

TABLE DES MATIERES

- ANNEXE 1 RAPPORT SUR LES RECONNAISANCES DU SOL
- ANNEXE 2 RAPPORT SUR LES ENQUETES HYDRAULIQUES
- ANNEXE 3 RAPPORT TOPOGRAPHIQUE
- ANNEXE 4 RAPPORT DE GENIE CIVIL
- ANNEXE 5 INSTALLATIONS PORTUAIRES, MANUTENTION DES MARCHANDISES
ET TRAFIC MARITIME A DAKAR, KAOACK, NOUAKCHOTT,
SAINT LOUIS ET AUX ESCALES DU FLEUVE SENEGAL
- ANNEXE 6 TERMES DE REFERENCE DU CONTRAT

ANNEXE 1

RAPPORT SUR LES RECONNAISANCES DU SOL

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	A1-1
2. RECONNAISSANCES SUR PLACE ET ESSAIS EN LABORATOIRE	A1-2
2.1 Sondages	A1-2
2.2 Essais de pénétration	A1-2
2.3 Forages par injection d'eau	A1-3
2.4 Essais en laboratoire	A1-3
3. GEOLOGIE REGIONALE	A1-4
4. CONDITIONS DE FONDATION	A1-6
5. CARACTERISTIQUES DES SOLS	A1-7
5.1 Argile	A1-7
5.2 Sable	A1-8
5.3 Couche d'argile sableuse et de sable argileux à 8 mètres de profondeur.	A1-8

LISTE DES PLANS *

<u>N°</u>	<u>TITRE</u>
101	Plan
102	Coupe Géologique de Principe
103	Essais de Pénétration n°s 1 - 10
104	Essais de Pénétration n°s 11 - 19
105	Essais de Pénétration n°s 20 - 29
106	Essais de Pénétration n°s 30 - 33
107	Sondages n°s LB1 - LB3
108	Sondages n°s LB 23, 24, 25, 26, 8, 17
109	Sondages exécutés en 1930-31 près du pont Faidherbe
110	Forages par injection d'eau
111	Forages par injection d'eau

* Les plans sont inclus à la fin de l'Annexe n° 1

1. INTRODUCTION

Les études de sols décrites dans ce rapport ont été exécutées du 25 juillet au 25 août 1971.

Avant d'entreprendre les enquêtes sur le terrain, nous avons fait l'analyse des données géologiques et rapports techniques qui portent sur la région qui nous occupe.

Nous avons exécuté, au cours de la période mentionnée plus haut, 8 sondages, 33 essais de pénétration, 34 forages par injection d'eau et un essai de cisaillement. On verra sur le plan n° 101 les positions des divers forages et sondages. Les positions des forages par injection d'eau sont montrées sur les plans n° 110 et 111. A chacun des forages, des échantillons ont été prélevés pour examen et essais en laboratoire. Des essais de cisaillement ont été réalisés dans certaines des couches d'argile mises à jour dans cinq trous de sondage.

2. RECONNAISSANCES SUR PLACE ET ESSAIS EN LABORATOIRE

2.1 Sondages

Les sondages nos LB1, LB2 et LB3 ont été exécutés à l'aide du tubage usuel, alors que les sondages LB23, LB24 et LB25 ont été exécutés au pénétromètre, de manière à prélever des échantillons de la couche superficielle molle.

Lorsque les essais de pénétration étaient exécutés dans le fleuve sous une hauteur d'eau de 4 à 5 mètres et au travers de plusieurs mètres de matériaux plastiques non consolidés du fleuve, il nous a fallu les réaliser à l'intérieur de tubages, afin de prévenir une flexion trop forte des tiges de sondage. C'est ainsi que pour les sondages n°s LB23, LB24 et LB25, le tubage a été enfoncé à travers 4 mètres de matériaux mous qui constituent le lit du fleuve, jusqu'à ce que l'on atteigne des couches plus fermes. Ensuite, les tiges de sondage ont été descendues dans le tubage et les sondages se sont poursuivis jusqu'à ce qu'on ait atteint un fond solide.

Après l'exécution des sondages et le retrait des tiges, le tube a été retiré, rempli des matériaux prélevés à même le lit du fleuve; nous avons ainsi obtenu des échantillons des matériaux mous non-consolidés trouvés dans la presque totalité de la région étudiée.

2.2 Essais de pénétration

Le sondage au pénétromètre est une méthode de pénétration mise au point par le Comité géotechnique des chemins de fer de Suède. Cette méthode prévoit l'usage d'une tige en acier d'un diamètre de 20 mm, dotée d'une pointe filetée dont le diamètre est une fois et demie plus grand que celui de la tige; cette sonde est enfoncee dans le sol sous une charge statique et, au besoin, d'une rotation de la tige. On note d'abord la pénétration sous des charges statiques successives de 12.5, 25, 50 et 100 kg. Enfin, on fait tourner la tige sur elle-même sous la charge finale de 100 kg, et l'on prend note du nombre de demi-tours de la tige pour chaque 20 cm de pénétration. Plus le sol est rigide et compact, plus il faudra de tours pour réussir à le pénétrer.

Comme cette méthode est employée couramment dans les pays scandinaves, on y a acquis une grande expérience dans l'interprétation de ce genre de sondage. Normalement, les diagrammes des pénétrations sont comparés avec les résultats des autres travaux et "étalonnés", notamment avec les coupes du sol obtenues par les forages. Cette méthode permet de réduire sensiblement le nombre des forages.

Lorsque le nombre de demi-tours "R", pour 20 cm de pénétration, est plus élevé que 10, on peut généralement en conclure que les conditions du sol conviennent pour des empattements isolés. Les pieux doivent habituellement être enfoncés à un niveau où "R" est supérieur à 70 ou 80. Ces règles doivent néanmoins être appliquées avec discernement, car les facteurs qui jouent sur les résultats des sondages peuvent être multiples.

2.3 Forages par injection d'eau

Les forages par injection d'eau ont été exécutés à l'aide d'un tube vertical que l'on faisait pénétrer dans le sol en même temps que l'eau était pompée dans ce tube. Dans le cas présent, le tube avait un diamètre d'un pouce et le débit d'eau était d'environ 100 l/minute.

Un tube plus petit, de 1/2 pouce de diamètre, est monté le long du tube principal, et l'on aspire à la surface par ce petit tube les échantillons qui sont prélevés des couches de sol pénétrées.

2.4 Essais en laboratoire

Les matériaux ramenés à la surface par les trous de sondage ont été examinés et décrits sur place. Un grand nombre d'échantillons fut conservé pour un examen plus approfondi et des essais en laboratoire.

La teneur naturelle en eau de la presque totalité des échantillons d'argile a été déterminée. En outre, les limites d'Atterberg ont été établies pour 6 échantillons d'argile.

Le poids spécifique des solides a également été établi sur deux échantillons.

Enfin, deux essais de consolidation ont été réalisés, dans le but d'obtenir des données sur la compressibilité des matériaux argileux. Comme les essais ont été exécutés sur des échantillons remaniés, les résultats obtenus ne devront servir qu'à l'analyse préliminaire de tassement. Certains échantillons prélevés par injection d'eau ont servi à déterminer la distribution granulométrique des sédiments fins.

3. GEOLOGIE REGIONALE

La ville de Saint-Louis est construite dans la partie méridionale du delta du Sénégal.

Le terrain est plat sur de grandes distances, mais son uniformité est brisée par des dunes dont l'origine géologique, la hauteur, la couleur, l'orientation et la stabilité diffèrent. Le niveau du terrain exploré se situe entre +0.5 m et + 2.0 m.

Le delta, dont la formation remonte à l'ère Quaternaire, s'avance environ 200 km vers l'intérieur. Dans la région de Saint-Louis, les apports de l'ère Tertiaire se retrouvent à une profondeur de quelque 50 mètres. Les sédiments quaternaires sus-jacents se présentent en couches superposées ayant plusieurs mètres d'épaisseur; elles sont formées d'argile et de sable fin, entremêlés de couches de sable durci et de fragments de coquillages, dénommés "beach-rock" (lumachelle). On estime que ces sédiments remontent au Quaternaire moyen et inférieur, bien que leur stratigraphie ne soit pas encore connue. Des couches supérieures appartenant à cette série ont été relevées dans 3 forages (LB1, LB2 et LB3) ainsi que dans tous les forages exécutés au pont Faidherbe et autres sondages dans la partie méridionale du delta.

