAUCHARD et DAKARNAVE, INACOM-MALI conviendrait bien mieux à la construction d'unités pour le fleuve Sénégal. Par contre, du fait de son éloignement vis-à-vis du fleuve Sénégal, INACOM-MALI ne serait pas commode pour assurer les opérations de carénage et d'entretien.

\* \* \*

**Section III**

**Ports et escales**

## Section III - Ports et Escales

### Table des matières

1. Introduction .....	2
2. Les ports et escales proprement dits.....	2
2.1 Saint-Louis .....	2
2.2 Rosso Mauritanie.....	4
2.3 Rosso Sénégal .....	4
2.4 Richard Toll.....	4
2.5 Dagana.....	5
2.6 Podor .....	5
2.7 Boghé.....	5
2.8 Kaédi.....	6
2.9 Matam .....	6
2.10 Bakel .....	6
2.11 Ambidédi .....	7
3. Diagnostic des routes et voies ferrées .....	7
3.1 Au Sénégal.....	7
3.1.1 Etat des routes.....	7
3.1.2 Etat des voies ferrées .....	10
3.2 En République Islamique de Mauritanie.....	10
3.3 Au Mali .....	11
3.3.1 Etat des routes.....	11
3.3.2 Etat des voies ferrées .....	13

#### Annexes :

- Plans des ports et escales
- Profils en travers du lit mineur du fleuve à proximité des ports et escales
- Planches photographies

## 1. Introduction

Entre le débouché en mer du fleuve Sénégal et Ambidédi, à l'extrémité amont de la zone du projet, les ports et escales suivants entrent dans le champ de l'étude :

- Saint-Louis (PK 0, au Sénégal)
- Rosso Mauritanie (PK 130, en Mauritanie)
- Rosso Sénégal (PK 130, au Sénégal)
- Richard Toll (PK 142, au Sénégal)
- Dagana (PK 167, au Sénégal)
- Podor (PK 266, au Sénégal)
- Boghé (PK 382, en Mauritanie)
- Kaédi (PK 542, en Mauritanie)
- Matam (PK 637, au Sénégal)
- Bakel (PK 816, au Sénégal)
- Ambidédi (PK 905, au Mali)

La présente section décrit l'état actuel des installations de ces ports et escales ainsi que l'état des voies permettant de les relier aux réseaux ferroviaires et routiers. Il doit être signalé d'emblée qu'aucune installation existante ne dispose d'outillage de manutention. On peut simplement mentionner l'ancienne grue à vapeur de Saint-Louis, qui est encore à son emplacement d'origine sur les vieux quais de commerce, mais qui est totalement hors d'usage. C'est une remarquable pièce de musée.

La compréhension du texte sera facilitée par la consultation des plans, profils en travers et photographies joints en annexes.

## 2. Les ports et escales proprement dits

### 2.1 Saint-Louis

Saint-Louis possédait autrefois le plus grand port du fleuve entre son embouchure et Kayes. Sa grande importance était justifiée par sa position avantageuse à la jonction des voies maritimes et fluviales. Le cœur historique de Saint-Louis se trouve sur une île située au milieu du fleuve, longue de 2400 m et large d'environ 350 m, s'étalant du nord au sud. Le reste de la ville se répartit entre la région de Sohr, sur le continent, et la langue de Barbarie. L'île est reliée par des ponts à la langue de Barbarie, d'une part, et au continent, d'autre part. Le bras navigable, à l'Est de l'île, est traversé par le pont Faidherbe qui possède une travée tournante destinée à permettre le passage des bateaux, le tirant d'air sous le pont étant limité à 2,50 m en basses eaux et à 1,70 m en hautes eaux.

Les installations portuaires de Saint-Louis comprennent :

- Les anciens quais de commerce et la grue à vapeur situés le long de la rive est de l'île, en amont du pont Faidherbe. La grue est hors d'usage, les quais sont encombrés de dépôts de toutes sortes (ils offraient initialement 3 m de profondeur d'eau) et ne disposent pas de surfaces contiguës adéquates pour l'entreposage de marchandises (les maisons d'habitation et les anciens hangars sont à une vingtaine de mètres du bord à quai). Par ailleurs, la proximité des bâtiments les plus pittoresques de Saint-Louis constitue un obstacle majeur à la reconstruction de terminaux commerciaux sur ce site. Par contre, cette zone présente des atouts incontestables vis-à-vis du tourisme fluvial ; elle serait idéale pour l'embarquement et le débarquement des passagers. En face de ces anciens quais le lit du fleuve descend jusqu'à -8 m IGN.
- Le port de pêche construit par les Polonais en 1978 à l'emplacement de l'ancienne base d'hydravions, "l'hydrobase", qui est en bon état mais très peu utilisé. Il possède un appontement en forme de té ainsi que plusieurs hangars et bâtiments, dont certains servent au traitement et à la conservation du poisson. En raison de l'éloignement du débouché en mer et de son caractère dangereux, la plupart des pêcheurs gagnent la haute mer directement à partir de la plage, en face du phare de Saint-Louis, ce qui les contraint à franchir les vagues déferlantes et à tirer leurs pirogues au sec (cette pratique entraîne régulièrement des accidents mortels).

Plusieurs études ont été réalisées par le passé dans le but de créer un nouveau port fluvio-maritime à Saint-Louis ; elles sont résumées à la fin de la section traitant de l'hydraulique. De plus, le Conseil Sénégalais des Chargeurs a récemment confié à Sogreah un contrat visant à actualiser les précédentes études et à améliorer le traitement du problème de la communication entre le fleuve et la mer<sup>1</sup>. Ce contrat comprend notamment un vaste programme de relevés de terrain (topographie, bathymétrie, prélèvements et analyses de sédiments) et de nombreuses modélisations mathématiques (courantologie, propagation de la houle, transports de sédiments). Dès que les éléments produits par Sogreah seront mis à la disposition du Consultant celui-ci les analysera et en tirera le meilleur parti afin de proposer les solutions les mieux adaptées.

Il convient enfin de considérer que la voie ferrée qui relie Saint-Louis à Dakar a son terminus sur le continent, en aval du pont Faidherbe, à faible distance de la route nationale.

---

<sup>1</sup> Actuellement le trafic maritime de commerce à Saint-Louis est à un niveau presque nul en raison de la quasi-impossibilité de franchir la passe d'entrée du fleuve. Cependant, selon l'étude de cabotage réalisée pour le compte du COSEC par le bureau d'études Catram, en 1998, il existe une demande de trafic commercial le long de la côte d'Afrique de l'Ouest, entre Nouadhibou et Abidjan, demande justifiée par les difficultés de transport terrestres entre les différents pays compris entre la Mauritanie et la Côte d'Ivoire. Les navires les plus adaptés seraient des caboteurs polyvalents de 1500 à 3000 tonnes de port en lourd et d'un tirant d'eau n'excédant pas 4 mètres. Saint-Louis du Sénégal pourrait trouver sa place sur cette route de cabotage pour l'exploitation de laquelle une compagnie de navigation a récemment été créée : la SATOMA, basée à Abidjan.

## 2.2 Rosso Mauritanie

L'escale de Rosso Mauritanie est située sur la rive droite du fleuve, en République Islamique de Mauritanie. Elle comporte un quai à deux niveaux, en gabions de palplanches plates, l'un arasé à la cote 3,85 m et l'autre à la cote 2 m, un terre-plein de 500 m<sup>2</sup> et un magasin couvert de 35 m par 10 m. Compte tenu du niveau de la retenue du barrage de Diama, voisin de 2 m, le quai inférieur n'est plus exploitable. Seul le quai supérieur peut-être utilisé ; il offre un front d'accostage de 20 m de longueur.

En face de ces quais le lit du fleuve descend jusqu'à -9 m IGN.

La route bitumée Dakar-Nouakchott, de bonne qualité, passe par Rosso, les rives du fleuve étant reliées par un bac automoteur de 120 tonnes de capacité. Vers le nord Nouakchott est à 205 km, vers le sud Dakar est à 360 km.

La zone portuaire est longée de près par un terrain militaire. Un peu en aval se trouvent le slipway et les ateliers d'entretien des bacs. Le village de Rosso Mauritanie s'étend du côté amont.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient d'étendre vers l'aval la zone portuaire, sans empiéter sur le terrain militaire.

## 2.3 Rosso Sénégal

Rosso Sénégal n'a jamais constitué une véritable escale fluviale. Ce n'est simplement que le point d'accostage du bac sur la rive gauche du fleuve et le point de jonction avec la route nationale qui permet de rejoindre Dakar. On y trouve une rampe ro-ro bordée par des rideaux de palplanches à module qui servent d'accostage aux pirogues transportant les passagers sans véhicules d'une rive à l'autre. Le village est de taille modeste.

## 2.4 Richard Toll

L'escale de Richard Toll est située sur la rive gauche. Elle possède un quai en palplanches à module de 126 m de long bordé par un terre-plein 30 m de largeur, arasé à la cote 4,20 m. Le quai et la poutre de couronnement sont en bon état, par contre la plupart des bollards sont hors d'usage. Le terre-plein n'est pas revêtu mais sa surface est correctement nivelée. Le quai est relié par une piste de 200 m de long à la route goudronnée qui mène à Dakar.

En face de ce quai le lit du fleuve descend jusqu'à -11 m IGN.

Ce quai était utilisé pour le chargement de riz. En 1965 le trafic s'est totalement éteint.

La rive opposée est vierge de tout aménagement. En arrière on trouve le village mauritanien de Niangué.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de réutiliser le quai existant et d'aménager en arrière un terre-plein s'étendant jusqu'à la route principale.

## 2.5 Dagana

L'escale de Dagana est située sur la rive gauche du fleuve, le long du village du même nom. Le quai en béton, arasé à 4,60 m, s'étend sur une longueur de 210 m. Il est longé à une quinzaine de mètres par des façades de maisons et d'anciens entrepôts.

En face du quai le lit du fleuve descend jusqu'à -6 m IGN.

Pour rejoindre la route nationale qui mène à Dakar il suffit de traverser le village et de parcourir une distance d'environ 1 km sur une route bitumée.

Comme à Richard Toll, le trafic fluvial est absolument nul.

La rive opposée est vierge.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de construire de nouveaux quais à 400 m en aval des ouvrages existants, de manière à disposer de davantage d'espaces libres en arrière.

## 2.6 Podor

L'escale de Podor est située en rive gauche du fleuve, sur l'île Amorphyle. Il y a un mur d'accostage en marches d'escalier de 130 m de long, descendant du niveau 6 m au niveau 2,20 m, destiné à permettre un accostage aisé quel que soit le niveau du fleuve. L'ouvrage semble en bon état, il est bordé par un terre-plein de 10 m de largeur longé par une série d'anciens bâtiments associés au commerce fluvial, pratiquement tous désaffectés.

En face de Podor le lit du fleuve descend jusqu'à -6 m IGN, voire -10 m IGN (cf. profils en travers joints en annexe).

A partir de Podor, pour rejoindre la route nationale qui mène à Dakar il faut parcourir 25 km sur une route secondaire bitumée, en bon état.

Il n'y a plus de trafic fluvial à Podor.

La rive opposée est vierge, couverte de végétation arbustive.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de construire de nouveaux quais à environ 1,5 km en amont des installations portuaires existantes, non loin de la route principale qui dessert Podor, de manière à disposer de davantage d'espaces libres.

## 2.7 Boghé

L'escale de Boghé est implantée sur la rive droite, en Mauritanie. Il n'y a aucun ouvrage d'accostage, seulement un plan incliné nivelé sur le terrain naturel, utilisé par les pirogues qui traversent le fleuve d'une rive à l'autre dans le principal but de permettre aux habitants de Démète, sur l'île sénégalaise d'Amorphyle, de venir à Boghé vendre les produits de leurs cultures et y acheter des biens de consommation courante. En rive gauche on trouve un plan incliné en terre similaire à celui de la rive droite.

En face de Boghé le lit du fleuve descend jusqu'à -1 m IGN, voire -2 m IGN (cf. profils en travers joints en annexe).

Autrefois Boghé était équipé d'un bac. Ce bac est actuellement à l'état d'épave, échoué sur la berge.

Boghé est relié à Nouakchott par une route bitumée d'excellente qualité, peu fréquentée. La distance Boghé-Nouakchott est de 325 km.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de construire un quai à environ 200 m en aval du plan incliné existant, de manière à disposer de davantage d'espaces libres pour le stockage des marchandises.

## 2.8 Kaédi

L'escale de Kaédi est située sur la rive droite, en Mauritanie. Elle possédait un ouvrage d'accostage de 50 m de long qui est aujourd'hui effondré. Le terre-plein qui bordait ce quai, de 50 m par 45 m, est encore en place. Il est relié à la ville par une piste de 500 m qui permet de rejoindre Nouakchott en 425 km, en empruntant la bonne route bitumée qui passe près de Boghé.

En face de Kaédi le lit du fleuve descend jusqu'à +3 m IGN, voire 0 m IGN (cf. profils en travers joints en annexe).

Le bac qui permettait de traverser le fleuve en direction du village sénégalais de Dial a cessé de fonctionner en 1989.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de réhabiliter l'ancien quai et de construire un terre-plein portuaire en arrière, en profitant des espaces disponibles.

## 2.9 Matam

L'escale de Matam est implantée en rive gauche, au Sénégal. Elle possède une rampe en béton de 160 m de long et 8 m de large, descendant de la cote 17,50 m à la cote 12 m. L'ouvrage est en assez bon état mais son pied est encombré de nombreux détritiques. Il n'y a pas de terre-plein à proximité immédiate du quai, qui est bordé par des maisons d'habitation.

En face de Matam le lit du fleuve descend jusqu'à +2 m IGN (cf. profils en travers joints en annexe).

L'accès par la route est bon, bien qu'entre Ouro-Sogui et Matam (10 km) il faille emprunter plusieurs ponts ne supportant pas plus de 3,5 tonnes. Ouro-Sogui se trouve sur la route nationale qui permet de rejoindre Dakar en 670 km, en passant par Saint-Louis. Matam est donc à 680 km de Dakar.

Le seul trafic notable est celui des pirogues qui traversent le fleuve entre Matam et Civé, sur la rive mauritanienne opposée. Le bac ne fonctionne plus.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de construire de nouvelles installations portuaires à environ 1 km en amont du quai existant, à la sortie de l'agglomération de Matam, de manière à bénéficier de davantage d'espace pour le stockage des marchandises.

## 2.10 Bakel

L'escale de Bakel est implantée en rive gauche, au pied de la forteresse qui abrite aujourd'hui le bâtiment de la préfecture de Bakel. Il n'y a aucun ouvrage d'accostage, seulement un plan incliné nivelé sur le terrain naturel et utilisé par les pirogues qui traversent le fleuve d'une rive à l'autre, vers les villages mauritaniens de Betselba, Lexelba et Gouraye, et aussi par celles qui naviguent sur de plus longues distances (certaines remontent jusqu'à Kayes, sans doute parce qu'il n'est pas très facile d'effectuer le trajet Bakel-Kayes par la

route). Le plan incliné est surmonté par un terre-plein d'environ 100 m par 20 m, lui aussi nivelé sur le terrain naturel.

En face de Bakel les points les plus bas dans le lit du fleuve oscillent entre -5 m IGN et +10 m IGN (cf. profils en travers joints en annexe).