On trouve au-dessus de ces sédiments compacts et partiellement pétrifiés une quinzaine de mètres d'apports deltaïques récents qui remontent à la fin de la période supérieure du Quaternaire. Selon certaines datations radioactives, ces couches n'auraient pas plus de 5,000 ans.

Comme le delta était à l'origine une baie longue et étroite s'avançant à quelque 200 km vers l'intérieur, les sédiments déposés dans le delta proviennent à la fois de la mer et de l'estuaire. Le sable marin qu'on retrouve en abondance dans les fragments de coquillages alterne avec le sable fin, le limon et une argile plastique et visqueuse déposés dans des lagunes calmes et bien protégées.

On peut mentionner comme exemple type de ce genre de sédimentation, la présence de nombreuses inclusions de sable dans le forage n° LB2. Il nous faut également souligner le sable mélangé de coquillages qui repose sur l'argile très molle du forage n° LB17, ainsi que les 6 mètres de sable marin clair du forage n° LB3, qui proviennent de la "toute jeune" Langue de Barbarie, et qui reposent sur des sédiments deltaïques limoneux et de couleur sombre.

A d'autres endroits, tel qu'au sondage n° 26, on trouve près de 8 mètres d'argile limoneuse très molle sans aucune inclusion d'origine marine. On s'attend à rencontrer des conditions similaires dans le fleuve, ainsi que l'illustrent le forage n° LB1, les sondages n°s 5, 23, 24 et 25 et les forages par injection d'eau, dans lesquels on n'a relevé que de minces couches de sable.

Il est une caractéristique commune à presque toute la région explorée, soit une couche ferme de 2 à 3 mètres d'épaisseur que l'on retrouve dans les 15 premiers mètres de sédiments. Dans la plupart des sondages de pénétration, comme on le verra aux plans n°s 103, 104 et 105, cette couche, située entre 8 et 11 mètres de profondeur, se décèle facilement car elle offre une résistance nettement accrue aux sondages. La plupart des sondages qui font partie de la série n°s 1 à 17 se sont arrêtés à cette couche. Les sondages portant des numéros plus élevés (dessin n° 105) ont pénétré cette couche et l'on a pu ainsi déterminer son épaisseur. Les forages n°s LB1 et LB2 indiquent que cette couche est composée de sable argileux ou d'argile sableuse. Dans les deux cas, ces sédiments se distinguent par la présence de nombreux fragments de coquillages.

Sous cette couche très résistante, on découvre un lit d'argile molle et de sable non tassé qui n'offre qu'une faible résistance aux sondages. Les matériaux qui constituent cette couche sont un peu plus consolidés que ceux de la couche superficielle qui couvre les premiers 8 mètres de la surface du sol.

On remarque également, à une profondeur de 13 à 15 mètres des dépôts compacts de "beach-rock" qui remontent au Quaternaire moyen ou inférieur.

4. CONDITIONS DE FONDATION

Dans la région explorée sur le côté est du fleuve, les principales caractéristiques de la coupe du sol, illustrées sur le plan n° 102, sont définies ci-après.

En partant de la surface du sol, dont le niveau se trouve généralement à la cote 0.6m, et jusqu'à une profondeur d'environ 8 mètres, on trouve une suite de couches superposées d'argile molle, de sable et d'argile sableuse. Dans l'ensemble, cette série est sans consistance et n'offre qu'une résistance faible ou même très faible aux sondages. On rencontre cependant quelques couches plus fermes. Dans certaines régions, notamment dans le lit du fleuve, les couches de sable sont presque inexistantes, de sorte que dans une hauteur d'eau de 3 à 4 mètres, la couche superficielle du lit est constituée uniquement de 4 à 5 mètres d'argile ou d'argile limoneuse. De 8 à 11 mètres sous la surface du sol, on rencontre une couche compacte d'argile sableuse, de sable compact et de sable argileux qui présente une forte résistance aux sondages.

Cette couche repose sur une strate de 2 à 4 mètres d'épaisseur composée de sédiments argileux mous qui ressemblent à ceux des 8 mètres superficiels, sauf leur degré de consolidation qui est plus élevé.

A une profondeur de 13 à 15 mètres, les sédiments deltaïques reposent sur du sable marin clair souvent consolidé sous la forme dite "beach-rock".

Cette couche se retrouvait, dans le forage n° LB1, jusqu'à une profondeur de -16.8 mètres, soit à l'endroit où le forage s'est arrêté. Dans les forages effectués près du pont Faidherbe, cette couche n'avait pas été pénétrée à une profondeur de -17.8 mètres.

Sur la rive droite du fleuve, soit sur la Langue de Barbarie, la coupe du sol diffère de la description précédente en ce que les 8 mètres supérieurs sont formés principalement de sable de plage clair, dont les couches inférieures sont plutôt compactes. Les parties plus profondes de cette coupe sont similaires à celles qui ont été décrites précédemment, mais leurs caractéristiques sont moins marquées, comme on peut le remarquer aux plans n°s 105 et 106 illustrant les sondages n°s 28, 29, 30 et 33, et au plan n° 107 qui montre le sondage n° LB3.

5. CARACTERISTIQUES DES SOLS

5.1 Argile

La résistance non drainée au cisaillement de la couche superficielle d'argile plastique et d'argile silteuse ne dépasse pas 3 t/m² et varie entre 1 et 2 t/m² sur presque toute la longueur de la coupe, suivant les résultats obtenus des essais scissométriques. Les couches supérieures de sédiments argileux et silteux que l'on trouve dans le lit du fleuve sont tellement plastiques qu'il n'est pas possible d'en mesurer la résistance au cisaillement.

La couche argileuse qui est située sous le lit compact rencontré de 8 à 11 mètres de profondeur présente une résistance au cisaillement de 5 à 7 t/m².

La teneur en eau des sédiments argileux et silteux varie entre 30 et 75 pour cent du poids sec du sol. Dans la plupart des échantillons, la teneur en eau dépasse 40 pour cent.

L'indice des vides varie entre 0.8 et 2.15, suivant la teneur en eau de l'échantillon, la moyenne se situe à 1.2. Le poids spécifique des solides qui a servi à établir l'indice des vides est de 2.70 t/m³ ce qui représente la moyenne des deux valeurs obtenues dans les essais en laboratoire, soit 2.68 t/m³ et 2.73 t/m³.

L'indice de compression C_c déterminé par les essais de consolidation est de 0.25 pour l'échantillon 4a du sondage n° LB24, et de 0.45 pour l'échantillon n° 6 du sondage LB3. On a obtenu des résultats similaires pour l'indice de compression au moyen de formules empiriques fondées sur la teneur en eau et la limite de liquidité obtenues lors des essais en laboratoire. Il est, par conséquent, recommandé de supposer, dans les calculs préliminaires de tassement, que la valeur $C_c = 0.25$ est représentative des couches silteuses-argileuses ayant une teneur en eau d'environ 40 pour cent, alors que $C_c = 0.45$ doit se rapporter aux matériaux ayant une teneur en eau de quelque 60 pour cent.

On a aussi déterminé par des essais de consolidation le coefficient de compressibilité volumétrique m_v et le coefficient de consolidation c_v . Pour l'échantillon 4a du sondage LB24, ces coefficients ont été calculés pour une intervalle de contrainte de 2 à 4 t/m²; pour l'échantillon n° 6 du sondage n° LB3, l'intervalle de contrainte était de 4 à 8 t/m².

Les valeurs obtenues sont les suivantes:

Echantillon	M_v	C_v
4a, LB24	$8 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{t}$	$3.23 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{sec.}$
6, LB3	$11 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{t}$	$7.34 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{sec.}$

5.2 Sable

En général, le sable est peu compact, notamment dans la partie supérieure de la coupe. A plus de profondeur, il devient plus compact, comme le démontrent les sondages réalisés sur la Langue de Barbarie.

Il n'y a eu aucun essai en laboratoire en vue de déterminer l'angle de frottement interne des couches de sable. Toutefois, pour les calculs préliminaires, il est suggéré qu'un angle de frottement $\emptyset = 32^\circ$ soit adopté pour le sable qui se trouve au-dessus de la couche rigide située à 8 mètres de profondeur.

Le sable sur lequel reposent les sédiments deltaïques d'origine récente diffère sensiblement de celui qui a été décrit précédemment. Les forages récents et antérieurs, de même que les sondages de pénétration révèlent que le sable est souvent d'un diamètre moyen ou gros, mélangé de graviers et de nombreux fragments de coquillages; il est compact et généralement pétrifié. L'angle de frottement de ces dépôts de sable peut être estimé à $\emptyset = 40^\circ$ pour les calculs préliminaires.

5.3 Couche d'argile sableuse et de sable argileux à 8 mètres de profondeur.

Cette couche s'est manifestée dans presque tous les sondages à la pointe chargée, par une résistance nettement accrue aux sondages. La teneur en eau des échantillons extraits de cette couche dans les forages LB1 et LB2 ne différait pas, toutefois, de celle de l'argile au-dessus ou sous elle. Dans le sondage LB3, cependant, la teneur en eau n'était que de 2 pour cent, ce qui représente la valeur minimale de tous les échantillons argileux prélevés dans cette région au cours des présentes études.

Il n'a jamais été possible au cours de nos sondages de faire pénétrer le scissomètre dans cette couche, d'où l'absence d'essais scissométriques. Toutefois, en se fondant sur la résistance aux sondages de cette couche et à l'apparence des échantillons prélevés, on peut estimer la résistance au cisaillement de cette couche entre 10 et 15 t/m^2 .

ANNEXE 2

RAPPORT SUR LES ENQUETES HYDRAULIQUES

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. INTRODUCTION	A2-1
2. CONCLUSIONS	A2-2
3. PROGRAMME DE RELEVES HYDROGRAPHIQUES	A2-6
3.1 Généralités	A2-6
3.2 Sondage des profondeurs d'eau	A2-7
3.3 Profils de la côte	A2-8
3.4 Echantillonnage du lit marin et fluvial	A2-9
3.5 Mesures de la houle	A2-9
3.6 Marégraphie	A2-9
3.7 Enregistrement continu des courants	A2-10
3.8 Profils de courants durant la période des marées	A2-10
3.9 Dosage des matières en suspension	A2-10
3.10 Répartition de la vitesse de précipitation	A2-11
3.11 Mesures de la salinité et de la température	A2-11
3.12 Observations météorologiques	A2-11
4. GEOGRAPHIE ET CONFIGURATION DU LIT DU FLEUVE	A2-12
4.1 Généralités	A2-12
4.2 La Langue de Barbarie et l'embouchure du fleuve	A2-13
4.3 Configuration du lit du fleuve	A2-14
4.4 L'embouchure du fleuve	A2-14
4.5 Profils de la côte et de la plage	A2-15
4.6 Matériaux du lit du fleuve	A2-16
4.7 Matériaux du lit de la mer	A2-17
5. METEOROLOGIE ET HYDRAULIQUE	A2-18
5.1 Généralités	A2-18
5.2 Météorologie	A2-18
5.3 Marées et niveaux d'eau	A2-20
5.4 Caractéristiques de la houle	A2-21
5.5 Courants marins	A2-23
5.6 Courants du fleuve	A2-24
5.7 Salinité et température	A2-28
6. TRANSPORT DE SEDIMENTS DANS LE FLEUVE	A2-29
6.1 Généralités	A2-29
6.2 Concentrations des matières en suspension	A2-29
6.3 Evaluation du transport annuel	A2-31
6.4 Sédimentation et flocculation	A2-31

TABLE DES MATIERES (suite)

	<u>Page</u>
7. TRANSPORT LITTORAL	A2-33
7.1 Généralités	A2-33
7.2 Le transport littoral, déterminé d'après les modifications topographiques	A2-33
7.3 Le transport littoral, déterminé d'après l'énergie cinétique de la houle	A2-33
8. PLAN D'ENSEMBLE DE LA JETEE	A2-36
8.1 Généralités	A2-36
8.2 Volume du réservoir	A2-38
8.3 Principes de conception de la jetée	A2-39
8.4 Hauteur de la houle d'étude pour les ouvrages de la jetée	A2-41
9. VITESSE DE SEDIMENTATION DANS LE PORT	A2-43
9.1 Projets de port fluvial	A2-43
9.2 Projets de port côtier	A2-45
10. REFERENCES	A2-46

LISTE DES FIGURES ET DES PLANS*

No.

- A2-1 Fréquences des profondeurs sur la barre
- A2-2 Précipitation et vents
- A2-3 Marées et niveau moyen de l'eau
- A2-4 Répartition cumulative des hauteurs significatives de la houle
- A2-5 Extrêmes journaliers du courant
- A2-6 Matières en suspension
- A2-7 Vitesses de précipitation
- A2-8 Jetée
- A2-9 Protection du bord

- 201 Plan général
- 202 Photos aériennes
- 203 Sondages du fleuve
- 204 Sondages de la mer
- 205 Profils de la côte
- 206 Echantillons du lit du fleuve
- 207 Echantillons du lit de la mer
- 208 Statistiques du vent
- 209 Courant littoral - 10.08.71
- 210 Courant littoral - 5.08.71
- 211 Courant littoral - 18.08.71
- 212 Courant littoral - 23.07.71
- 213 Courant, matières en suspension - 7.07.71
- 214 Mesure continue du courant - 1.07.71 - 10.07.71
- 215 Courant, matières en suspension - 30.07.71
- 216 Mesure continue du courant - 7.08.71 - 16.08.71
- 217 Courant, matières en suspension - 9.08.71 - 10.08.71
- 218 Courants dans le petit bras
- 219 Débit fluvial
- 220 Salinité
- 221 Matières en suspension - 2.08.71
- 222 Matières en suspension - 25.08.71
- 223 Matières en suspension - 21.09.71
- 224 Jetée et chenal

* Les figures et les plans sont inclus à la fin de l'annexe 2, à l'exception des plans No 203 et 204, qui sont placés dans une pochette.

1. INTRODUCTION

Ce rapport sur les études hydrauliques qui ont été faites en vue d'installations portuaires à Saint-Louis, au Sénégal, contient un compte rendu détaillé des études réalisées pendant l'été 1971 dans l'estuaire du Sénégal et dans la mer qui s'étend au large de la Langue de Barbarie; il contient aussi l'analyse subséquente et les conclusions relatives à certains aspects du génie hydraulique.

Ces études avaient pour but d'approfondir la connaissance des conditions hydrauliques de la région où l'on se propose d'ériger les installations portuaires de Saint-Louis, y compris le sondage des profondeurs marines, la détermination des niveaux d'eau et des caractéristiques des courants, de la houle, des fonds marins et transport de sédiment. Cette documentation servira de base à des études d'aménagements portuaires et à l'évaluation des problèmes de sédimentation et d'entretien du fond marin.

On se propose de continuer à faire des relevés houlemétriques cet hiver dans le but d'en verser les résultats dans le rapport final qui sera présenté sur la présente étude.

Le point de repère utilisé pour les sondages et les niveaux d'eau dont il est question dans ce rapport est le zéro IGN qui correspond à peu près au niveau moyen de la mer. Les coordonnées horizontales des plans de sondages s'appliquent au système local de Saint-Louis.

2. CONCLUSIONS

Profondeur de l'eau

On a constaté après étude que la profondeur de la mer au large de la Langue de Barbarie est passablement uniforme. Le profil côtier jusqu'à une profondeur d'environ dix mètres est en pente rapide et se remarque par la présence d'une barre en été et probablement de deux barres en hiver. Les profondeurs semblent stables, sauf dans la partie qui entoure l'embouchure du fleuve où les conditions changent continuellement.