Bakel est directement reliée à la route nationale, à 140 km d'Ouro-Sogui c'est-à-dire à 810 km de Dakar en passant par Saint-Louis. En passant par Tambacounda Bakel n'est qu'à 710 km de Dakar.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de construire des installations portuaires à environ 1 km en amont du plan incliné, à l'extérieur de l'agglomération de Bakel, de manière à disposer de confortables d'espace pour le stockage des marchandises.

## **2.11 Ambidédi**

L'escale d'Ambidédi est située en rive gauche du fleuve, au Mali, à 45 km en aval de Kayes, en bordure de la voie ferrée Dakar-Bamako. Il y a un quai en maçonnerie de 30 m de long à deux niveaux, l'un arasé à la cote 23 m et l'autre à la cote 30 m. Ce quai est court mais il est débordé par de robustes bollards implantés en amont et en aval du front d'accostage. A partir du sommet de la berge on dispose d'un espace libre d'une vingtaine de mètres avant d'atteindre les voies ferrées.

En face d'Ambidédi les points les plus bas du lit du fleuve oscillent entre +16 m IGN et +18 m IGN (cf. profils en travers joints en annexe), tandis que les berges s'élèvent à +27 m IGN.

La population d'Ambidédi, concentrée autour de la gare, ne compte que quelques centaines d'habitants.

Par le rail l'escale se trouve à 530 km de Bamako et à 700 km de Dakar. Ambidédi est également desservie par une piste de 60 km la reliant à la frontière sénégalaise, et une piste de 45 km jusqu'à Kayes. Ces pistes sont d'une qualité médiocre.

La rive opposée est vierge.

Les projets de développement antérieurs prévoyaient de construire de nouvelles installations portuaires à environ 1 km en aval de la gare ferroviaire, de manière à bénéficier de confortables espaces entre la berge et les voies ferrées.

## **3. Diagnostic des routes et voies ferrées**

### **3.1 Au Sénégal**

#### **3.1.1 Etat des routes**

Nous présentons ci-après un état des routes de diverses natures qui relieraient les escales fluviales vers les principales zones de cultures situées dans la vallée du fleuve côté SENEGAL ainsi que les zones de potentiel minier près du fleuve.

En premier abord, il y a lieu de mettre en exergue l'existence de deux axes routiers importants qui relient DAKAR à la frontière sénégalalo-malienne et qui sont respectivement :

- La route DAKAR-TAMBACOUNDA-KIDIRA qui se trouve dans un bon état d'une manière générale, excepté le tronçon TAMBACOUNDA-KIDIRA d'une longueur de 180 km qui se trouve dans un état dégradé et qui fait l'objet d'un projet routier ; cette route représente le mode d'accès le plus court et donc le plus rapide pour DAKAR et ceci pour tout transport à partir du MALI et fait donc une sévère concurrence au transport fluvial envisagé en provenance du MALI.
- La route DAKAR-SAINT LOUIS-KIDIRA par MATAM et BAKEL de largeur 7 m, qui se trouve dans un bon état excepté le tronçon NDIUUM-OURO SOGI qui comporte de nombreuses dégradations et notamment des nids de poules assez importants ; le tronçon en mauvais état doit faire incessamment l'objet d'un projet d'entretien routier de la part de l'AATR (les ouvrages hydrauliques ayant été réalisés entièrement) ; le tronçon BAKEL-KIDIRA, nouvellement aménagé au niveau chaussée, est actuellement en voie d'achèvement au niveau des ouvrages hydrauliques. Cette route présente un intérêt particulier pour la présente étude vu qu'elle traverse ou s'approche suffisamment des différentes escales fluviales prévues du côté sénégalais ou des sites retenues sur la rive opposée à celles des escales prévues du côté mauritanien. Si elle permet l'accès aisé à ces escales fluviales à partir des zones de production diverses en bordure du fleuve et particulièrement des zones de potentiel minier, elle fait office de concurrente au mode de transport fluvial escompté dans le fleuve SENEGAL.

A partir de SAINT LOUIS et en direction de KIDIRA, nous avons recensé les principales routes et pistes pouvant intéresser la zone d'influence du projet de la navigabilité sur le fleuve SENEGAL et qui se présentent comme suit :

- Route d'accès au barrage de DIAMA d'une longueur de 18 km environ et constituée d'une chaussée aménagée en latérite non revêtue de largeur 12 m.
- Route en terre desservant les périmètres agricoles et rizières de BOUNDUUM et KASSAK d'une longueur de 15 km environ mais d'une praticabilité intermittente en raison de la présence de plusieurs marigots.
- Piste de production dans la région de RICHARD TOLL qui longe le cours d'eau du TAOUE .
- Route d'accès à la ville de ROSSO SENEGAL où est situé le bac permettant le passage en MAURITANIE ; cette route bitumée de largeur 6 m se trouve dans un état assez dégradé accentué par un trafic de véhicules et de poids lourds de plus en plus important.
- Piste MBILOR-GUIDAKAR passant par le village de KHARRE où nous notons l'existence d'un bac de 20 tonnes.
- Piste de largeur moyenne 4,5 m en direction du village de GAE et qui longe le fleuve sur plus de 5 km.
- Route d'accès à la ville de PODOR qui est bitumée et en bon état.
- Pistes de production dans la région de PODOR : tronçon PODOR-GOUMEL, PODOR-NIAOULE, PODOR-OURO MADJOU et PODOR-AS qui sont à la limite de la praticabilité en saison sèche.
- Piste reliant la rive droite de NDIUUM ( accessible par bac de 20 t) à la ville de PODOR et qui se trouve en mauvais état et très difficilement praticable vu la présence de plusieurs marigots.

- Piste GAMADJI-GUEDE permettant le passage par un bac de 15 t à réhabiliter à la piste citée ci dessus ainsi que l'accès par intermittence aux villages de OURO MADJOU et GUYIA.
- Route en terre reliant les villages de NDIUM (rive droite), TIELAO, PATE GALO, SINTIOUI, DEMETE, OUALALDE, SIOURE, KASKAS, DOUNGUEL, TIOUBALEL, SALDE et NGOUI (rive droite après le bac de 20 tonnes) ; cette route est d'une importance capitale pour le désenclavement de ces localités situées dans l'île AMORPHYLE mais se trouve dans un état de praticabilité non permanente en raison de la présence de nombreux marigots.
- Route en terre pour l'accès au bac de MEDINA NDIATEBE (bac de 20 tonnes).
- Route en terre KASKAS-DEMBA TILO de praticabilité permanente.
- Piste DEMBA TILO-DOGUI-DOMBI-FONDE-GANDE difficilement praticable en raison de la présence des marigots.
- Piste KASKAS-MEDINA NDIATEBE débouchant vers le bac.
- Route en terre DEMET-BOGHE (rive gauche) difficilement praticable.
- Piste DEMET-NGAVADJI difficilement praticable en raison de la présence de marigots.
- Piste KAEDI(rive gauche)-BELTYINDE-DIORBIVOL-DIABA difficilement praticable en raison de la présence de marigots.
- Route en terre KAEDI(rive gauche)-DIAL-KAFEL- THIOLOGNE de praticabilité intermittente vu la présence de nombreux marigots.
- Route en terre KAEDI(rive gauche)-DIAL-GUIRAYE-OURGO-ALI OURI-SADEL-MATAM qui représente une route assez importante pour le désenclavement de plusieurs localités et villages situés dans l'île AMORPHYLE.
- Route d'accès à la ville de MATAM qui est bitumée et en bon état.
- Route en terre MATAM-OGUO de praticabilité intermittente.
- Pistes MATAM-BOYENADJI, MATAM-SINTIOU MOGO, MATAM-NABADJI et MATAM-KANEL très difficilement praticable en raison de la présence de nombreux marigots.
- Piste MATAM-ODEBERE-BOHOU-GANGEL-SOULE-BALEL-DIELA-SEME, de praticabilité très intermittente et qui représente un certain intérêt vu les potentialités minières de la ville de SEME ; le tronçon DIALA-SEME représente une piste améliorée en latérite de longueur 9 km environ et comportant plusieurs dégradations.
- Piste FADIARA-ADABERE très difficilement praticable vu la présence de plusieurs marigots ;
- Route en terre TIANJAFI-DOMBAKANE également très difficilement praticable.
- Route en terre DEMBA-MOUDERI-DIAWARA-MANAEL-TUABO-BAKEL de praticabilité intermittente et qui est d'un intérêt certain pour la desserte de marchandises vers l'escale de BAKEL.
- Piste BEMA-KOUGANI-GOLMI-YAFERA-AROUNDU-TAFARSIGA-KHABOU K-LANI MODI-DIGOKORI qui permet la liaison à BAKEL de toutes ces localités mais qui est d'une praticabilité extrêmement difficile vu la présence de plusieurs marigots.
- Route BAKEL-KIDIRA qui est une route bitumée de largeur 7 m nouvellement aménagée et dont les ouvrages hydrauliques sont en voie d'achèvement.

### 3.1.2 Etat des voies ferrées

Le réseau ferroviaire sénégalais est constitué des tronçons suivants :

- Ligne DAKAR-KIDIRA d'une longueur de 643 km dont 563 km sont exploités en direction du MALI ; cette ligne est à voie métrique en rail de 25 kg/ml et posant un certains nombres de problèmes vu l'absence de travaux de réhabilitation des infrastructures depuis plusieurs années.
- Embranchement GUINGINEO-KAOLACK utilisé pour le transport de marchandises et notamment le sel en provenance du MALI et aussi pour le transport de cola et divers produits vers ce pays.
- Ligne DAKAR-THIES d'une longueur de 193 km et comportant 2 voies métriques en rail de 25 kg/ml mais qui se trouve dans un état de non fonctionnalité à l'heure actuelle ; il est question d'envisager sa remise en service partiellement durant les fins de semaine.

Nous pouvons dire que la ligne de chemin de fer existante DAKAR-KIDIRA qui se prolonge jusqu'au MALI avec l'embranchement GUINGINEO-KAOLACK se pose en sérieux concurrent au transport fluvial envisagé par la présente étude et notamment pour le transport des gisements de phosphate potentiels situés dans la région de MATAM et SEME.

Il y a lieu de souligner qu'un projet de privatisation de la Société Nationale des Chemins de Fer Sénégalais est en gestation depuis 2000, ce qui explique en partie l'absence d'investissements opérés dans le matériel roulant.

### 3.2 En République Islamique de Mauritanie

Nous présentons ci après un état des routes de diverses natures qui relieraient les escales fluviales vers les principales zones de cultures situées dans la vallée du fleuve du côté de la MAURITANIE ainsi que les zones de potentiel minier près du fleuve en soulignant que la MAURITANIE ne possède pas de réseau de voie ferrée intéressant la zone d'influence du fleuve SENEGAL.

Tout d'abord, il y a lieu de relever la route reliant la capitale NOUAKCHOTT à la ville de ROSSO MAURITANIE qui comporte un bac pour l'accès à la ville de ROSSO SENEGAL ; cette route bitumée d'une longueur de 205 km est en assez bon état excepté le tronçon KHAOURA-TIGENT qui comporte de nombreuses dégradations (y compris au niveau des accotements) et qui doit par ailleurs faire l'objet d'un projet d'entretien. Nous y avons noté un problème d'ensablement, phénomène très répandu en MAURITANIE, ce qui contraint les services compétents à entreprendre d'importants travaux de fixation des dunes de sable.

A partir du barrage de DIAMA, nous avons recensé les principales routes et pistes pouvant intéresser la zone d'influence du projet de la navigabilité sur le fleuve SENEGAL et qui se présentent comme suit :

- Piste DIAMA-KEUR MASSENE située en crête d'une digue de protection et qui se trouve dans un état à la limite de la praticabilité et la piste KEUR MASSENE-ROSSO qui est d'une praticabilité intermittente.
- Piste ROSSO- GARAK-KEUR KOURE très difficilement praticable vu la présence de nombreux marigots.
- Piste SEKEIRIM-DAGANA (rive droite).
- Pistes MEDERDRA-BOUDRENAI vers ROSSO et MEDERDRA-DERBEGUEBE vers le lac RKIZ d'une longueur de 50 km d'une praticabilité permanente mais difficile.
- Route en terre PODOR-LEGAT-BOUKOUTRA de bonne praticabilité.
- Pistes PODOR-GUIDALA-NDIROL-KARLI-BOGHE et NDIROL-DEINI de praticabilité intermittente.
- Route en terre BOGHE-AZIAT en assez bon état.
- Route bitumée BOGHE-KAEDI d'une longueur de près de 100 km et qui passe par les localités de OUETJI-BALAL, DAGO-TOULDE, BOUSSOBE, HAIRE, GOLERE, BABABE, GARALOL et RINDIAO et qui se trouve dans un état moyen.
- Piste NIABINA-ABDALLAH DIERI, NIABINA-RINDIAO et piste améliorée NIABINA-MBAGNE de longueur 16 km dont la praticabilité est intermittente.
- Pistes MÖNGEL-KAEDI et MÖNGEL-LEKSEIBA à praticabilité aléatoire.
- Piste KAEDI-SEYYENE et route en terre SEYYENE-GANKI-LEKSEIBA-MBOUT-DJAJIBINE-SELIBABI dans un état assez médiocre.
- Route en terre KAEDI-DJOWOL-KOUNDEL REO-SIVE-YOUMANE YIRE-DAO et piste KAEDI-MAKHANA à caractère rural et qui se trouve en mauvais état en l'absence des ouvrages hydrauliques ce qui rend la praticabilité assez difficile.
- Pistes DAO-MAGHAMA-BEILOUGUE-LITAMA-MBOUT, MAGHAMA-WATI-SAGNE-WOUMPOU et BOGUEL FADOUA-LOUGUERE-HARR-TESHAI-DIALA-SELIBABI de praticabilité très intermittente.
- Route en terre SELIBABI-SANBA KANDJI-GOURAYE en assez bon état.
- Pistes SELIBABI-GUEMOU-DIOGOUNTOUROU, DIAGUILI-MOULESSIMOU et SELIBABI-SOUFI et SANBA KADJI-DIAGUILI qui sont à la limite de la praticabilité.
- Pistes GOURAYE-KHABOU, KHABOU-SELIBABI et SELIBABI-WOUMPOU qui sont également très difficilement praticables.

### **3.3 Au Mali**

#### **3.3.1 Etat des routes**

Nous présentons ci après un état des routes de diverses natures qui relieraient les escales fluviales vers les principales zones de cultures situées dans la vallée du fleuve ainsi que les zones de potentiel minier situées non loin du fleuve.

En premier lieu, la liaison à partir de BAMAKO vers le SENEGAL voisin peut se faire par deux importants axes routiers :

- Axe BAMAKO-DAKAR par le nord desservant les villes de KATI, KOLOKANI, DIDIENI, DIEMA, SANDARE et KAYES au MALI avant de joindre la ville de KIDIRA au SENEGAL ; cette route en terre développe une longueur de 695 km et revêt une grande importance pour le désenclavement de la région de KAYES.
- Axe BAMAKO-DAKAR par le sud desservant les villes de KATI, KITA, KENIABA au MALI avant de joindre la ville de SARAYA au SENEGAL ; cette route en terre développe une longueur de 505 km et comporte le premier maillon de la Trans-Sahélienne (tronçon KITA-SARAYA) qui est d'une grande importance pour la CEDEAO.