Dans l'estuaire, une comparaison avec les cartes antérieures indique que les profondeurs de l'eau sont stables dans la partie nord. Pour la région nord, longue de six km, sise au sud du pont Faidherbe, la profondeur maximale de la coupe transversale est partout supérieure à 6.8 mètres. Au sud de cette région, on observe plusieurs seuils peu profonds.

A l'embouchure du fleuve, le fond marin est très instable; la profondeur mesurée en travers de la barre varie entre 2 et 5 mètres à marée haute, et a une valeur moyenne de 3.3 mètres.

Marées

Dans la mer, les fluctuations de niveau sont déterminées exclusivement par les marées astronomiques. L'amplitude de la marée s'établit approximativement comme suit:

Maximum	1.8 m
Moyenne des vives eaux	1.2 m
Moyenne des mortes eaux	0.6 m

Dans l'estuaire de Saint-Louis, le niveau de l'eau varie avec la marée et l'affluence des eaux du fleuve. Le niveau moyen est de 0.27 mètre au-dessus de la cote IGN, et 90 pour cent du temps, le niveau fluctue entre -0.21 et +0.81. Le niveau le plus élevé qu'on ait enregistré est de +1.35 m.

Courants

Dans la mer, les courants sont presque toujours orientés vers le sud avec des vitesses de 0.15 à 0.30 m/s au large de la zone des brisants. Dans la zone de déferlement, les brisants engendrent un puissant courant littoral dont la vitesse en direction sud dépasse parfois 0.80 m/s.

Dans l'estuaire, la vitesse des courants dans les deux sens atteint sa valeur maximale lors des marées de vives eaux, soit environ 0.45 m/s durant la saison sèche. Durant la saison des pluies, les courants descendants dominent entièrement avec des vitesses maximales en 1971 d'environ 1.10 m/s. On estime que des vitesses extrêmes d'environ 1.95 m/s peuvent se produire. Le débit du fleuve s'accroît d'ordinaire vers la mi-juillet, culminant à la fin d'octobre. Au début de décembre, le débit du fleuve est presque nul.

Houle

Sur l'océan, la houle a des origines et des caractéristiques diverses. Les hautes lames, soulevées par les tempêtes du nord de l'Atlantique, ont une orientation moyenne, en eau profonde, d'environ 22° nord-ouest, des périodes de 8 à 16 s et une hauteur significative de 1.5 m; elles surviennent à une fréquence d'environ 1 pour cent par année et constituent le caractère dominant de la zone de déferlement. Des vagues plus petites à direction ouest, ayant leur origine plus au sud dans l'Atlantique viennent se superposer à cette houle. Les périodes de ces petites vagues sont de 5 à 10 s et leur hauteur significative est ordinairement inférieure à 0.8 m.

En saison de pluies, les vagues du fleuve sont engendrées par des rafales venant de l'est. Leur période est d'environ 2 secondes et leur hauteur significative de 0.3 m.

Transport de sédiment dans l'estuaire

En saison sèche, on n'observe pas de transport de sédiments dans le cours inférieur de l'estuaire. Dès le début de la saison des pluies, le transport de sédiments augmente rapidement. En 1971, ce transport a culminé à la fin d'août, puis il y a eu diminution malgré l'accroissement continu du débit du fleuve. En se fondant sur les mesures de 1971, on peut estimer l'importance du transport de sédiments à 900,000 tonnes par année.

Le sédiment est extrêmement fin, soit un grain d'environ 0.005 mm en moyenne et une vitesse de précipitation inférieure à 0.2 m/h. Ces sédiments sont beaucoup trop fins pour se déposer dans l'estuaire, mais vers la fin de la saison des pluies, la flocculation provoquée par la pénétration de l'eau salée peut entraîner une certaine sédimentation.

Transport littoral

Des calculs préliminaires fondés sur les relevés houlemétriques indiquent que le transport littoral vers le sud sur la côte de la Langue de Barbarie est de l'ordre de 900,000 m³ par année en moyenne. La plus grosse partie de ce transport, qui a lieu en saison sèche, a pour effet de repousser l'embouchure du fleuve vers le sud à raison de 535 m par année en moyenne.

Stabilisation de l'embouchure

La construction d'un port fluvio-maritime dans l'estuaire du Sénégal nécessitera une embouchure stable d'une profondeur suffisante pour permettre la circulation maritime à l'année. Les travaux nécessaires pour améliorer et stabiliser l'embouchure actuelle seraient dispendieux et la position actuelle de celle-ci n'est pas favorable. L'une des solutions envisagées est de percer une autre embouchure dans la Langue de Barbarie, cette fois protégée et stabilisée.

Afin d'empêcher que les sédiments littoraux ne se déposent dans cette nouvelle embouchure, il sera nécessaire de construire une longue jetée au nord de l'embouchure, et une plus courte au sud. Il est recommandé de commencer d'abord par construire une jetée de 800 mm de longueur du côté nord, puis de la prolonger à intervalles réguliers selon la vitesse de remplissage du réservoir ainsi créé au nord de la jetée. En recourant à des méthodes de construction appropriées, il est possible de veiller à ce que la profondeur de l'eau où la jetée est érigée ne dépasse guère 5 ou 6 m.

Le sable finira par s'infilttrer à travers la jetée, pour s'amonceler dans le chenal d'entrée. Il est estimé que de 200,000 à 300,000 m³ de sédiments devront être dragués chaque année.

Erosion en aval des jetées

La retenue de la majeure partie des sédiments littoraux du côté nord des jetées va entraîner une érosion considérable en aval, au sud de l'entrée. Au début, l'aire d'érosion devrait s'étendre de 3 à 5 km au sud de l'entrée, occasionnant une régression côtière atteignant un maximum de quelque 40 m par année. Cette zone d'érosion va s'accroître graduellement en longueur, cependant que le rythme de régression se fera plus lentement.

Sédimentation dans le port de l'estuaire

Des sédiments très fins provoqueront l'envasement dans la partie draguée du port, surtout à la fin de la saison des pluies.

Cet envasement se produira à raison de 0.15 à 0.3 m par année, nécessitant par le fait même un dragage d'entretien de 150,000 à 200,000 m³ par année pour un port situé à cet endroit.

Port côtier

La construction d'un port sur la côte nécessitera la construction d'une longue jetée du côté nord de ce port afin d'empêcher l'ensablement du chenal d'accès. La quantité de sable qui passera au bout de la jetée sera à peu près la même que dans le cas de la jetée à l'embouchure artificielle du fleuve. Cependant, en l'absence de l'effet de purge du fleuve, la sédimentation sera sensiblement plus importante, probablement de l'ordre de 250,000 à 350,000 m³ par année.

3. PROGRAMME DE RELEVES HYDROGRAPHIQUES

3.1 Généralités

Afin de pouvoir juger de la possibilité de construire un port de transbordement à Saint-Louis en toute connaissance de cause, il nous a paru nécessaire de mettre à jour la documentation hydrographique actuelle et de la compléter par des relevés exécutés sur place au cours des saisons sèches et humides.

Ces relevés hydrographiques comprenaient:

Dans le fleuve:

- 1) Sondage des profondeurs d'eau
- 2) Relevés du niveau d'eau
- 3) Mesures de la vitesse des courants
- 4) Mesures de la salinité et de la température
- 5) Détermination du transport de sédiments
- 6) Détermination de la vitesse de précipitation des matières en suspension
- 7) Prélèvement et analyse des échantillons du lit
- 8) Forages par injection d'eau des couches supérieures du lit

Dans l'océan:

- 9) Sondage des profondeurs d'eau
- 10) Arpentage des profils de la côte
- 11) Observations du courant littoral
- 12) Houlemétrie
- 13) Prélèvement d'échantillons du lit marin

Le plan No 201 montre de façon schématique l'envergure des travaux hydrographiques.

Ces travaux sur le terrain comprennent deux phases:

- a) D'abord, une phase de travaux intensifs d'une durée de trois mois, à compter du 1er juin 1971, en saison sèche, pour se prolonger en saison humide.
- b) La deuxième phase de travaux de relevés est en cours, et comprend notamment des relevés automatiques de la vitesse du courant du fleuve en période de crue et des conditions de la houle de haute mer au cours de l'hiver, jusqu'au mois de mars 1972. Des données complètes feront partie du rapport définitif qui sera remis à la fin de cette étude. Les relevés courants des matières en suspension exécutés en septembre et en octobre font aussi partie de la phase (b).

3.2 Sondage des profondeurs d'eau

Des sondages furent exécutés dans le fleuve et la mer au moyen d'échosondes montées dans des pirogues.

Le plan No 201 montre le programme de sondage. Etant donné qu'il n'existait pas de ligne de repère au sud de Saint-Louis dans la Langue de Barbarie, nous avons été obligés d'en établir une au moyen de stations riveraines servant à déterminer la position des embarcations de sondage. A son extrémité nord, la ligne de repère fut intégrée au système de coordonnées de Saint-Louis, et à son extrémité sud, avec les repères "Mirador" et "B3" déjà installés par les Nations Unies. Une ligne de base fut établie sur les rives du fleuve Sénégal afin de pouvoir y effectuer les sondages. Enfin, une ligne courte fut dressée sur le rivage de la Langue de Barbarie pour les travaux en mer, laquelle fut raccordée à la ligne de base fondamentale.

Ainsi 69 stations furent dressées, marquées par des jalons d'acier ou de bois. Certaines stations ont été érigées sur assise de béton pour référence future. Toutes les distances furent chaînées. La localisation fut déterminée au moyen de théodolites à partir de deux stations riveraines en radiocommunication constante avec le bateau-sonde.

Dans les parties de la rivière qui présentaient un intérêt particulier, notamment l'emplacement possible du port, l'écartement des lignes de sondage en travers du fleuve était de 100 m, s'accroissant à 200 m dans les parties de moindre intérêt et à 500 m là où l'intérêt était négligeable. En tout, on a pratiqué 74 coupes de sondages sur une vingtaine de km, à partir d'un point situé à 500 m au sud du pont Faidherbe et se prolongeant en aval jusqu'au site de l'embouchure du fleuve en 1967, où des sondages avaient été exécutés en 1967 par les Nations Unies.

En plus de ces sondages dont la position a été déterminée avec exactitude, d'autres sondages de reconnaissance, localisés visuellement, ont été effectués, à savoir:

- i) Le Marigot du Leybar, à environ 5 km au sud de Saint-Louis, côté est du fleuve, et le Marigot de Nar derrière les îles basses qui s'étendent au nord du Marigot du Leybar, vers Saint-Louis.
- ii) Le chenal entre la Langue de Barbarie et l'île Saint-Louis.
- iii) La partie qui s'étend au nord de l'île Saint-Louis et du pont Faidherbe.

En mer, un total de huit coupes transversales à la ligne du rivage ont été sondées à partir de la zone de déferlement jusqu'à environ deux km du rivage. L'écartement des lignes était d'environ 1 km, la ligne la plus septentrionale se trouvant située à quelques centaines de mètres au sud du cimetière musulman, au sud de Saint-Louis.

Dans le fleuve, on a apporté des rectifications aux relevés qui avaient été faits quant aux variations du niveau d'eau à partir des marégrammes obtenus des marégraphes installés à la Capitainerie du Port et à Gandiole. En mer, les rectifications apportées aux variations du niveau d'eau ont été obtenues par repérage continu avec la surface de l'eau au cours des sondages.

Toutes les élévations indiquées aux plans de sondage ont été converties à la cote IGN. Le zéro hydrographique du fleuve est 0.456 m sous le zéro IGN. Par contre, le zéro hydrographique de la mer, d'après le bureau IGN de Dakar, est situé à 1.00 m sous le zéro IGN. Les zéros hydrographiques de la mer et du fleuve correspondent approximativement aux niveaux les plus bas qui puissent se produire, tandis que le zéro IGN correspond approximativement au niveau moyen de la mer.

3.3 Profils de la côte

Les profils de la côte ont été établis dans le prolongement des neuf lignes de sondage en mer.

L'observation en eau basse indique qu'il existe au large une barre ayant une élévation maximale d'environ -1.0 m. Le niveau au point le plus bas de la dépression entre la barre et le rivage varie d'environ -1.8 à -2.3 m.

A l'endroit où l'aménagement d'une nouvelle embouchure est envisagé, le relevé du profil de la plage fut prolongé en travers la Langue de Barbarie jusqu'au fleuve Sénégal.

3.4

Echantillonnage du lit marin et fluvial

A l'occasion des sondages, des échantillons du lit ont été prélevés à l'aide d'une échantillonneuse à machoires. Ces échantillons représentent la couche supérieure du lit, soit de 5 à 15 cm. C'est ainsi que 121 échantillons ont été recueillis dans le fleuve aux endroits indiqués sur le plan No 206. En mer, sur la plage et sur la barre, on a pratiqué 28 échantillonnages en tout. On en fit d'abord un examen visuel. Les échantillons marins, du sable en grande partie, et presque tous les échantillons de sable du fleuve, furent tamisés pour en établir la granulométrie. La plupart des prélèvements fluviaux sont quasi identiques et se composent de sédiments très fins. De ces prélèvements, onze ont été choisis pour en faire l'analyse hydrométrique en laboratoire.

3.5

Mesures de la houle

Un système houlemétrique à accéléromètre de surface, type Datawell, fut utilisé pour l'enregistrement de la houle. Une bouée accélérométrique fut ancrée dans la mer à quatre km au sud du phare de Saint-Louis, dans une profondeur d'eau de 14 m. Les signaux de cette bouée étaient transmis à un récepteur installé dans le bureau de l'OERS. Les enregistrements étaient faits pendant vingt minutes à toutes les trois heures.

Commencées le 6 juillet 1971, ces mesures se poursuivront tout l'hiver jusqu'en mars 1972. Le 25 septembre, elles ont été interrompues temporairement à cause de la rupture du câble d'ancrage de la bouée. Lorsqu'on la récupéra, on constata que le système électrique avait subi quelques dommages. On fit venir une autre bouée et un nouvel enregistreur de Copenhague qui furent installés par le personnel local en novembre 1971.

3.6

Marégraphie

Nous avons exécuté en quatre occasions des marégrammes des marées montantes et descendantes, et en une occasion sur le courant descendant du fleuve. Les flotteurs ont été mis à l'eau à l'aide de pirogues et leurs mouvements observés à l'aide de deux stations de théodolite installées sur le rivage.

3.7 Enregistrement continu des courants

Un courantmètre fut mouillé à trois mètres de profondeur dans le fleuve, en un point situé à 25 m au sud du pont Faidherbe. La vitesse et le sens du courant furent enregistrés sur bande magnétique à toutes les dix minutes.

Le fonctionnement de l'enregistreur fut vérifié périodiquement au moyen d'un courantmètre portatif. Les enregistrements de courants s'étendent sur la période du 28 juin au 3 septembre 1971.

3.8 Profils de courants durant la période des marées

Afin de pouvoir déterminer la répartition des débits et des courants, tant horizontalement que verticalement, les profils de courants furent mesurés en diverses occasions, durant des périodes de marée, à quatre stations situées au pont Faidherbe et à deux stations sises au pont sud qui enjambe le bras du fleuve entre l'île Saint-Louis et la Langue de Barbarie. Les vitesses ont été mesurées pendant des périodes de 200 secondes à 0.3, 1.0 et 3.0 m au-dessus du lit fluvial et à 1.0 m sous la surface de l'eau. Les positions de ces stations sont indiquées sur les plans No 213 et 218.

3.9 Dosage des matières en suspension

Les profils de concentration des sédiments ont été tracés en analysant des échantillons d'eau prélevés au cours de périodes entières de marées à deux stations du pont Faidherbe afin de pouvoir établir la quantité des matières en suspension. Ces échantillons avaient été prélevés aux mêmes niveaux que les mesures de courants, c'est-à-dire généralement à 0.3, 1.0 et 3.0 m au-dessus du lit. En tout une dizaine de mesures furent exécutées.