Nous avons recensé les principales routes et pistes pouvant intéresser la zone d'influence du projet de la navigabilité sur le fleuve SENEGAL et situées dans la région de KAYES ; celles ci se présentent comme suit :

- Route en terre KAYES-DIBOLI d'une longueur de 95 km et qui se trouve dans état assez mauvais malgré l'intervention des services des Travaux Publics pour des travaux d'entretien sur certains tronçons.
- Route en terre DIEMA-SANDARE-KAYES d'une longueur de 134 + 140 km qui se trouvait dans un état plus ou moins praticable et qui fait l'objet actuellement de deux projets de revêtement.
- Piste non aménagée BAFOULABE-DIAMOU-KAYES d'une longueur de 150 km, assez difficilement praticable.
- Route en terre MANANTALI-MAHINA d'une longueur de 87 km qui a été aménagée dans le cadre d'un projet OMVS en 1982.
- Piste améliorée KITA-TAMBAGA à caractère agricole d'une longueur de 50 km et TAMBAGA-MANANTALI d'une longueur de 100 km qui a été aménagée en 1996-98.
- Route bitumée KAYES-YELIMANE d'une longueur de 140 km récemment exécutée.
- Route en terre KAYES-SADIOLA d'une longueur de 73 km et qui se trouve dans état passable et difficilement praticable.
- Route en terre KAYES-AOUROU-BILKOITE d'une longueur de 144 km en direction de la MAURITANIE et qui se trouve dans état assez mauvais.
- Pistes KAYES-GOUKA et KAYES-SAMANRADI qui sont d'une praticabilité très intermittente.
- Piste non aménagée reliant le village d'AMBIDEDI à KAYES d'une longueur de 45 km et qui se trouve dans un état difficilement praticable.
- Piste reliant l'autre rive d'AMBIDEDI au village de SOMANKIDI puis à la ville de KAYES de l'autre côté du nouveau pont.

Nous avons également visité le nouveau pont de KAYES, de 400 m de longueur et de 11 m de largeur, qui remplace l'ancien radier submersible, ce qui a pu résoudre le grand problème de liaison entre les deux rives au niveau de cette importante ville, surtout pendant la saison des pluies. Ce pont comporte 13 travées

de 30 m chacune avec une superstructure métallique sur appuis en béton armé (doubles piles) et un revêtement en béton bitumineux de 7 m de largeur sur le platelage métallique avec 2 trottoirs pour piétons de 2 m de largeur.

### 3.3.2 Etat des voies ferrées

La ligne de chemin de fer existante relie BAMAKO à DIBOLI pour rejoindre le territoire sénégalais jusqu'à DAKAR ; cette ligne à voie métrique possède une longueur de 453 km et permet en premier lieu de pérenniser l'axe ferroviaire DAKAR-BAMAKO, contribuant ainsi d'une part au désenclavement de la première région du MALI et plus généralement au développement de l'approvisionnement du pays. Elle se pose également en sérieux concurrent au mode de transport fluvial escompté à partir de la localité d'AMBIDEDI vu l'accès plus rapide au port de DAKAR des marchandises à transporter.

Cependant, il y a lieu de signaler la vétusté des différentes composantes de la voie (rails, traverses, attaches, plateformes et ouvrages d'art) ce qui ne peut garantir la sécurité du matériel ni celles des personnes et des marchandises transportées ; le matériel roulant est constitué de 8 locomotives et de 100 wagons acquis dans les années 1984-85, en plus des 3 locomotives sénégalaises en location depuis 3 ans pour le trafic des marchandises.

Cette situation a engendré une diminution du trafic qui a pointé à près de 40.000 t/mois pour descendre actuellement à environ 15.000 t/mois.

Certains travaux ont été entrepris par la Régie du Chemin de Fer du MALI au cours de ces dernières années pour réhabiliter certains tronçons de la voie, consistant au renouvellement des rails, traverses ainsi que la reprise des plateformes assez étroites et ballastage, sans compter des travaux sur les ouvrages d'art ; nous pouvons citer les travaux les plus importants :

- Renouvellement de la section KAYES-DIBOLI (95 km) en rails de 30 kg/ml.
- Renouvellement de la section KAFFA-TIMTIBA (8 km) en rails de 36 kg/ml.
- Réhabilitation de la section KASSARO-DIO (74 km).
- Réhabilitation de la gare de marchandises de KOROFINA à BAMAKO.
- Travaux de confortement sur les ouvrages d'art de SAME et KAMANKOULE ainsi que des travaux de pose de buses au niveau du pont de BAGOUKO.

Il y a lieu de signaler qu'un projet de privatisation des Chemins de Fer Maliens est en gestation depuis plus de 7 ans avant d'évoquer la mise en place d'une société d'exploitation mixte sénégal-malienne qui est restée sans suite ; après l'année 2000 il a été décidé d'envisager la mise en concession de la ligne ferroviaire. Cependant, l'appel d'offres lancé à cet effet n'a pas donné les résultats escomptés puisque les 2 groupements qui ont répondu n'ont pas respecté les termes de l'Appel d'Offres qui a été déclaré finalement infructueux (les soumissionnaires ont, entre autres, projeté un trafic de marchandises de 25.000 t/mois alors que la Régie demandait un minimum de 30.000 t/mois). Une réaction des autorités est attendue

surtout si nous observons qu'aucun investissement n'a été opéré sur le matériel et ce dans l'attente de la mise en concession.

# Plans des ports et escales

(planches 0 à 10)

**Profils en travers du lit mineur du fleuve  
à proximité des ports et escales**

(entre Podor et Ambidédi,  
pour 300 m<sup>3</sup>/s à Bakel et 1,52 m IGN à Léboudou Doué)

**Photographies des ports et escales**  
(vues n°1 à n°29)

Section IV

Travée tournante du pont Faidherbe

## Section IV

### Travée tournante du pont Faidherbe (Saint-Louis du Sénégal)

#### Table des matières

1. Préambule.....	1
2. Historique du pont Faidherbe.....	1
3. La corrosion des structures métalliques du pont Faidherbe.....	2
3.1 Foisonnement de la rouille.....	2
3.2 Le pont Faidherbe – Etat alarmant vis à vis de la corrosion.....	3
4. La travée mobile.....	4
4.1 Description de la partie mécanique de la travée tournante.....	4
4.2 Chaîne cinématique des organes support de la travée tournante.....	4
4.3 Les constatations sur la pile centrale.....	5
4.3.1 Inaccessibilité sur la pile centrale.....	5
4.3.2 Etanchéité du platelage de la travée tournante.....	6
4.4 Diagnostic de la partie mécanique de la travée tournante.....	7
5. Récapitulation des travaux à entreprendre sur la travée mobile.....	7
5.1 Conduite d'eau potable.....	7
5.2 Travaux de charpente métallique.....	8
5.3 Protection contre la corrosion des surfaces métalliques.....	8
5.4 Travaux de mécanique.....	8
6. Aperçu sommaire sur la mécanisation future.....	9
7. Conclusion.....	10

ANNEXE 1 : Vues du pont Faidherbe

ANNEXE 2 : Planches photographiques n°1 à n°19

## Section IV

### Travée tournante du pont Faidherbe (Saint-Louis du Sénégal)

#### 1. Préambule

L'absence des notes de calculs donnant les forces et charges en présence, des plans d'exécution et de détail, a été un handicap au départ de l'expertise de la travée mobile du pont Faidherbe à Saint-Louis du Sénégal. Le bureau des Travaux Publics de Saint-Louis a fait savoir au Consultant que ces documents étaient en sa possession en 2001, mais avaient disparu entre temps. Ils n'ont pas non plus été retrouvés auprès des Services de l'AATR, ni à Dakar ni à Saint-Louis. Par contre, le Bureau de l'AATR de Dakar possède un dossier d'étude récent sur la réhabilitation de l'ensemble du pont, établi par le Cabinet français Bouillon en 2002. Le Consultant a été autorisé à consulter le dossier Bouillon, puis il a déposé une requête auprès de l'OMVS en vue d'obtenir une copie de ce précieux document. Un mois et demi plus tard le Consultant est toujours dans l'attente du dossier Bouillon.

Il a donc fallu comprendre le fonctionnement de cette travée tournante à partir d'observations faites sur le site. Toutes ces observations sont par conséquent relativement qualitatives.

Après un bref historique, grâce à des informations et articles recueillis à Saint-Louis du Sénégal, ce document s'attache à constater l'état de la travée mobile et décrit les mesures conservatoires et de remise à niveau. Tout ceci dans le but d'une mécanisation future de l'ouvrage.

#### 2. Historique du pont Faidherbe

Le pont Faidherbe a eu 105 ans le 19 octobre 2002. L'inauguration a eu lieu le 19 octobre 1897 par Monsieur André Lebon, Ministre des Colonies sur invitation du Conseil Général et de la municipalité.

Pour la construction, deux firmes étaient en compétition :

1. NOUGUIER KESSLER et CIE (ancienne maison Joly d'Argenteuil)
2. Société de Construction LEVALLOIS PERRET (ancien établissement Eiffel)

La commission du pont Faidherbe trouvait le projet de Levallois Perret très étudié mais jugeait celui de Nougier Kessler et Cie plus esthétique. La majorité des conseillers approuva et la société Nougier Kessler et Cie fut adjudicataire pour un montant de 1.880.000 francs. L'ouvrage avait une longueur de 510 mètres pour un poids total de 13.000 tonnes.

Jusqu'en 1960 une équipe d'entretien évoluait sur le pont Faidherbe tous les jours de l'an.

De 1960 à 1992, les travaux d'entretien étaient confiés à la Subdivision des exploitations industrielles de Saint-Louis (T.P.E.I.).

Divers incidents sont intervenus sur la travée mobile depuis 1974 (source : Monsieur Drame SECK, Directeur Régional des Travaux Publics de Saint-Louis) :

- Le bateau patrouilleur sénégalais « Le Falémé » a enregistré trois accidents au niveau de la travée respectivement le 9 septembre 1974, le 8 octobre 1974 et au début de 1975.

- Du 21 septembre au 16 novembre 1981, l'Entreprise Massalia a procédé à des séries d'ouvertures et de fermetures du pont, probablement lors des travaux de restauration de la travée tournante entreprise par l'OMVS sur financement PNUD (Programme des Nations Unies pour le Développement).
- Le 8 janvier 1987, sur demande de l'entreprise dakaroise COTRAMER, le pont a été ouvert sans incident pour faire passer le remorqueur « F2 ».
- Le 22 juillet 1987, les opérations d'ouverture et de fermeture lors des travaux de renforcement ont entraîné un blocage du mécanisme (lors de la fermeture). Un tire-fort a été utilisé pour débloquer le mécanisme.
- Le 15 juin 1989, le tire-fort a été de nouveau utilisé en raison du blocage causé par la cassure d'une roue dentée. Il a été fait recours, le lendemain, à la Régie de Chemins de Fer du Sénégal pour confectionner une nouvelle roue dentée.
- Le 1<sup>er</sup> juillet 1989, une tentative d'ouverture du pont a échoué entre 9h30 et 10h30, le système de manœuvre ayant été cassé. Le mécanisme de rotation a été démonté pour un entretien complet.
- Le 31 août 1989, une tentative d'ouverture a été opérée au niveau de la couronne, lors de la fermeture le pignon est tombé dans le fleuve. Il a été récupéré par les plongeurs de la marine française.
- Les 27 septembre et 5 novembre 1989, une ouverture et une fermeture ont eu lieu en 30 minutes pour un passage de bateau qui a duré 5 minutes.
- La dernière ouverture/fermeture est intervenue le dimanche 8 avril 1990 en présence de SASIF, entreprise chargée des travaux de confortation des piles du pont. Le mécanisme a fonctionné correctement.

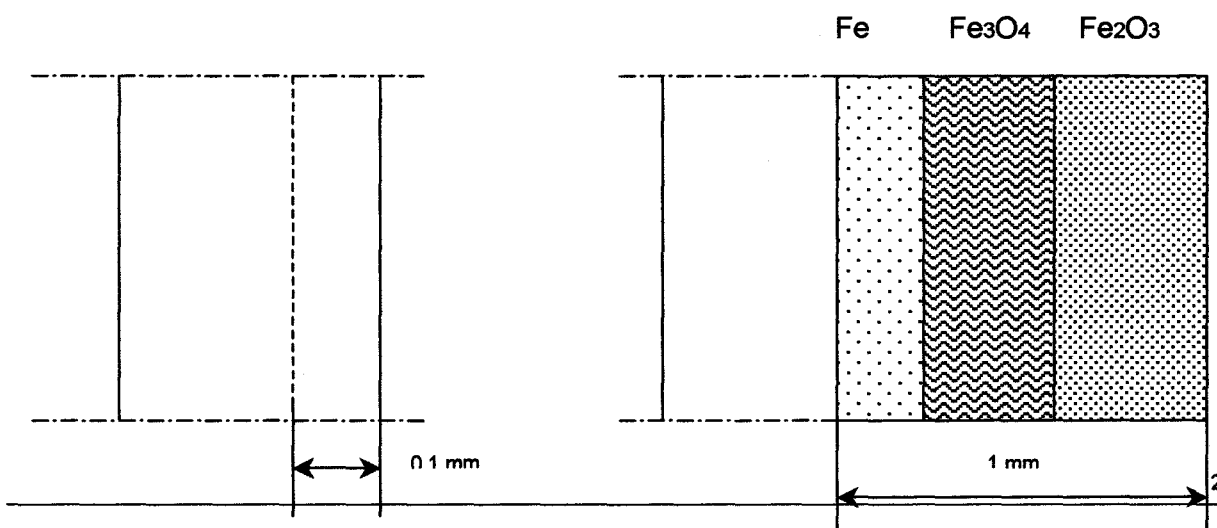
### 3. La corrosion des structures métalliques du pont Faidherbe

#### 3.1 Foisonnement de la rouille

Il est à signaler le phénomène de foisonnement de la rouille, c'est-à-dire le gonflement considérable des produits d'oxydation par rapport à l'épaisseur de métal disparue.

Acier avant corrosion

Acier après corrosion



Cette augmentation est dans le rapport de 1 à 10, c'est-à-dire, par exemple, à une épaisseur de rouille de 1 millimètre correspond en réalité une perte d'épaisseur du métal de 0,1 millimètre seulement.

Le foisonnement est souvent spectaculaire et peut laisser croire à une corrosion plus forte qu'elle ne l'est en réalité.

Ce type de corrosion foisonnante a été remarqué à de nombreux endroits sur le pont Faidherbe. Ceci ne doit pas cacher les dégradations et l'état alarmant des structures métalliques du pont.

### **3.2 Le pont Faidherbe – Etat alarmant vis à vis de la corrosion**

Une embarcation légère a été utilisée par le Consultant et a permis une inspection visuelle sous les travées du pont.

Les surfaces horizontales, sous les travées, où il y a condensation, sont très endommagées par la corrosion.

Les surfaces non vues, en dessous du pont, n'ont pas reçu de couche de peinture anticorrosion récente, ni de couche finale d'aspect.

Les surfaces métalliques condensantes, celles où la condensation de l'eau se produit, sont fortement attaquées.

Les poutres situées du côté amont du fleuve, vers le nord, sont exposées aux vents dominants du nord-ouest et la perte de métal est plus importante sur ces surfaces condensantes exposées aux embruns.