Des échantillons d'eau d'un litre chacun furent aspirés par un boyau au moyen d'une petite pompe alimentée par une pile. Afin de pouvoir obtenir des échantillons valables, le temps d'échantillonage a duré plusieurs minutes. Puis ces échantillons furent filtrés dans un laboratoire de l'OERS. Les papiers-filtres furent pesés avant et après le filtrage, puis après correction pour la teneur en humidité, le poids des sédiments de chaque échantillon fut déterminé.

4. GEOGRAPHIE ET CONFIGURATION DU LIT DU FLEUVE

4.1 Généralités

Le Sénégal prend sa source en Guinée, traverse le Mali occidental, puis sert de frontière entre le Sénégal et la Mauritanie pour enfin se déverser dans l'océan Atlantique à 24 km environ au sud de Saint-Louis.

Dans son cours inférieur, la vallée du fleuve est très plane. Lors de sa dernière transgression, vers 5,500 ans avant Jésus-Christ, la mer inonda la vallée et créa une baie peu profonde jusqu'à Boghé, à 200 km de l'océan. Cette baie s'est peu à peu remplie de dépôts deltaïques venant de l'amont.

A sa limite océane, le transport littoral vers le sud le long de la côte a clos cette baie par une série de crêtes côtières successives.

Dans sa configuration actuelle, la Langue de Barbarie est une formation de sable longue et étroite qui sépare l'océan du fleuve et oblige celui-ci à couler presqu'en direction sud avant d'atteindre l'Atlantique à 24 km au sud de Saint-Louis.

D'anciens bras du fleuve, peu profonds, et d'anciennes crêtes côtières constituent l'arrière-pays de la Langue de Barbarie.

Au dernier virage du fleuve vers le sud se dresse la ville de Saint-Louis dans les îles de Saint-Louis et de Sor. Le pont Faidherbe enjambe le chenal qui sépare ces deux îles et deux petits ponts relient l'île de Saint-Louis aux villages de N'Dar Tout et de Guet N'Dar sur la Langue de Barbarie.

Au sud de Saint-Louis, la rive droite du fleuve est quasi rectiligne, alors que la rive gauche s'étend de façon irrégulière; des crêtes côtières anciennes et des marais constituent une suite d'îles basses et de péninsules entre le fleuve proprement dit et les zones peu profondes, comme le Marigot de Nar et le Marigot de Leybar.

Un peu plus au sud, la rive gauche du fleuve devient presque rectiligne, et c'est à cet endroit que se trouve le village de Gandiole.

4.2 La Langue de Barbarie et l'embouchure du fleuve

La Langue de Barbarie est une formation marine créée par un puissant transport littoral en direction sud le long de la côte. Cette formation varie en largeur de 200 à 500 m, et est constituée de sable blanc et fin avec dunes d'environ 5 m de hauteur. Il y a une ou deux barres au large, parallèles à la côte.

Une partie de la Langue de Barbarie a été stabilisée grâce à la plantation en 1913 d'une ceinture d'arbres filaos s'étendant jusqu'à 16.5 km au sud du pont Faidherbe.

L'accumulation du sable à l'extrémité sud de la Langue de Barbarie déplace l'embouchure en direction sud, particulièrement en hiver lorsque le transport littoral est le plus élevé. De temps à autre, la mer enfonce cette barrière à marée haute, créant ainsi une nouvelle embouchure, cependant que l'autre se referme rapidement.

Depuis 1850, on a tenu un registre méthodique de ces brèches qui se sont reproduites seize fois. On a calculé que le déplacement moyen annuel de l'embouchure vers le sud est d'environ 535 m.

En 1850, une embouchure s'est formée à environ 4 km au sud du pont Faidherbe. Depuis 1900 environ, l'emplacement le plus au nord de l'embouchure se trouvait, cependant, à environ seize km au sud du pont Faidherbe, c'est-à-dire à l'extrémité sud de la ceinture de filaos.

La brèche la plus récente s'est produite le 27 mars 1959. Les photographies aériennes prises en 1958, en 1960 et en 1963, reproduites sur le plan No 202, montrent le déplacement spectaculaire de l'embouchure. De 1959 à 1971, cette embouchure s'est déplacée d'environ 8 km.

Selon le capitaine du port, la Langue de Barbarie a failli subir une nouvelle brèche en septembre 1970, au même endroit qu'en 1959. Pour la période d'observation, la position la plus méridionale de l'embouchure fut relevée en mars 1959, soit à environ 27 km au sud du pont Faidherbe. Depuis cette brèche qui s'est produite à un point situé à 16 km au sud du pont Faidherbe, l'embouchure s'est encore déplacée vers le sud, et était, en 1971 à 24 km au sud du pont Faidherbe. La formation d'une nouvelle embouchure est donc imminente.

4.3 Configuration du lit du fleuve

Les profondeurs du fleuve apparaissent sur le plan No 203. Celui-ci montre les lignes de contour du lit du fleuve à partir de 3 km environ au nord du pont Faidherbe jusqu'à environ 21 km au sud de ce pont.

En raison de la courbure du fleuve près de Saint-Louis, les profondeurs d'eau sont plus importantes du côté ouest ou côté extérieur du coude. La profondeur maximale de 11.1 m a été mesurée au pont Faidherbe. On a constaté des profondeurs atteignant 9.0 m dans la partie ouest du fleuve jusqu'à environ 3 km au sud du pont Faidherbe. Dans cette même région, la partie est du fleuve est peu profonde et s'étend en pente douce vers l'ouest.

À l'Hydrobase, la coupe transversale du fleuve est plus symétrique et les profondeurs de l'eau varient entre 7 m près de la rive ouest et 5 m près de la rive est.

A environ 2 ou 5 km au sud de l'Hydrobase, les eaux redeviennent plus profondes sur le côté ouest. Depuis le pont Faidherbe jusqu'à environ 2 km au sud de l'Hydrobase, les profondeurs maximales des coupes transversales du fleuve sont partout supérieures à 6.8 m. Plus au sud, le fleuve redevient moins profond, soit seulement 5.4 m en certains endroits.

Les profondeurs du petit bras entre l'île Saint-Louis et la Langue de Barbarie sont généralement de l'ordre de 3 m. Vers le sud, ce chenal se raccorde au grand bras du fleuve, mais au nord il est séparé du fleuve par une zone peu profonde (soit de 0.5 m environ) sauf pour un petit chenal dont la profondeur est d'environ 1.3 m dans la partie septentrionale de cette zone.

La profondeur de l'eau à Marigot du Leybar et à Marigot de Nar reste généralement inférieure à 0.9 m.

4.4 L'embouchure du fleuve

Les profondeurs à l'embouchure du fleuve sont très instables, ce qui rend la navigation difficile à cet endroit. Du côté mer, l'embouchure est traversée par une barre de sable. Lorsque la houle est forte, les vagues viennent se briser tout le long de cette barre.

D'ordinaire, il y a, entre le fleuve et la mer, un chenal légèrement plus profond qu'ailleurs à travers la barre. Lorsque la houle est modérée, on peut repérer facilement ce chenal, en raison de l'absence de vagues déferlantes.

Des sondages furent effectués régulièrement dans ce chenal pendant plusieurs années sur l'ordre du capitaine du port de Saint-Louis. Tous ont été exécutés à marée haute. Malheureusement ces sondages n'ont pas été ramenés à un repère commun. Néanmoins leurs résultats constituent une base très valable pour évaluer l'étendue des fluctuations de la profondeur naturelle de contrôle en travers de la barre et les fréquences où l'on a constaté ces diverses profondeurs de contrôle.

L'analyse des profondeurs sondées pour la période de 1927 à 1969 a été réalisée par Meglitsky (UNDP-OERS. 1969). Les résultats sont présentés graphiquement dans la fig. A2-1.

On peut constater que lorsque l'eau est très haute, les profondeurs maximales dans le chenal en travers de la barre ne dépassent guère 2.6 m pour environ 5 pour cent du temps, elles restent inférieures à 2.75, 3.0 et 3.3 m pendant environ 10, 25 et 50 pour cent du temps, respectivement.