Cette perte d'épaisseur entraîne une concentration de contraintes dans le métal résiduel. Si la valeur de cette contrainte dépasse la limite élastique du métal il y aura déformation et rupture à court ou moyen terme.

La capacité portante du pont est gravement compromise par les nombreux dégâts dus à la corrosion. Certaines parties de travées fragilisées céderont et, déséquilibrant l'ensemble, entraîneront l'ensemble de la travée vers la rupture.

Les risques d'un effondrement vont croissant puisque la corrosion diminue progressivement les sections portantes. Le gonflement des éléments rivetés entraîne la destruction de plus en plus de rivets, ce qui engendre des contraintes supplémentaires dans les structures.

Le pont Faidherbe à Saint-Louis du Sénégal est devenu très vulnérable vis à vis de la corrosion et a atteint un point de non-retour.

Si aucun travail de réparation n'est entrepris, la situation alarmante empirera et la ruine suivra.

## **4. La travée mobile**

### **4.1 Description de la partie mécanique de la travée tournante**

Sur le pont Faidherbe la travée tournante est la deuxième en partant de la rive droite du fleuve. L'originalité du mécanisme est qu'il est identique à une butée à rouleaux.

Cette butée à rouleaux supporte pendant la rotation le poids total de la travée mobile :

- En partie basse, une piste de roulement circulaire légèrement conique repose sur la pile centrale.
- En partie haute, l'autre piste de roulement est solidaire de la charpente du pont.

Il y a 40 galets coniques maintenus par une charpente métallique rivée. Cette charpente se compose de :

- 20 bras et à l'extrémité de chaque bras, il y a deux galets coniques.
- Deux charpentes métalliques circulaires en forme de cerceau.

Le cerceau extérieur et le cerceau intérieur servent de support aux extrémités des axes de galets coniques.

Ces axes de galets, dont les extrémités sont filetées, sont boulonnés sur les cerceaux. Le boulonnage des 40 axes de galets donne une certaine rigidité à l'ensemble.

Les 20 bras métalliques disposés en étoile sont comparables à ceux d'un manège forain. Au centre, les bras sont rivés sur une plaque circulaire qui sert de chemin de roulement à 6 galets scellés sur la pile centrale.

Le poids du manège repose donc sur les 40 galets extérieurs et sur les 6 galets centraux.

Il faut noter que ces 6 galets sont inaccessibles et sont grippés.

Le centrage de ce manège est réalisé par une crapaudine centrale qui ne reprend pas de charge verticale mais dont le but essentiel est d'assurer le centrage de l'ensemble mobile. La crapaudine n'a pas pu être inspectée en détail : il aurait fallu démonter une trop grande partie du platelage du pont. En effet, le démontage des caissons du platelage avait déjà restreint à une seule voie le passage sur le pont, où une circulation alternée avait été mise en place le lundi 14 octobre 2002 pour permettre au Consultant de parfaire ses inspections.

### **4.2 Chaîne cinématique des organes support de la travée tournante**

Il y a quatre ensembles identiques situés aux quatre extrémités de la travée mobile.

Le principe est un vérin à vis commandé en rotation par un ensemble d'arbres paliers, bagues bronze, clavetages avec clavettes à talons, pignons coniques et renvois d'angle. Enfin manivelle de commande à main.

C'est un bel ensemble mécanique en quatre exemplaires, à l'air libre, soumis aux intempéries, représentatif de ce que les mécaniciens réalisaient à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle.

Ceci a une valeur de musée technologique. Ces mécanismes manuels qui peuvent encore fonctionner doivent être conservés en l'état puisque classés par l'UNESCO. Si l'on veut continuer à faire fonctionner ce pont manuellement il est nécessaire de se mettre en conformité avec les règles imposées par la sécurité du travail.

Chaque organe en mouvement comme, par exemple, un couple d'engrenage susceptible d'être approché par le public doit être protégé par un carter amovible.

Ces mécanismes de commande manuelle sont de très bonne facture et représentent une belle réalisation mécanique qui a perduré depuis la fin du 19<sup>ème</sup> siècle : Ces mécanismes ne doivent pas être supprimés. Ils seront en position débrayée lorsque la travée sera mécanisée.

Ces mécanismes doivent être montrés et expliqués, par exemple, aux élèves d'un collège technique. C'est une bonne illustration et une démonstration pour un cours technique sur les engrenages :

- Couple d'engrenage avec roue : menante, menée, raison d'un couple d'engrenage.
- Profil en développante de cercle.
- Crémaillère, clavette à talon.
- Renvoi d'angle conique, etc.

Les quatre appuis mobiles situés aux extrémités du pont n'ont pas pu être inspectés puisque la travée tournante repose sur ces appuis lorsque la travée est en position « routière » (position fermée).

Le mécanisme manuel permet de visser chaque vérin et de rétracter complètement chaque appui.

Lorsque les quatre appuis sont effacés, la travée reprend une flèche normale et ne repose alors que sur les 46 galets coniques de la pile centrale.

La travée mobile a alors la possibilité de tourner d'un quart de tour.

### **4.3 Les constatations sur la pile centrale de la travée mobile**

#### **4.3.1 Inaccessibilité sur la pile centrale**

La pile centrale n'est accessible actuellement qu'à l'aide d'embarcations légères que l'on amarre le long de la maçonnerie circulaire de la pile centrale.

La maintenance (enlèvement du sable sur les pistes de roulement - le sable est apporté par les pneus des véhicules routiers, il tombe entre les panneaux qui forment le platelage de circulation sur le pont - nettoyage, graissage, etc) ne peut pas être faite correctement puisque l'intervenant n'est pas dans une position stable. Par ailleurs, il faut pouvoir se glisser en rampant entre la crémaillère circulaire et les poutres maîtresses de la travée dans un espace de 430 mm de hauteur pour accéder aux galets coniques.

Remède pour pouvoir continuer les investigations et améliorer la maintenance :

- Installer une passerelle circulaire scellée sur le pourtour de la pile centrale. Le platelage de la passerelle sera à un niveau tel qu'il ne soit jamais submergé par les plus hautes eaux.

- Passerelle équipée réglementairement d'une lisse, d'une sous-lisse et d'une plinthe pour éviter toute chute d'outillage dans le fleuve.
- L'accès se fera par portillon, dit automatique, c'est-à-dire qui revient en position fermée par gravité.
- Passerelle équipée d'une échelle à crinoline réglementaire pour communication entre les deux niveaux.

#### 4.3.2 Etanchéité du platelage de la travée tournante

L'expertise d'octobre 2002 a amené les ingénieurs de BCEOM à passer plusieurs heures dans la charpente du pivot central. Les orages tropicaux des jeudi 10 et vendredi 11 octobre 2002 avaient détrem্পé les routes d'accès au pont Faidherbe.

Les pneus des véhicules (camions, autocars et voitures de tourisme) apportent du sable sur le platelage du pont.

Le sable s'infiltré dans les interstices existant entre les caissons du platelage et tombe sur les galets et les chemins de roulement.

Le mélange sable et graisse est un abrasif redoutable pour toutes les parties mécaniques. Cette « potée d'émeri » accélère l'usure des pièces en contact.

Le sable déposé a été écrasé par les galets et s'est incrusté dans les chemins de roulement inférieurs et supérieurs. Enfin, le sable se dépose sur le massif circulaire et en certains endroits l'épaisseur de la couche de sable affleure le chemin de roulement inférieur.

Pour être restés plusieurs heures dans la charpente du manège au moment de l'expertise il a été constaté que le sable tombait des interstices des caissons. Les vibrations provoquées par le roulement du trafic routier, accéléraient la chute du sable.

Par ailleurs, il se peut également que le sable précédemment déposé provienne du vent de sable.

Les mesures urgentes pour la conservation dans un état acceptable sont :

1. Après mise en place de la passerelle circulaire autour de la pile centrale.
2. Nettoyage de l'ensemble à l'aide d'une pompe à eau sous pression (par exemple, type KARCHER).
3. Rendre étanche le platelage de la travée mobile, du moins au-dessus de la pile centrale.
4. Mise en place d'un regard amovible de dimension suffisante au milieu de la travée mobile. Ce regard doit permettre de continuer les investigations sur la crapaudine centrale et d'en assurer la maintenance.
5. Etanchéité du platelage. Il faut se prémunir des précipitations de sable et d'eau sur les mécanismes.

Les zones sensibles sont :

- Le manège de la pile centrale avec les 40 galets.
- Les 6 galets à axe horizontal près de la crapaudine, reprenant le poids du manège en zone centrale.
- Les 4 vérins aux extrémités de la travée tournante.

Il faut mettre hors d'atteinte des intempéries et du sable, ces mécanismes. Plusieurs dispositions sont possibles, elles seront mentionnées dans l'avant-projet sommaire qui sera produit ultérieurement.

6. Lorsque le platelage sera rendu étanche, il faudra évacuer les eaux pluviales de la travée mobile. Des tuyauteries d'évacuation vers le fleuve seront à prévoir.

#### **4.4 Diagnostic de la partie mécanique de la travée tournante**

1. Les pistes de roulement ou couronnes inférieure et supérieure sont parfaitement horizontales. La crémaillère circulaire est également bien horizontale. L'horizontalité a été vérifiée en plusieurs endroits.
2. Le massif de génie civil de la pile centrale sur lequel repose la partie mécanique de la travée tournante est sain.
3. Les bras de la charpente du manège sont horizontaux.
4. Le manège central est en bon état :
  - Absence de corrosion prononcée.
  - Absence de criques et fissures dans les bras du manège.
5. Fonctionnement des roulements à rouleaux. La comparaison souvent faite entre les dispositions constructives retenues dans la mécanique de rotation d'une grue tournante et d'un pont tournant n'est pas valable. Ceci a été maintes fois confirmé. Le pont tourne sur 90° alors que la grue a une rotation de 360°. Les usures et les dysfonctionnements ne sont donc pas comparables :
  - Sur la travée tournante, s'il y a eu coincement d'un ou plusieurs galets lors de la rotation, il y a peut-être des méplats sur les surfaces de roulement.
  - Il faut noter que l'un des galets dépasse de 6 mm vers l'extérieur par rapport à la couronne de roulement inférieur. Il faudrait comprendre la cause de ce désaxage : usure ? choc de navire ? casse d'une goupille traversante ?
6. Avant la mécanisation du pont le démontage, l'inspection, la modification des 46 galets seront indispensables.
7. Il faudra vérifier la travée mobile d'une hauteur permettant le démontage des galets. Un calage efficace et des rampes de raccordement en pente douce maintiendront la circulation routière pendant toute la durée des travaux.
8. Installation de butées mécaniques aux extrémités de la crémaillère circulaire. Ces butées ultimes ne seront normalement jamais sollicitées ; en effet, la mécanisation de la travée tournante nécessitera la mise en place de dispositifs de fin de course, à sécurité positive, pour la décélération et l'arrêt complet avant que ces butées mécaniques ne soient atteintes.

### **5. Récapitulation des travaux à entreprendre sur la travée mobile**

#### **5.1 Conduite d'eau potable**

La conduite d'eau sur la travée mobile pourrait être remplacée par une deuxième conduite ensouillée et lestée qui viendrait en dépannage de celle déjà existante située à 150 mètres environ à l'amont du pont Faidherbe sur le lit du fleuve. La nouvelle implantation est à réaliser selon un tracé différent.

## **5.2 Travaux de charpente métallique**

- Remplacement ou consolidation des éléments inférieurs.
- Remplacement des assemblages sur les diagonales, les nœuds, les suspentes.
- Exécution des travaux de consolidation de la charpente avant le vérinage de la travée mobile.
- Passerelle circulaire autour de la pile centrale et échelle à crinoline.
- Etanchéité du platelage.
- Regard amovible au milieu de la travée pour accéder à la crapaudine.

## **5.3 Protection contre la corrosion des surfaces métalliques**

- Sablage à 2,5 : le sablage est à exécuter avant les travaux mécaniques. L'application du primaire et du masticage suivra le sablage.
- Exécution d'un système de peinture agréée « eau salée » (E.S.)

## **5.4 Travaux de mécanique**

1. Vérifier la travée mobile et effectuer son calage et les raccordements routiers, en pente douce. Le vérinage de la travée mobile permet de connaître avec exactitude le poids réel de la travée (environ 300 tonnes), les 4 manomètres installés sur les vérins de soulèvement donnant la pression et par là-même, le poids exact de la travée.  
Le poids permet de :
  - Vérifier les pressions de contact sur les galets.
  - Dimensionner les axes et les coussinets.
2. Démontage des 40 galets.
3. Repenser le montage axe-galet pour :
  - Réduire les effets de bords (concentrations de contraintes) dans le contact du galet sur le rail.
  - Réduire au minimum les jeux fonctionnels.
  - Améliorer les étanchéités sur les axes pour éviter les entrées de sable.
  - Utiliser des coussinets auto-lubrifiants avec des axes inox du type Z30 C13.
  - Supprimer autant que possible les goupilles coniques traversantes.
4. Utiliser de la boulonnerie galvanisée sur les charpentes circulaires extérieures et intérieures maintenant les galets.
5. Vérifier le fonctionnement des 6 galets centraux sous le manège.

6. Inspecter la crapaudine (pivot central) et, si nécessaire, effectuer des travaux de restauration.
7. Mécanisation des 4 appuis mobiles par un vérinage hydraulique centralisé et calage sur des appuis (cette mécanisation sera détaillée dans l'avant-projet sommaire qui suivra ce rapport).
8. Prévoir sur la travée mobile l'implantation semi-élastique du moteur hydraulique. La roue dentée doit rester en contact avec la crémaillère.

## 6. Aperçu sommaire sur la mécanisation future

La mécanisation de la travée mobile ne présente pas de difficulté technique. Il s'agit, pour l'essentiel, de mettre en rotation une structure métallique dont la masse totale est de l'ordre de 300 tonnes.

Les conditions environnementales sont à prendre en compte :

- Le vent dont la vitesse est à définir (vent de projet).
- Les intempéries (précipitations, vent de sable, ...).
- Les températures maximales et minimales pour les surfaces ensoleillées et celles à l'ombre (dilatations, ...).

La mécanisation par l'intermédiaire de l'hydraulique est adaptée à ce genre de réalisation.

Le débit de la centrale hydraulique donnera la vitesse de déplacement du pont.

La pression hydraulique assurera le couple de rotation.

La variation de vitesse sera facilement obtenue à l'aide de pompes à pistons à débit variable.

L'action sur un barillet permettra de régler le débit et de se conformer à la loi de mouvement prédéfinie qui se décompose en trois phases :

Démarrage	<b>Première phase</b> Accélération	<b>Deuxième phase</b> Fonctionnement à la vitesse de croisière	<b>Troisième phase</b> Décélération	Arrêt
-----------	---------------------------------------	--	--	-------

La mécanisation à l'aide de l'hydraulique est très souple. Si, lors de la rotation, un incident mécanique apparaît et provoque « un point dur » dans le fonctionnement, la soupape hydraulique entre en action et assure le retour du fluide hydraulique à la centrale hydraulique, sans aucun dommage pour l'installation mécanique.

Par ailleurs, il conviendra de définir les points suivants :

- Balisage et signalisation fluviale.
- Détection des bâtiments et embarcations demandant le passage.
- Barrières routières ; signalisation routière lumineuse et sonore.
- Définition des sécurités et protections pour les usagers de la route.
- Toutes les informations de fonctionnement seront en sécurité positive (fins de course, ordres de commande, ...).