Au cours des travaux qui ont conduit à la préparation de ce rapport, aucun autre sondage n'a été fait dans l'embouchure. De tels sondages n'ajouteraient rien aux données statistiques que nous possédons relativement aux profondeurs d'eau de l'embouchure. En raison de la mobilité de l'endroit et de sa bathygraphie, pareils sondages, même après un court laps de temps, ne seraient pas plus représentatifs de l'état véritable de l'embouchure que les sondages réalisés sous l'égide des Nations Unies en 1969.

4.5

Profils de la côte et de la plage

Les sondages en mer ont été prélevés depuis un point situé près du cimetière musulman sur la Langue de Barbarie et ont été prolongés à environ 8 km vers le sud. Les sondages ont été effectués en dehors de la zone de déferlement, sur neuf lignes perpendiculaires à la côte. Le niveling sur la plage a été fait dans le prolongement de ces mêmes lignes. Le plan No 204 montre les résultats de ces sondages ramenés au système IGN; le plan No 205 montre les profils de la plage et un profil du fleuve et de la mer en travers la Langue de Barbarie, à environ 3 km au sud de l'Hydrobase. On peut constater, en examinant les sondages sur le littoral, que les profondeurs augmentent relativement rapidement jusqu'à une profondeur de 10 ou 11 m, cependant que vers la mer, la pente est beaucoup plus douce.

Il existe une barre de sable ayant une profondeur d'eau d'environ un mètre au-dessous du zéro IGN à environ 100 m de la rive. Une dépression d'environ 2 m existe entre la barre et le rivage. Bien que des photographies aériennes prises en hiver indiquent l'existence d'une seconde barre à environ 400 m au large, les sondages n'en ont pas révélé la présence.

Toutefois, la pente du profil semble augmenter à ce point de 0.017 à 0.050. Il est possible que les vagues plus fortes de l'hiver aient créé, près du rivage, une seconde barre qui aurait ensuite été balayée par les vagues plus petites durant l'été qui a précédé les sondages. Dans les profondeurs d'eau supérieures à 11 m, la pente du fond marin vers le large est de l'ordre de 0.005.

Il est à remarquer que le profil, entre les contours de profondeur de 4 à 10 m, est plus accentué à la station 0-18 qu'à la station 0-12; toutefois, les sondages concordent assez bien avec ceux exécutés par l'UN-OERS en 1969. La pente de la plage varie généralement entre 0.04 et 0.06, sauf à la station 0-3, où elle est de 0.08. Les diverses pentes de la plage résultent du contour ondulé du rivage, où la barre du large se trouve raccordée au rivage aux points les plus saillants de ces "ondulations côtières".

4.6 Matériaux du lit du fleuve

La localisation et la teneur estimée en sable des échantillons du lit du fleuve sont indiquées sur le plan No 206. Les courbes granulométriques ont été tracées à partir d'un certain nombre d'échantillons caractéristiques.

En général, tous les échantillons prélevés à des profondeurs d'eau supérieures à un mètre dans la région du fleuve qui s'étend de Saint-Louis à un point situé à environ 17 km en aval, consistent en un matériau très fin dont le diamètre moyen est d'environ 0.01 mm. Les échantillons recueillis sur la rive du fleuve sont constitués presque entièrement de sable d'un diamètre moyen d'environ 0.25 mm.

Si l'on se déplace vers le sud, la quantité de sable dans les échantillons augmente de façon marquée; au sud de la dernière brèche dans la Langue de Barbarie (1959), le lit du fleuve est constitué de sable de plage presque pur, d'un diamètre moyen d'environ 0.35 mm.

Les échantillons recueillis dans les hauts-fonds au nord et au sud de l'île de Saint-Louis contiennent des quantités importantes de sable.

4.7 Matériaux du lit de la mer

Le plan No 207 montre la position et les résultats et l'analyse des échantillons du lit de la mer prélevés sur les profils 0-3 et 0-7, et sur la plage jusqu'à la barre de sable.

La granulométrie du sable est tracée sur le même graphique que les profils des deux lignes d'échantillonage. Sur la plage, le diamètre des grains est de 0.30 à 0.35 mm, tandis qu'il est de l'ordre de 0.15 à 0.25 mm pour les échantillons recueillis dans la dépression et sur la barre de sable. Plus loin, le diamètre des grains augmente à 0.23 et 0.34 mm à une profondeur d'eau d'environ 5 m; il diminue finalement à moins de 0.1 mm à une profondeur supérieure à 10 m. Dans les deux profils, le diamètre moyen est de 0.08 mm à une profondeur d'environ 12 m.

Dans la ligne 0-3, la grosseur des grains augmente brusquement de 0.3 à 0.4 mm à une profondeur d'eau de 13.5 m à 1,300 m environ du rivage. A 1,900 m, le diamètre des grains d'un échantillon atteint même 0.6 mm. Cette granulométrie relativement élevée est en partie attribuable à la teneur élevée en débris de coquillage.

Ces fluctuations du diamètre des grains indiquent que le profil actif de la Langue de Barbarie ne s'étend qu'à une profondeur d'environ 10 mètres. Au-delà de cette profondeur, le transport du sable est négligeable et il n'y a pratiquement pas d'échange de matériaux avec la zone côtière en deçà de cette profondeur.

5. METEOROLOGIE ET HYDRAULIQUE

5.1 Généralités

Dans la région de Saint-Louis, l'année se divise en deux saisons bien distinctes:

- 1) Une saison d'hiver sèche, de novembre à mai, avec vents du nord prédominants.
- 2) Une saison de pluies, de juillet à octobre, avec vents prédominants d'ouest à nord-ouest.

Les vents sont généralement faibles. La précipitation va décroissant vers le nord, passant de 1,500 mm annuellement à Casamance et dans la partie sud-ouest du Mali, à 380 mm à Saint-Louis; elle est presque nulle en Mauritanie.

Les conditions hydrauliques dans l'estuaire du Sénégal dépendent de la précipitation dans le bassin-versant de ce fleuve long de 1,500 km, des marées astronomiques de la mer et des phénomènes côtiers à son embouchure.

Ces phénomènes sont largement déterminés par les grands vents de l'Atlantique nord qui, notamment en hiver, engendrent la grosse houle qui, à son tour, est à l'origine du transport littoral.

Le climat à Saint-Louis est, par conséquent, d'importance secondaire quant à l'hydraulique du fleuve et aux phénomènes hydrauliques sur le rivage.

5.2 Météorologie

L'observatoire météorologique de l'aéroport de Saint-Louis, fort bien équipé du reste, maintient des registres permanents des conditions météorologiques. Cet aéroport est sis à seulement 5 km de Saint-Louis et de la mer et ses observations sont parfaitement représentatives de la région de l'estuaire du Sénégal.

A partir de rapports mensuels de ces observations couvrant la période de 1965 à 1970, des données statistiques sur le climat de la région de Saint-Louis ont été compilées.

Précipitation

La précipitation moyenne annuelle à Saint-Louis est d'environ 380 mm. Plus de 95 pour cent de cette précipitation se produit au cours de la période de juillet à octobre, avec pointes de 120 mm environ en août et en septembre, comme l'indique la fig. A2-2. Elle se produit généralement sous la forme de fortes averses accompagnées de rafales qui s'élèvent soudainement de l'est.

Vents

A l'exception des rafales d'est, de courte durée, les vents sont ordinairement plutôt faibles, atteignant rarement une vitesse de 10-11 m/s et de direction variant de l'ouest au nord.

La table et la rose des vents du plan No 208 montrent la vitesse et la direction des vents mesurés à tous les trois heures pendant trois ans de 1968 à 1970. Le graphique de la fig. A2-2 montre les fluctuations moyennes mensuelles de la direction et de la vitesse des vents tout au long de l'année. Il semble qu'en hiver, de novembre à avril, le vent souffle le plus souvent en direction nord, alors qu'en été, il souffle vers l'ouest et le nord-ouest. Les rafales venant de l'est ne se produisent qu'en saison des pluies et sont normalement de très courte durée. Les vitesses des rafales sont donc rarement notées dans les observations météorologiques à toutes les trois heures, et n'apparaissent donc pas dans les statistiques anémométriques de la rose des vents. Toutefois, les vitesses de vent extrêmes sont enregistrées à l'aéroport et sont tabulées à la fig. A2-2 pour chaque mois de 1965 à 1970. A part une lecture exceptionnelle de 41 m/s relevé le 4 septembre 1969, la vitesse n'a pas dépassé 25 m/s durant cette période. Pour huit mois de cette période, les vitesses maximales ont dépassé 20 m/s, ce qui correspond à une fréquence d'au moins 1.3 fois par année.