- Définition du poste de commande :
  - Tableau de commande et de contrôle.
  - Synoptique – automate programmable séquentiel.
  - Caméras de surveillance pour le trafic fluvial et routier.
  - Anémomètre et girouette.

Tous ces points techniques doivent être étudiés lors de la préparation de l'avant-projet sommaire.

## 7. Conclusion

La travée mobile du pont Faidherbe peut être remise en état et modernisée par une mécanisation pour rendre au fleuve Sénégal son intérêt vis-à-vis de la navigation et faciliter la circulation routière dans de bonnes conditions.

\* \* \*

**ANNEXE 1**

**Vues du pont Faidherbe**

**ANNEXE 2**

**Planches photographiques n°1 à n°19**

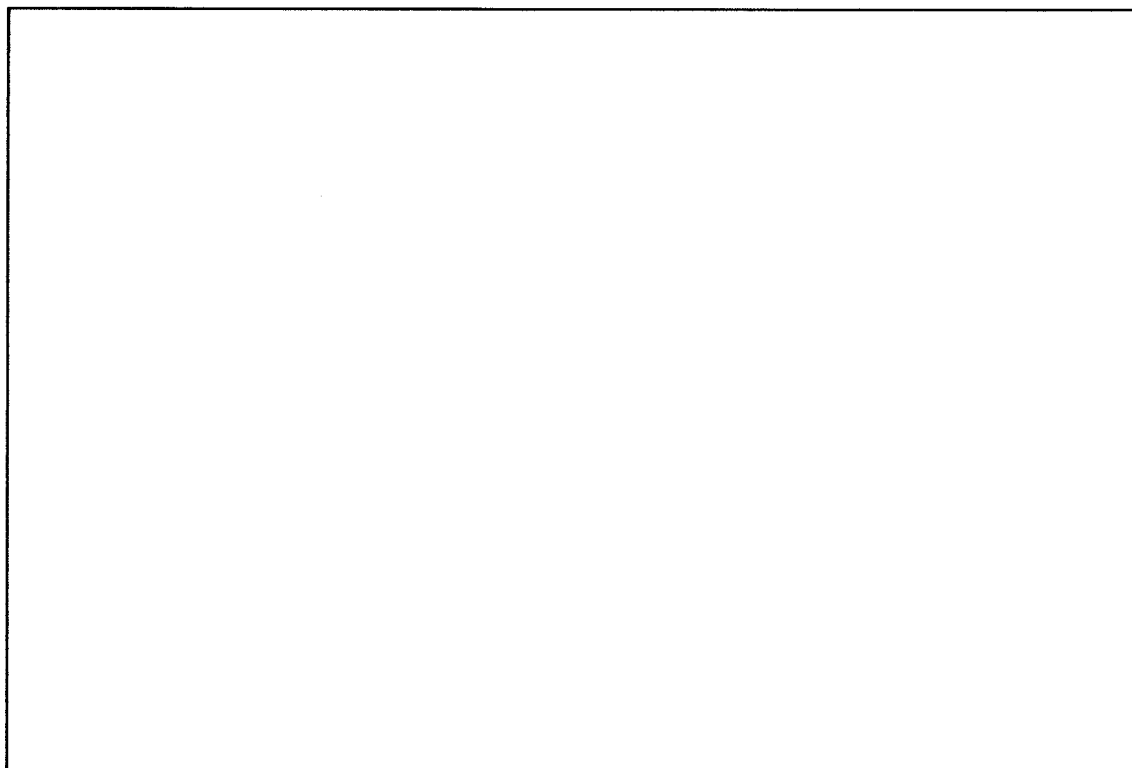
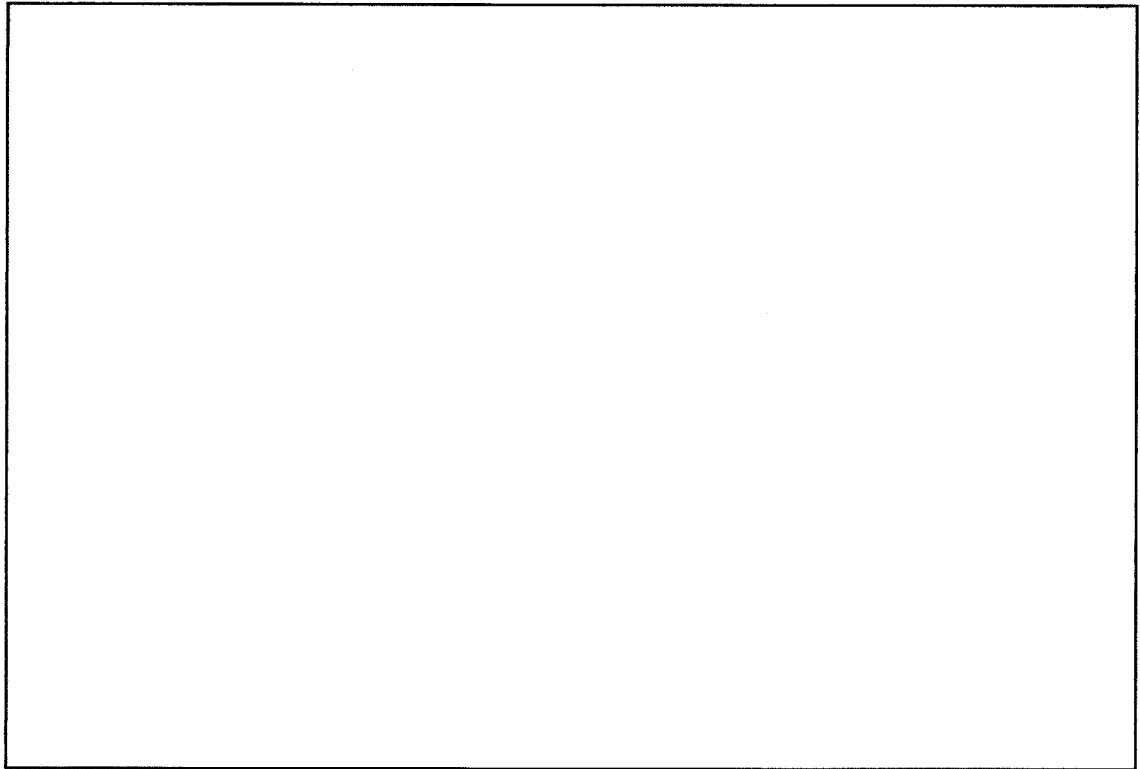
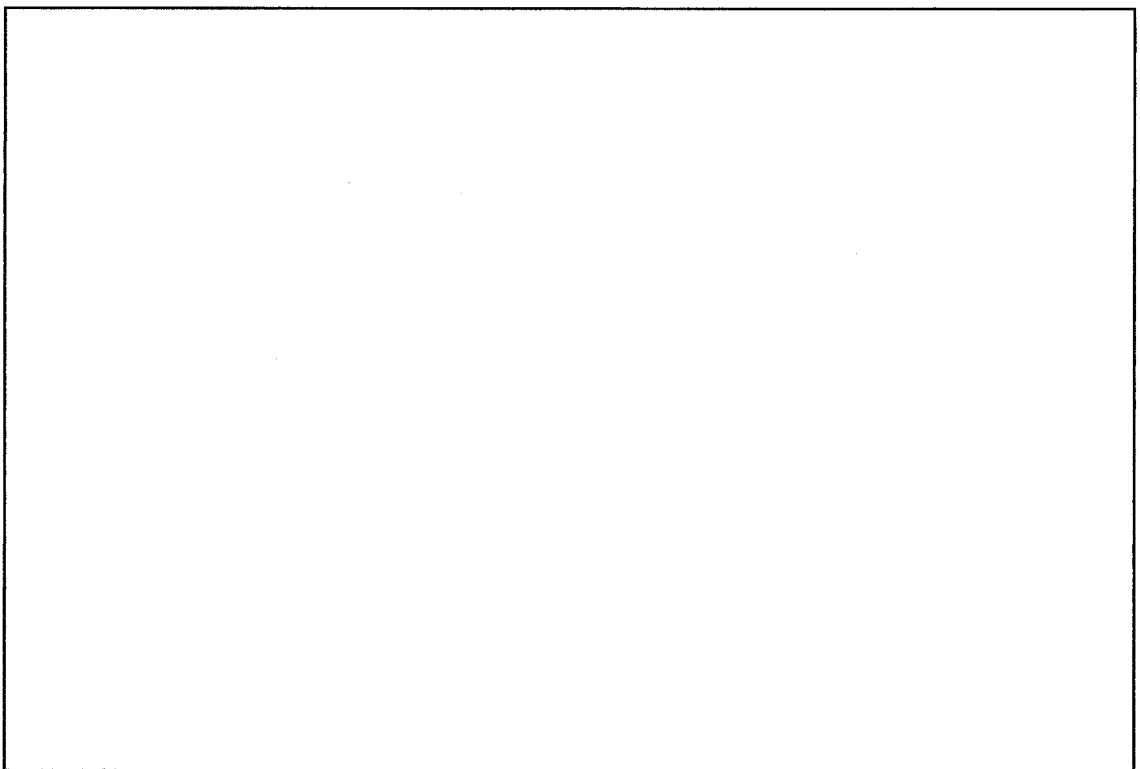
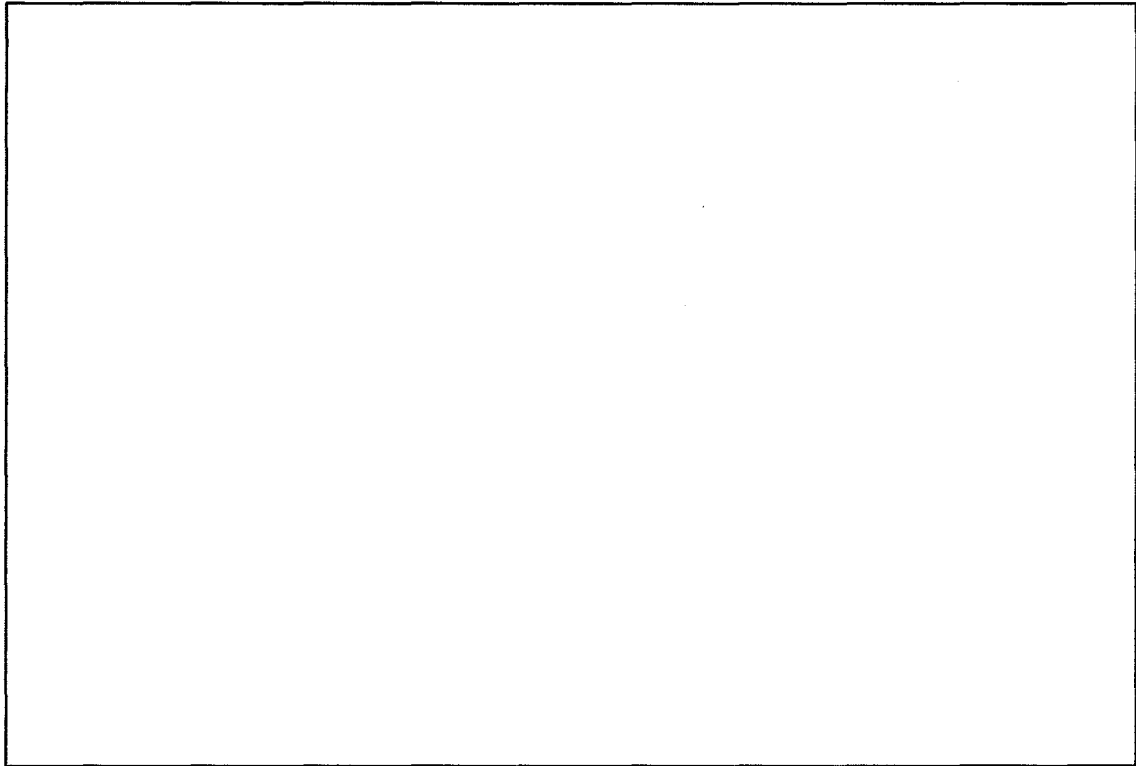


Photo 1 - Vue générale du pont Faidherbe



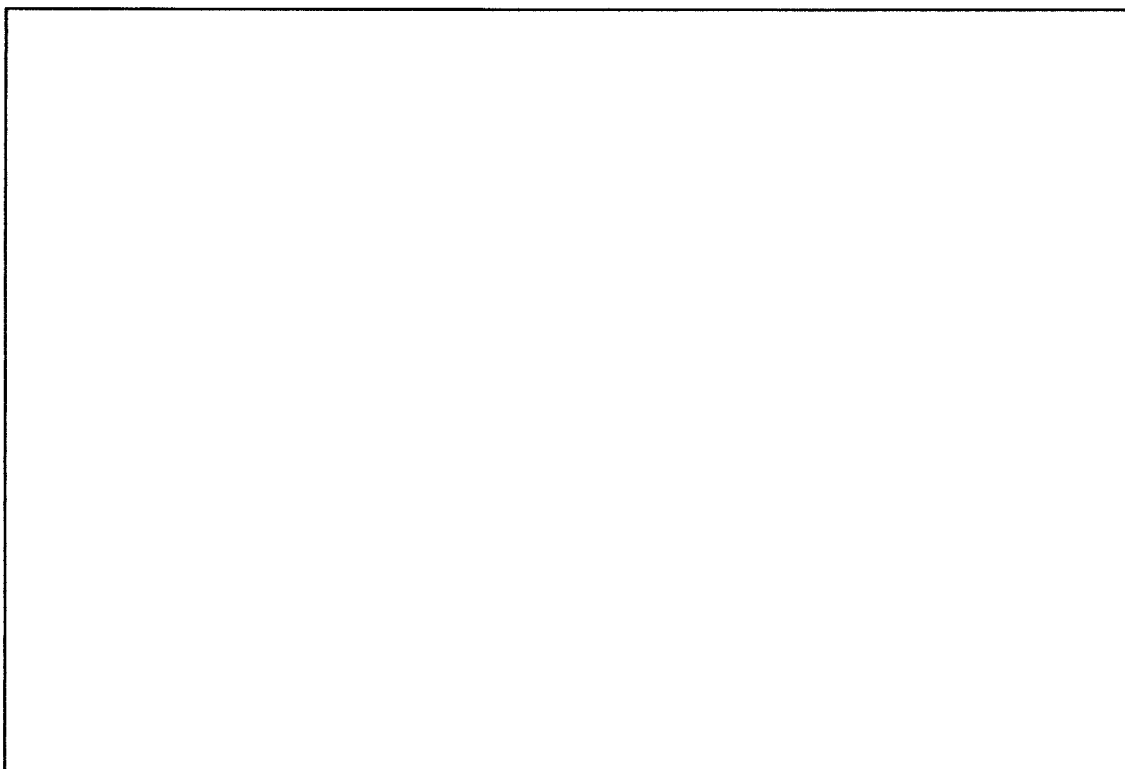
**Photo 2 – Un alternat routier a été installé au niveau de la travée mobile**





**Photo 3**

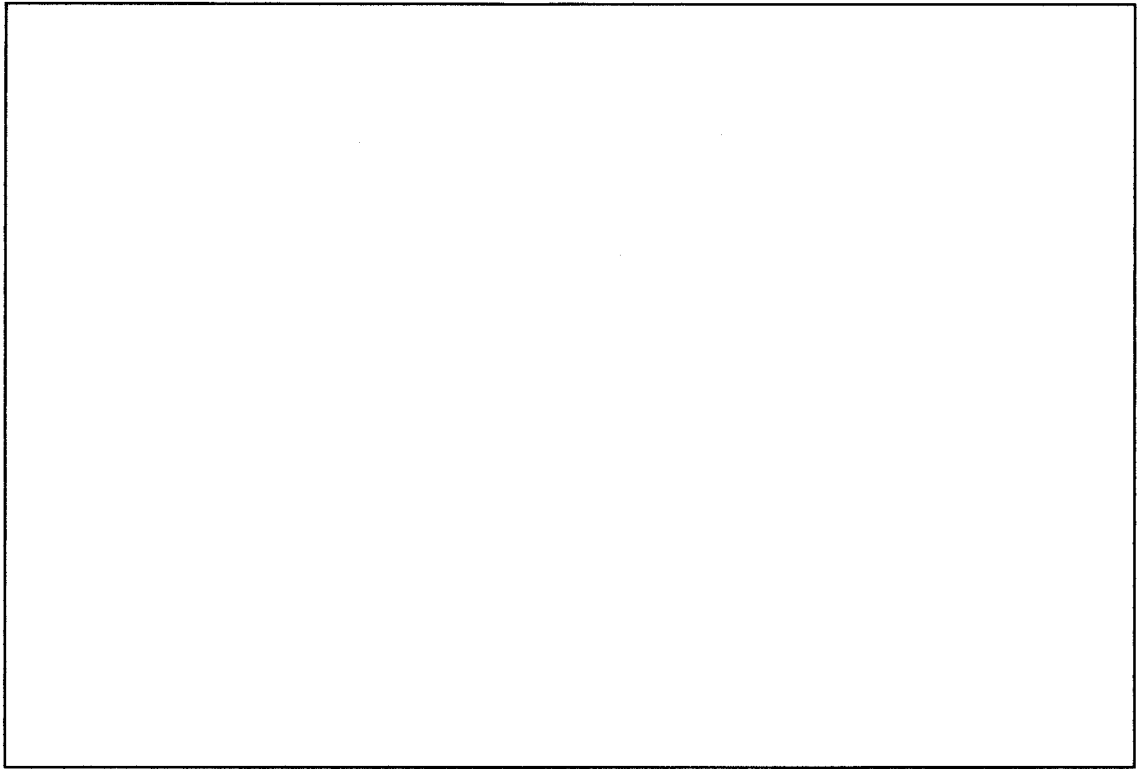
**Après enlèvement d'un élément du platelage « Amodin », il est possible de se faufiler pour inspecter le mécanisme sous le pont**



**Photo 4 – Travée mobile : file d'extrémité rive droite vue de l'aval**



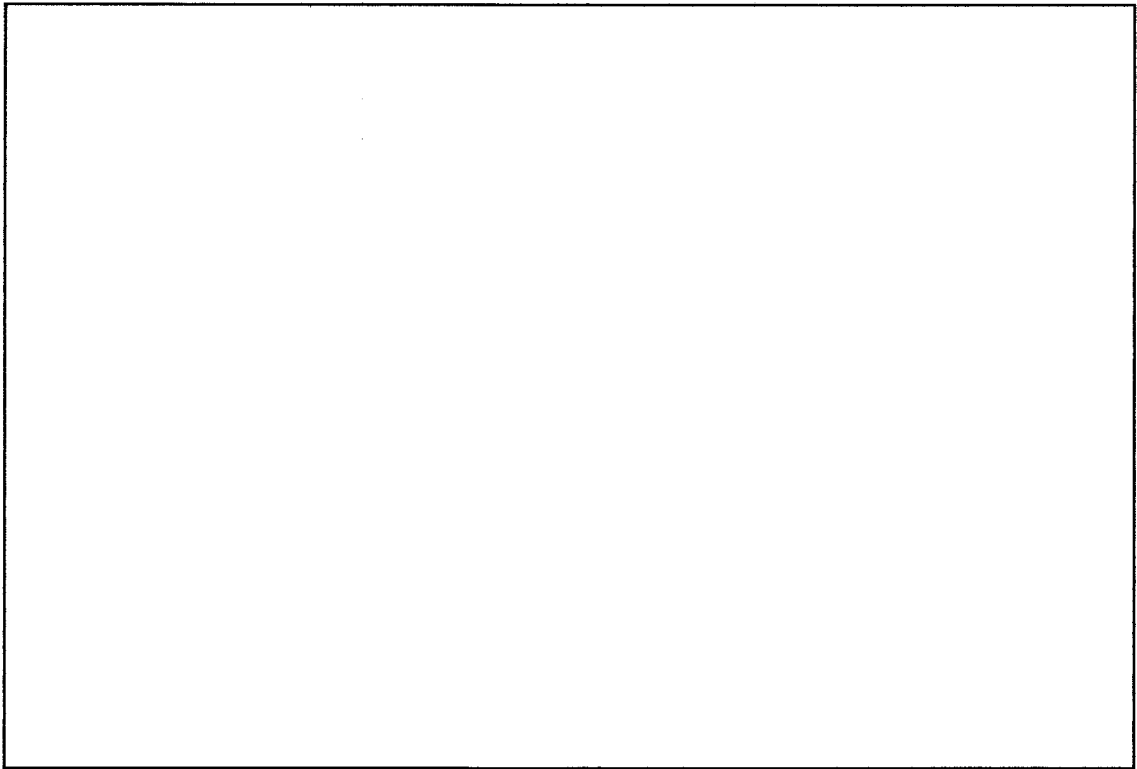
**Photo 5 – Vérins à vis : conduite d'eau côté aval du pont**



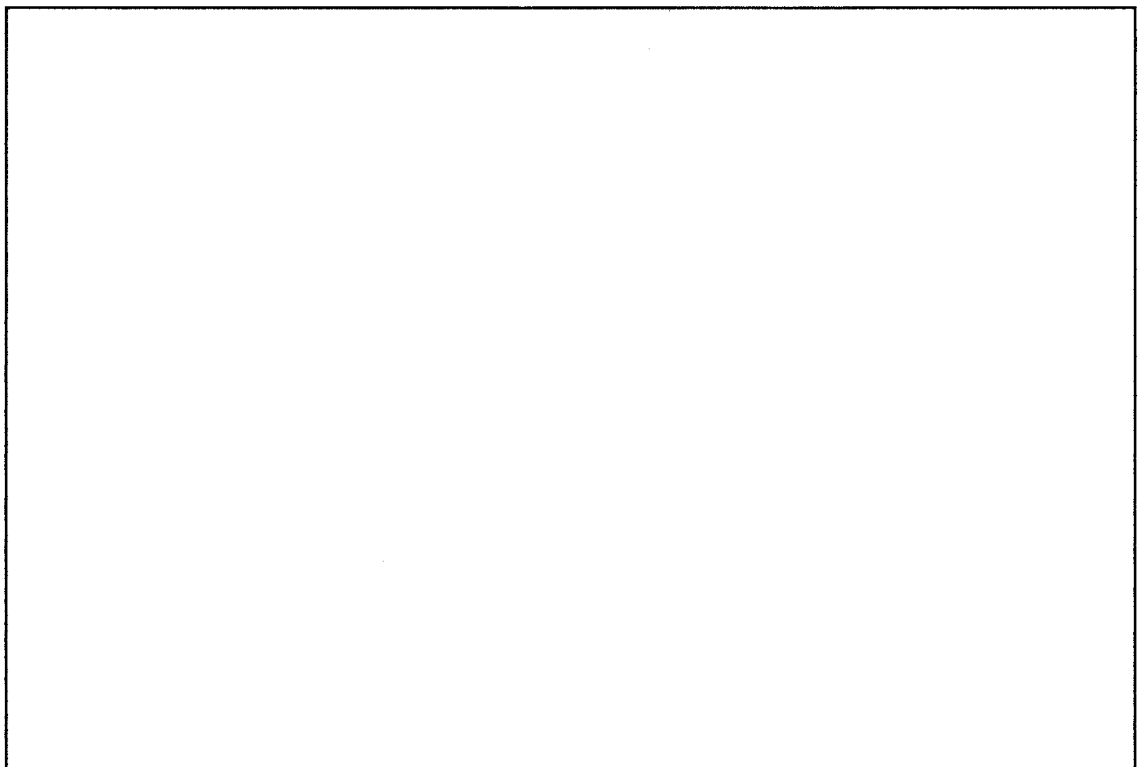
**Photo 6 – La pile centrale du côté où il n'y a pas de crémaillère circulaire. Détail des pistes de roulement inférieures et supérieures**



**Photo 7 – Sur la cerce extérieure, après démontage des galets pour reconditionnement. La boulonnerie sera remplacée par de la boulonnerie galvanisée**



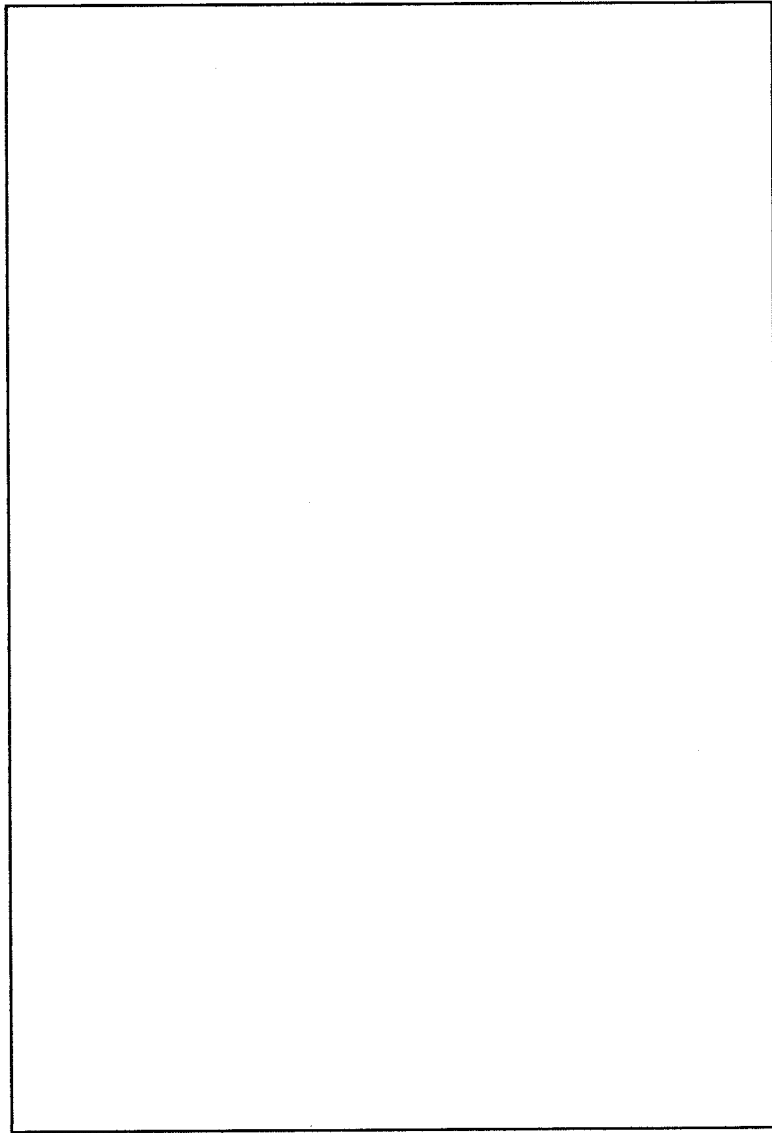
**Photo 8**  
**La crémaillère circulaire sur environ 105 degrés**  
**Le pignon d'attaque pour la rotation de la travée mobile**



**Photo 9 – Résultat d'un choc de bateau sur la travée mobile**



Photo 10 – Une embarcation légère a permis une inspection par le dessous du pont



**Photo 11 – Rigole dans le massif de la pile centrale, sans doute pour l'évacuation de l'eau pluviale**

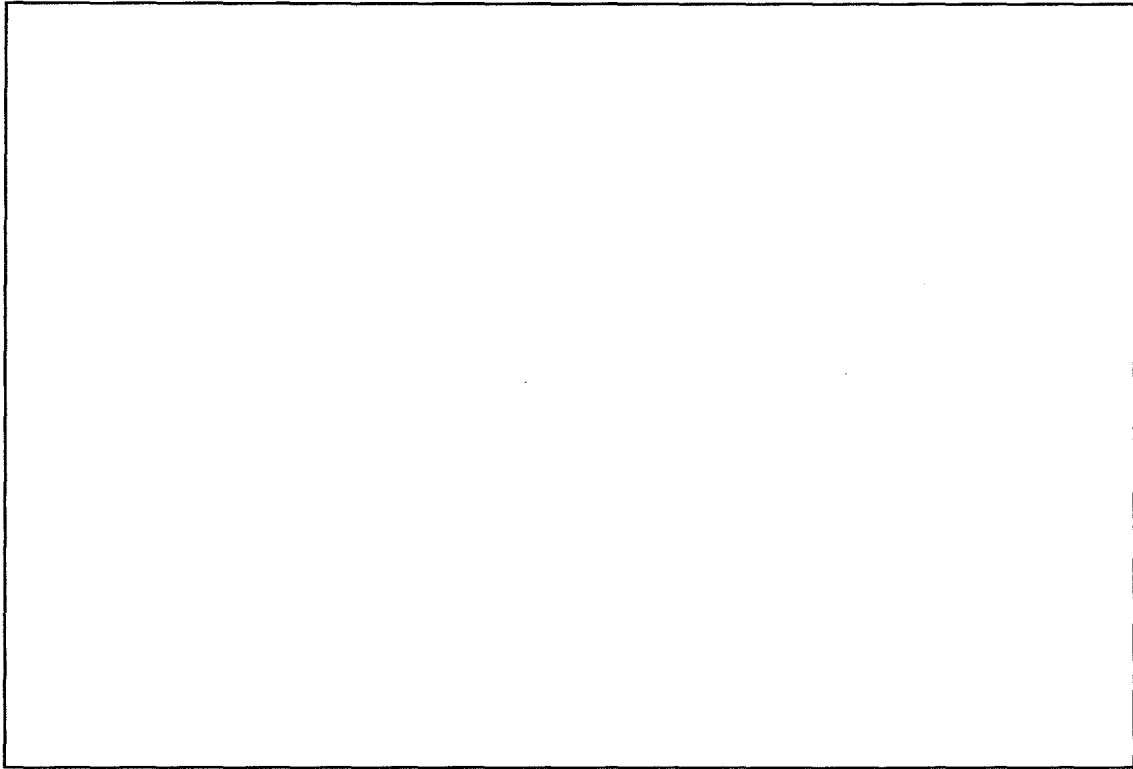
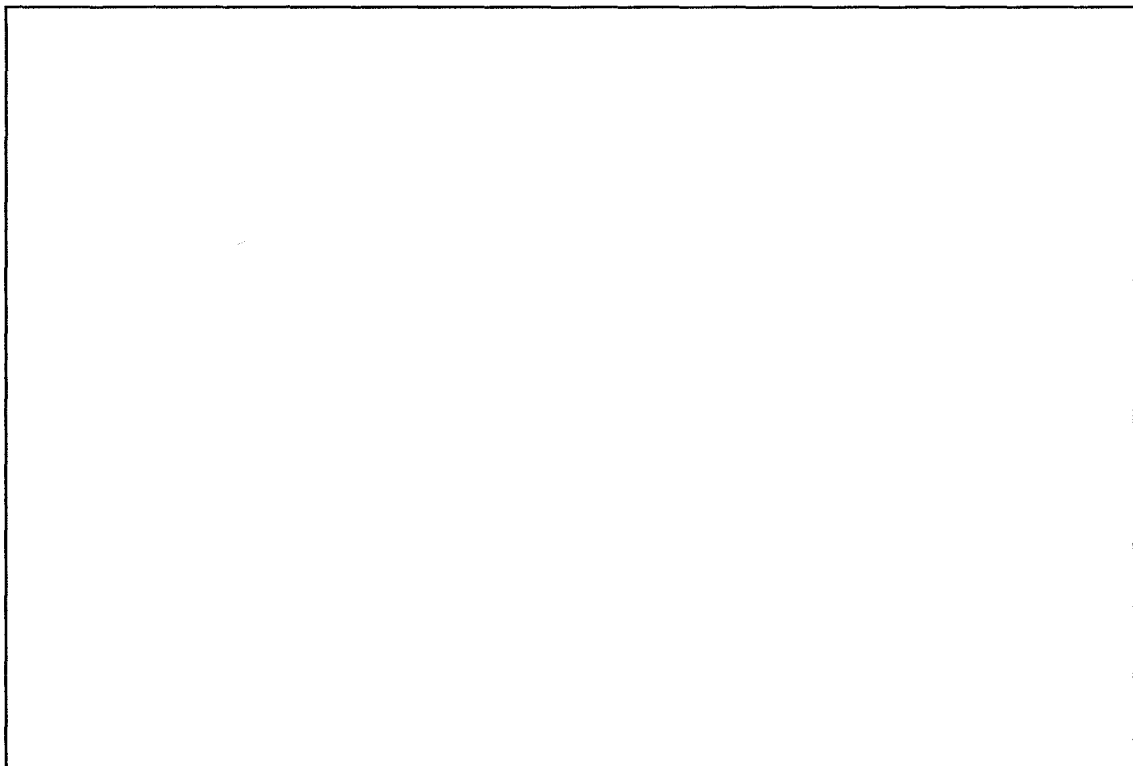


Photo 12 – La conduite d'eau – Côté aval



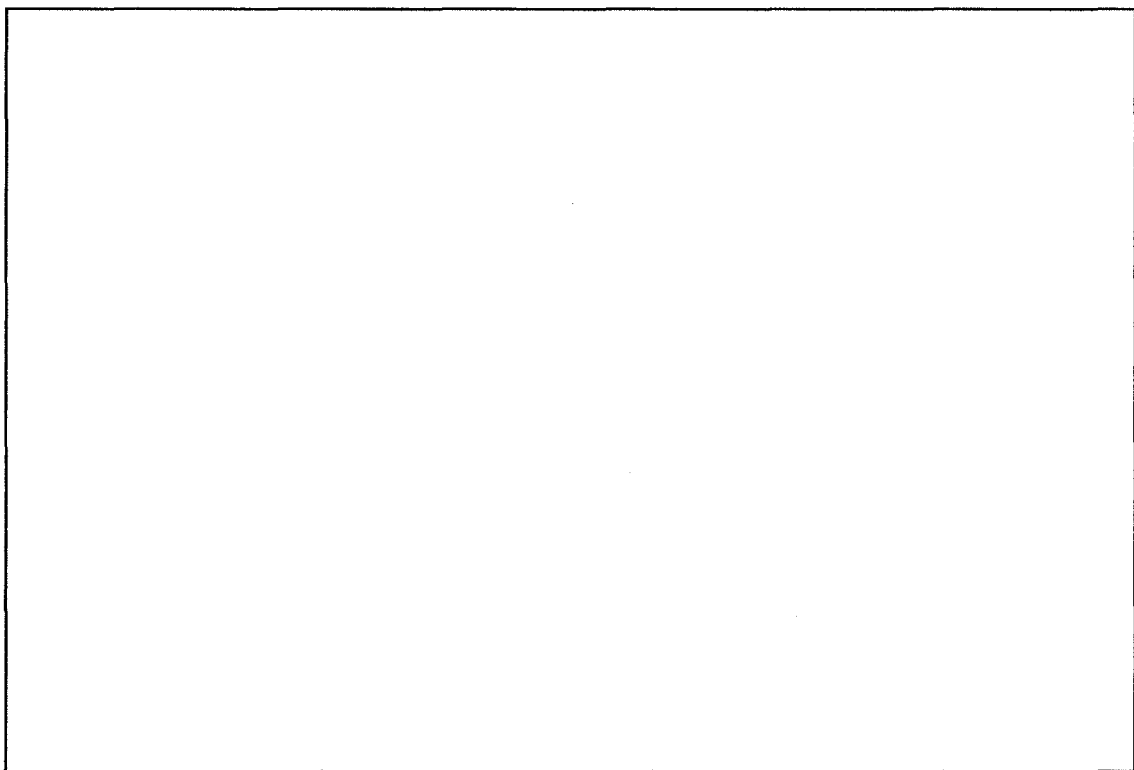
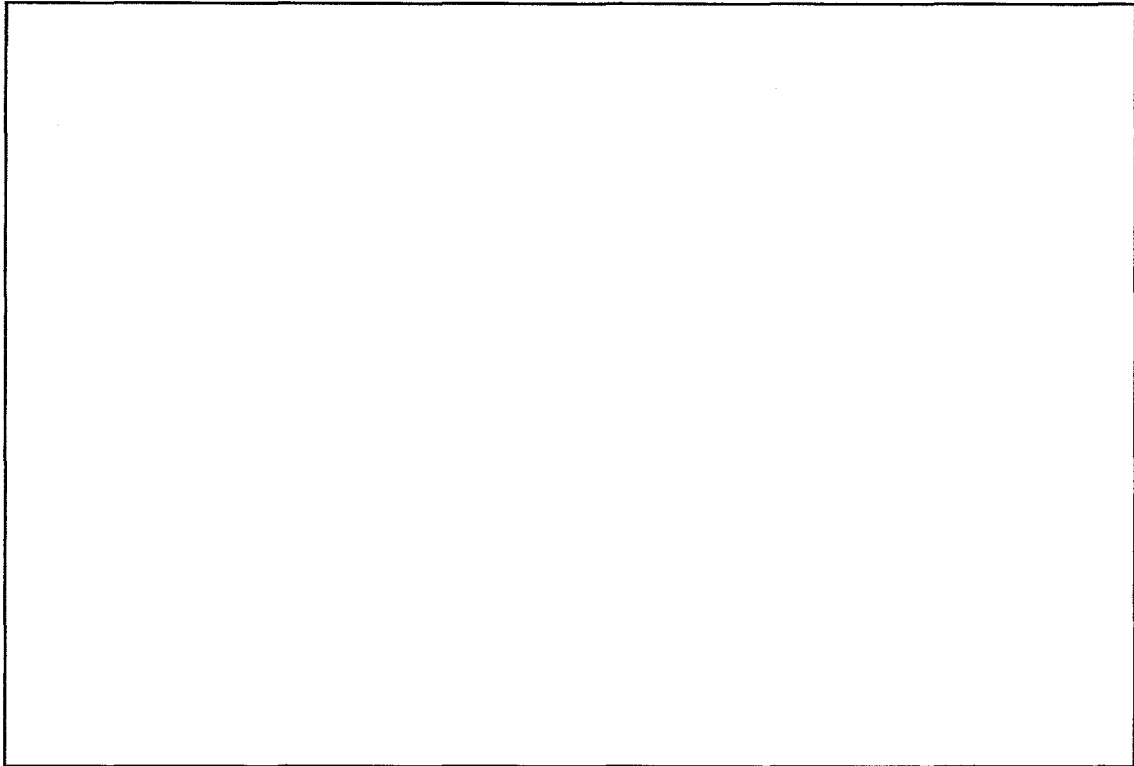
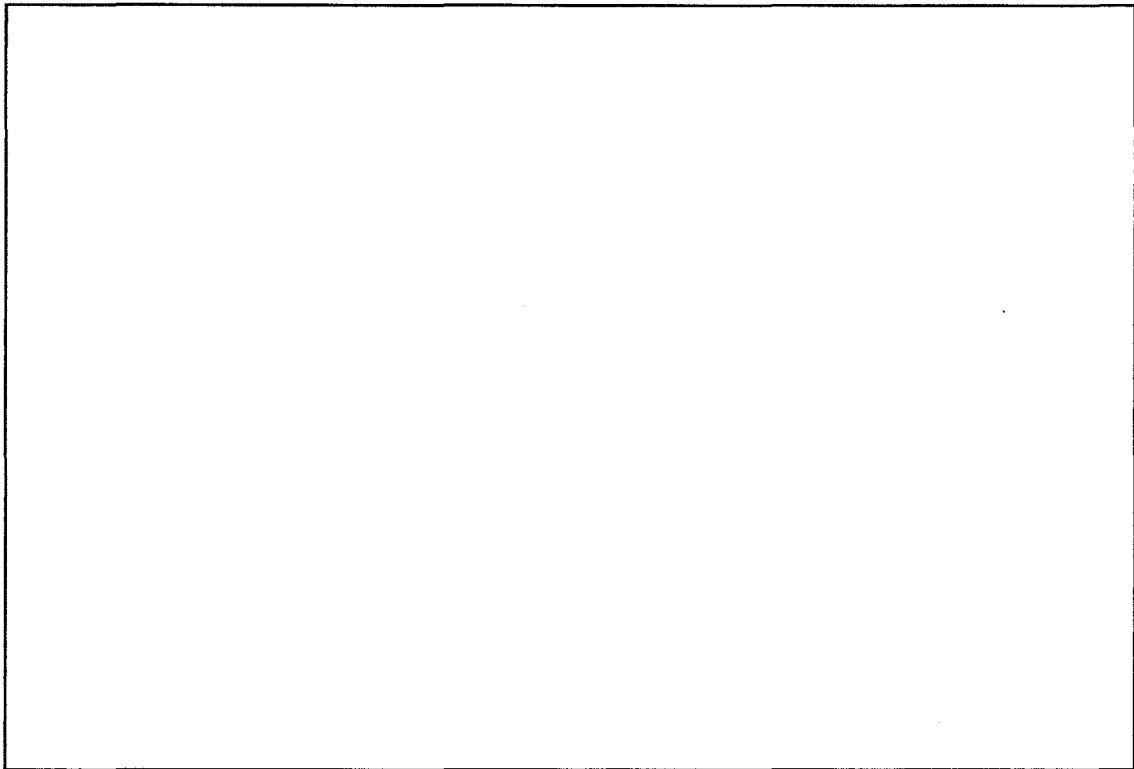
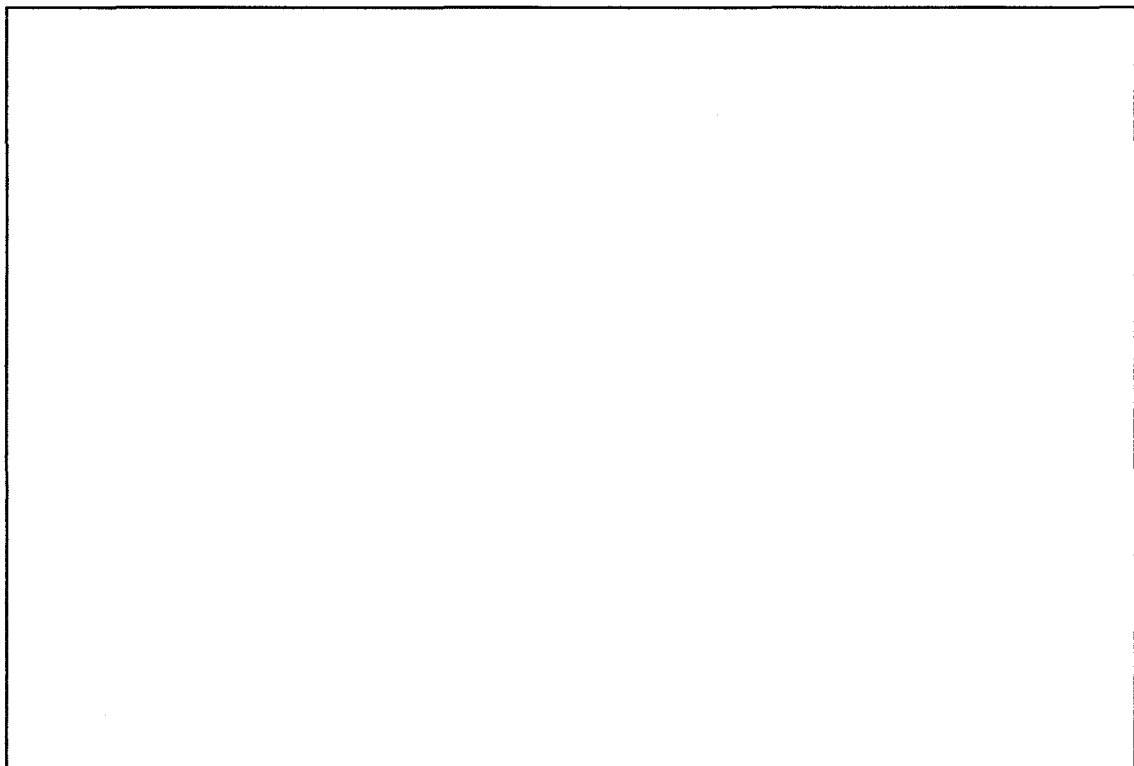


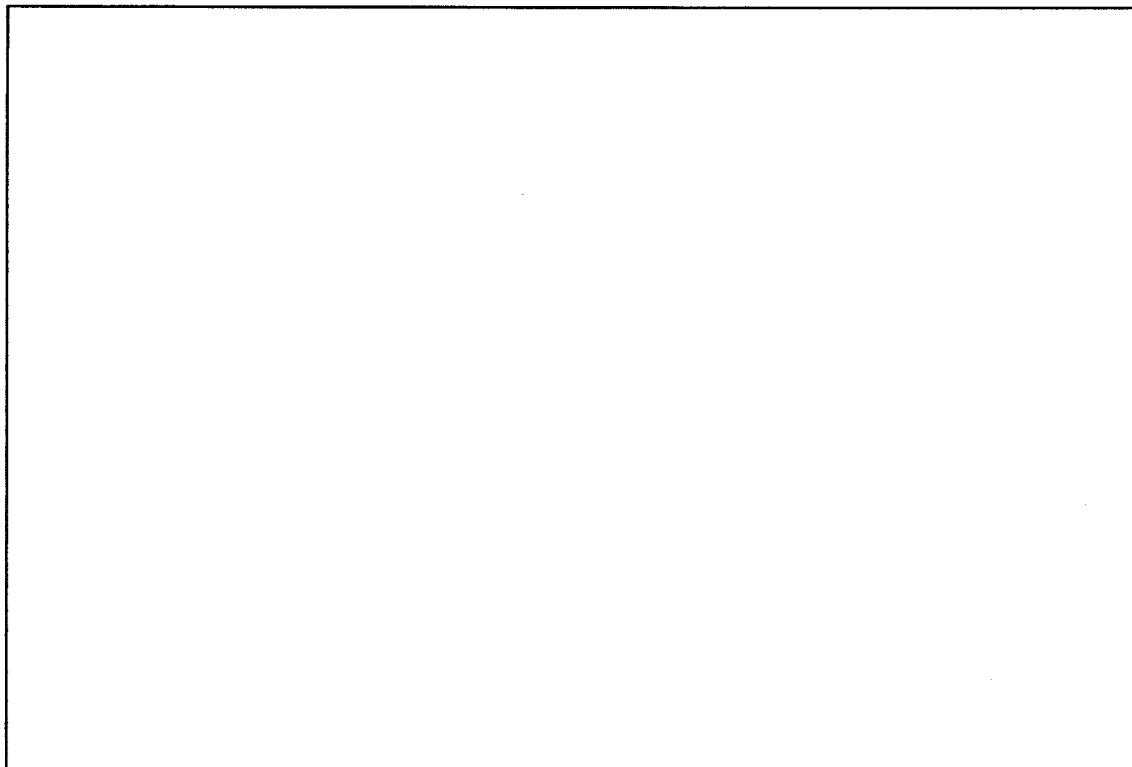
Photo 13 – La travée tournante vue de l'aval



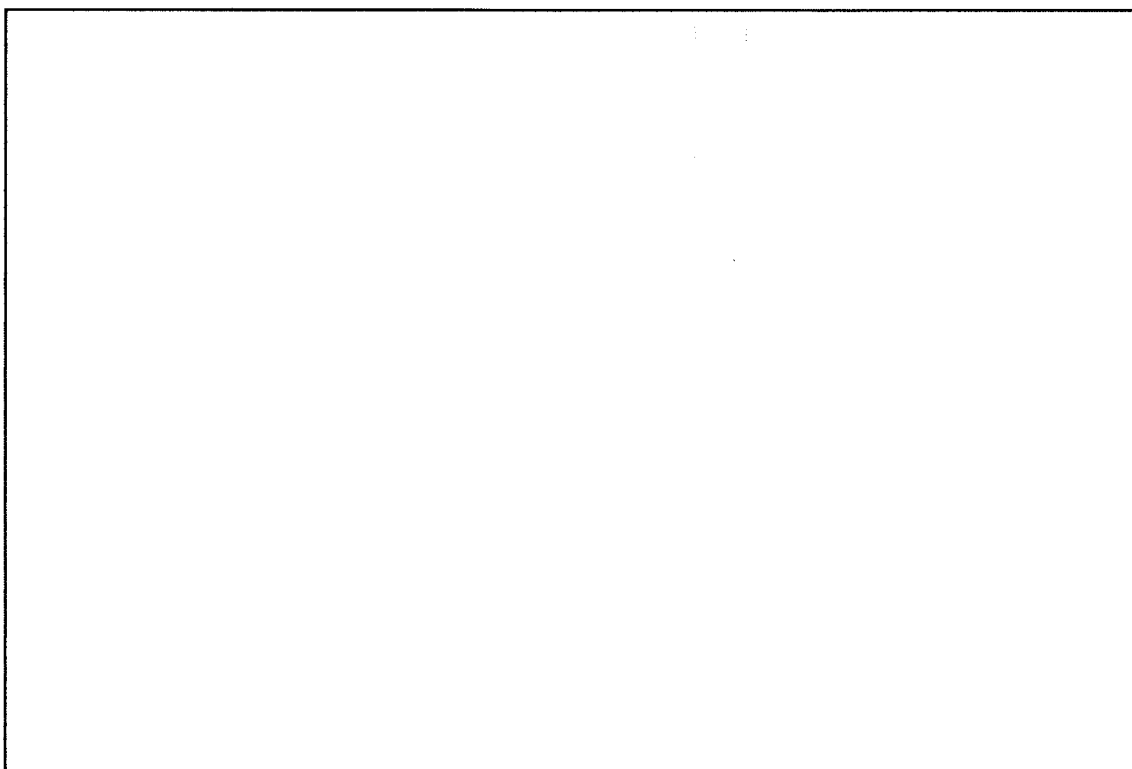
**Photo 14 – Absence de butée mécanique en extrémité de la crémaillère circulaire**



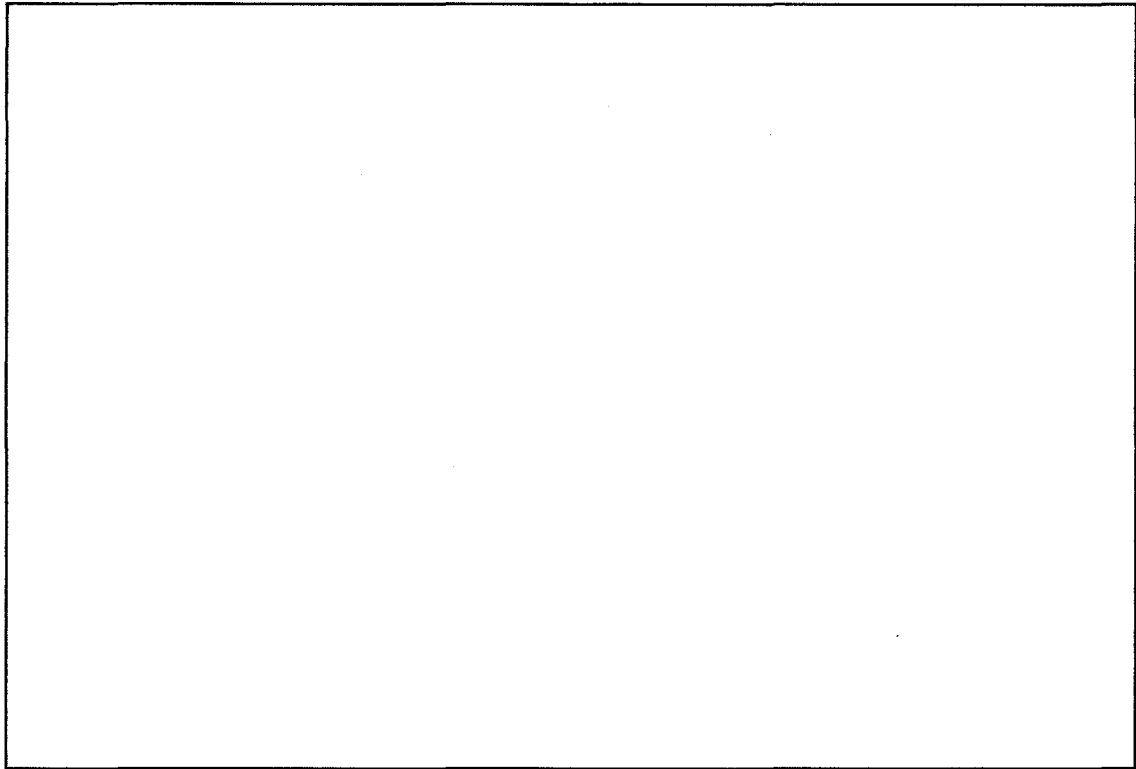
**Photo 15 – Travée mobile – Pile centrale circulaire autour de laquelle une passerelle circulaire doit être scellée pour faciliter la maintenance du manège à galets**



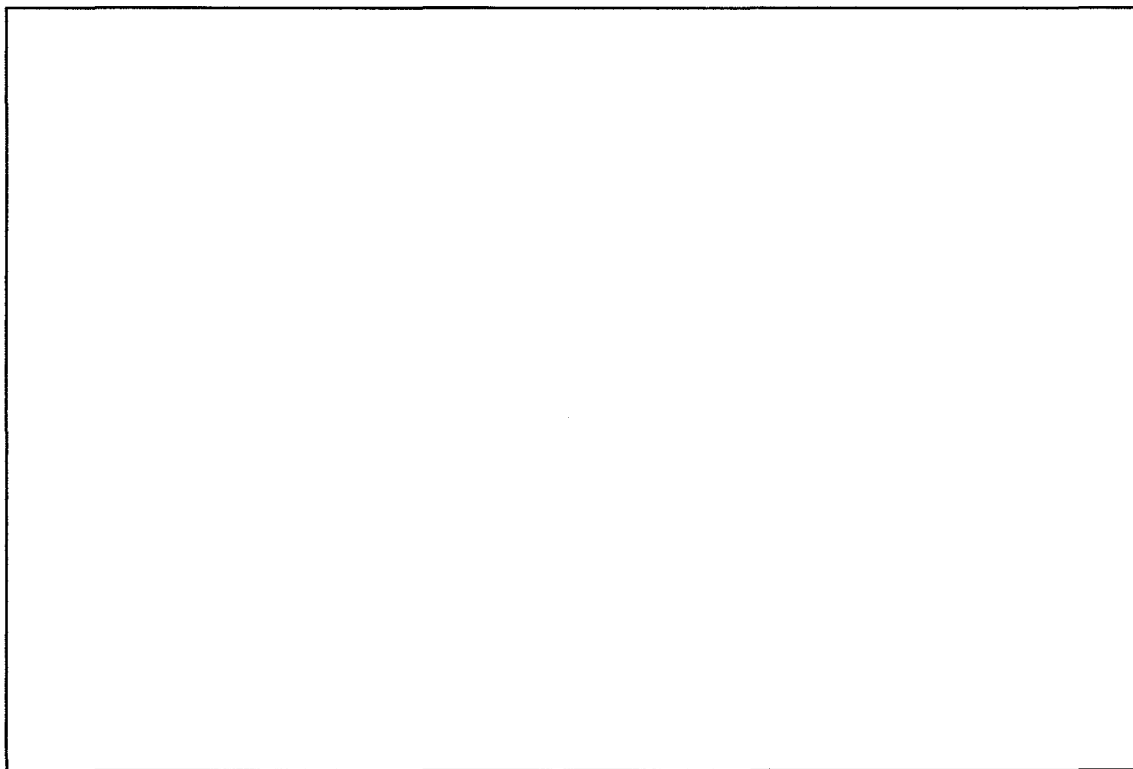
**Photo 16 – Crémaillère circulaire sur la pile centrale**



**Photo 17 – La travée mobile – Les membrures exposées aux vents dominants du nord-ouest sont à remplacer**



**Photo 18 – Sur la travée mobile  
La conduite d'eau qu'il faut déconnecter aux deux extrémités avant chaque  
manœuvre d'ouverture**



**Section V**

**Aspects juridiques et institutionnels**

## Section V

### Aspects juridiques et institutionnels

*Le texte qui suit est le compte-rendu synthétique de la mission en Afrique de l'Ouest de l'expert en charge des aspects juridiques et institutionnels, mission effectuée entre la fin septembre et le début octobre 2002. Cet expert prépare actuellement un projet de code de navigation pour le fleuve Sénégal, projet qui figurera dans le prochain rapport.*

Dans le cadre de la mise en valeur du fleuve Sénégal, le développement de la navigation y est envisagé. A cette fin, les règles afférentes à cette activité devraient être regroupées dans un code s'appliquant sur l'ensemble du fleuve et de ses affluents.

En vue de réaliser un tel projet, une analyse de la situation institutionnelle est nécessaire au préalable. L'objet de la mission en Afrique de l'Ouest consistait à recueillir toutes les informations pertinentes ainsi que les textes utiles pour mener à bien ce projet de code.

Le bon déroulement de la mission a été facilité grâce à la contribution particulièrement efficace de M. Abdoul BA, conseiller juridique auprès du Haut Commissaire de l'Organisation pour la Mise en Valeur du Fleuve Sénégal.

L'essentiel de la mission s'est déroulé à Dakar, un bref voyage a eu lieu en Mauritanie pour y rencontrer le directeur de la marine marchande et le conseiller juridique du port autonome de Nouakchott.

En raison du naufrage du ferry "Joola" au début de la mission, il n'a été possible de rencontrer à Dakar que le chef du bureau de la sécurité maritime et de la gestion des flottes, cependant des entretiens particulièrement enrichissants ont eu lieu avec deux juristes portuaires.

Divers textes ont été consultés :

- Convention du 11 mars 1972 relative au statut international du fleuve Sénégal.
- Convention du 11 mars 1972 relative au statut de l'Organisation pour la Mise en Valeur du fleuve Sénégal.
- Convention du 21 décembre 1978 relative au statut juridique des ouvrages communs sur le fleuve Sénégal.
- Convention du 12 mai 1982 relative aux modalités de financement des ouvrages communs.
- Convention du 7 janvier 1997 portant création de l'agence de gestion de l'énergie produite par le barrage de Manantali (SOGEM).
- Convention du 7 janvier 1997 portant création de l'agence de gestion et d'exploitation du barrage de Diama (SOGED).
- Le règlement intérieur de la commission permanente des eaux du 5 janvier 1978.

En outre, il a été pris connaissance d'un premier projet de code élaboré en 1986 sous l'égide de l'O.M.V.S. et du P.N.U.D.

En dehors des textes évoqués ci-dessus, la Mauritanie et le Sénégal disposent de législations maritimes (codes de marine marchande) applicables sur leurs territoires nationaux respectifs.

Pour la Mauritanie la limite des eaux maritimes se situe juste en aval du barrage de Diama, ce qui correspond à la frontière des eaux douces et salées, alors que pour le Sénégal cette séparation administrative se situe au port de Saint-Louis. Une harmonisation s'impose dans ce domaine.

Une attention particulière devra être portée sur le contenu du projet de code international de la navigation. En effet, les mesures ou prescriptions se rapportant aux activités économiques de transport devraient s'inscrire dans le cadre des conventions de l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (U.E.M.O.A.) du 10 janvier 1994, et de celles de l'Organisation pour l'Harmonisation du Droits des Affaires en Afrique (O.H.A.D.A.) du 17 octobre 1993, dont le Mali et le Sénégal sont signataires. Il y a lieu de tenir compte du fait que la Mauritanie n'adhère pas à ces deux conventions.

Il semble par ailleurs que les autorités administratives tiennent beaucoup à leurs prérogatives. Le rapport d'étude devra prendre en considération cette préoccupation, en soulignant que le projet de code ne devrait pas réduire ces prérogatives, mais changer la nature de certaines d'entre elles. Au lieu de préparer les textes au niveau national, les administrations dans les trois Etats participeront à une œuvre collective, conçue dans l'intérêt de chacun des Etats.

En toute hypothèse des compétences nationales devraient subsister, comme l'exercice de la police et de la justice, l'intervention des secours, le contrôle de la sécurité des navires et bateaux, etc. Des prescriptions nationales pourront compléter les dispositions du code.

Il est constaté qu'il n'existe pas de dispositions particulières concernant la navigation fluviale, il faudra les envisager en les conciliant avec les règles du droit maritime susceptibles de s'appliquer sur la partie fluviale du cours d'eau.

En tout état de cause, il est apparu souhaitable de concevoir le rapport d'étude à travers les aspects purement juridiques, les considérations et avis des personnes consultées étant pris en compte sans que celles-ci soient expressément nommées.

Le Consultant propose que le projet de rapport qui suivra, ainsi qu'un avant-projet de code soient soumis pour avis à chacun des Etats concernés, ceux-ci étant ensuite libres de consulter l'ensemble des administrations intéressées par la navigation sur le fleuve.

Sur le plan institutionnel, il est à noter que les trois Etats adhèrent à l'Accord de Lomé concernant les relations entre l'Union européenne et les Etats A.C.P. (Afrique, Caraïbes, Pacifique).

\* \*  
\*