Les rafales, d'ordinaire, s'élèvent de façon très soudaine; la vitesse du vent passe presqu'intantanément d'une vitesse normale de quelques m/sec à sa valeur maximale et s'y maintient pendant une vingtaine de minutes. Puis la vitesse tombe et se stabilise à 10-15 m/sec pour une période de quelques heures. Enfin le vent tombe et c'est le calme qui peut durer une journée entière. On rapporte que les rafales se produisent rarement dans la matinée. Cette constatation concorde avec les observations faites au cours de cette étude. Toutes ces rafales viennent de l'est.

5.3 Marées et niveaux d'eau

Les fluctuations du niveau de la mer sont presque exclusivement causées par les marées astronomiques qui, à Saint-Louis, sont du type semi-diurne. Les marées anémométriques ne se produisent guère en raison de la faiblesse des vents et des grandes profondeurs à proximité du rivage.

D'après les tables de marées de l'Amirauté, l'amplitude des marées astronomiques les plus fortes est d'environ 1.8 m, alors que celle des marées moyennes de vives-eaux est de 1.2 m, et celle aux mortes-eaux, de 0.6 m. Les fluctuations de marées se produisent presque symétriquement au-dessus et au-dessous du zéro IGN.

Le fleuve

Les variations du niveau de la mer se font sentir bien en amont de l'estuaire, notamment durant la saison sèche.

L'amplitude des marées est considérablement réduite au passage de l'embouchure peu profonde, d'où une amplitude fluviale de 30 pour cent de celle de la mer, en saison sèche, et de seulement 15 pour cent, en saison des pluies. Ces réductions, mesurées sur place en 1971, sont deux fois plus importantes que celles constatées précédemment dans la référence (3). Ce désaccord est probablement attribuable au fait que la configuration de l'embouchure s'est modifiée sensiblement depuis lors.

Durant la saison sèche, alors que le débit du fleuve est presque nul et que son niveau moyen à Saint-Louis voisine celui de la mer, les fluctuations des marées se font sentir, dit-on, bien en amont, soit à 400 km de l'embouchure. Au mois de juin 1971, le niveau moyen du fleuve à Saint-Louis était d'environ 20 cm au-dessus du zéro IGN, et il n'est donc pas surprenant de constater une diminution de l'amplitude de la marée de Gandiole à Saint-Louis de seulement 2 cm, comme le fait voir la fig. A2-3.

Au cours de la saison des pluies, les débits d'eau douce sont abondants et on constate une augmentation du niveau moyen à Saint-Louis, en septembre et octobre 1971, de près de 60 cm pour atteindre un niveau d'environ 80 cm au-dessus du zéro IGN; il s'en suit que l'effet de la marée ne s'étend pas aussi loin en amont que durant la saison sèche. Ce fait est clairement démontré par les plus grandes différences d'amplitude des marées à Gandiole et à Saint-Louis qui sont de l'ordre de 10 cm au mois d'août, comme l'indique la fig. A2-3.

Dans la référence (4), on souligne que le niveau du fleuve en une occasion a atteint la valeur de 1.35 m au-dessus du zéro IGN, ce qui correspond à seulement 0.83 m mesuré en 1971.

5.4 Caractéristiques de la houle

Les conditions de la houle dans l'océan Atlantique à la hauteur de Saint-Louis sont déterminées par des houles d'origine et de caractéristiques variées, compliquant le plan de vagues.

Les houles qui semblent avoir le plus d'énergie sont celles engendrées par les tempêtes lointaines dans le nord de l'Atlantique. La houle qui vient du nord a une période assez longue, probablement entre 8 et 16 s. En eau profonde, la hauteur de la houle n'est pas considérable et elle est difficile à distinguer en raison de la superposition de houles plus courtes et peut-être plus hautes, ayant des directions de propagation différentes. Cependant, à mesure que diminue la profondeur de la mer, la houle gagne en hauteur et à l'approche du rivage, y déferle et domine entièrement le plan des vagues. Ce sont elles qui engendrent l'important transport littoral en direction sud.

La direction moyenne de la houle dominante en fonction des phénomènes côtiers peut être évaluée en considérant l'orientation de la côte sableuse du côté nord de la péninsule du Cap Vert jusqu'au village de Cayar.

Le transport de sable du nord vers cette région est très faible en raison de l'effet de piégeage du canyon sous-marin à Cayar, si bien qu'il se perd très peu de sable au sud du Cap Vert. Cette côte semble donc presque en équilibre, ce qui laisse supposer que la houle arrive à cette côte avec une direction moyenne quasi perpendiculaire à la ligne du rivage.

A partir de ces considérations, la direction moyenne de propagation en eau profonde de la houle engendrée par les tempêtes du nord de l'Atlantique, est donc d'environ 220° à l'ouest du nord. Ceci revient à dire que l'angle d'incidence en eau profonde sur la côte de Saint-Louis est d'environ 63° .

Au large de Saint-Louis, la direction de propagation de la houle change en raison de la réfraction de profondeur, étant donné que la houle envahit une eau peu profonde. On a calculé que, pour cette région et dans une profondeur d'environ 3 m, l'angle d'incidence de la houle sera de 150° à 220° pour la grande houle dont les périodes varient de 12 s à 8 s; l'angle d'incidence en eau profonde sera de 63° .

Ceci s'accorde tout à fait avec la direction des vagues déferlantes, ainsi que le confirment six séries de photographies aériennes qui ont été prises de 1949 à 1968. On peut en effet constater dans ces photographies que l'angle d'incidence des vagues déferlantes est de 16° à 23° , soit une moyenne de 20° .

La houle est généralement plus forte en saison sèche, davantage orientée vers le nord qu'en été.

A la houle vient se superposer les vagues engendrées dans le sud de l'Atlantique par des vents de vitesse modérée à direction ouest. Les périodes de ces vagues sont plus courtes que celles de l'Atlantique nord, mais elles dominent le plan de la houle en eau profonde, ainsi qu'on peut le constater par l'observation visuelle et la photographie aérienne. La période de cette houle est estimée de 5 à 8 s, et sa hauteur significative atteint probablement rarement plus de 0.8 m.

Les vagues d'origine locale sont d'un intérêt secondaire pour expliquer les conditions de la mer mais les grands vents de la saison des pluies soulèvent des vagues sur le fleuve dirigées vers l'est, avec périodes d'environ 2 s, et une hauteur significative estimée à environ 0.3 m. Ces vagues ont une certaine importance pour l'implantation possible d'un port de pêche sur la rive ouest de l'estuaire.

Un houlemètre, qui mesure la hauteur et la période des houles, fut placé en mer à une hauteur d'eau de 14 m, du 8 juillet au 24 septembre, puis de nouveau le 15 novembre. On se propose de le tenir en service pour mesurer la houle en hiver jusqu'en mars 1972.

Le houlemètre mesure la houle continuellement pendant vingt minutes à toutes les trois heures. Une analyse des hauteurs et des périodes de la houle en été a été réalisée, mais on n'a pas encore essayé de distinguer les différents types de houles qui se superposent. Pour chaque période de vingt minutes, la hauteur significative et la période de croisement zéro ont été déterminées; la fréquence des hauteurs significatives à la seconde puissance a été tracée pour la période de l'été (voir fig. A2-4). La hauteur des houles pour la saison d'été avec périodes de retour plus grandes peut être extrapolée à partir de ce graphique.

La période moyenne des enregistrements de vingt minutes a été déterminée par la méthode de croisement de zéro, et elle est de l'ordre de 4.5 à 8.0 s, pour l'été 1971. Les vagues d'origine locale ont les périodes les plus courtes, mais par les journées calmes, après les rafales de la saison des pluies, la période de la houle d'origine lointaine peut être déterminée. La période moyenne de la houle, de juillet à septembre, est d'environ 8.0 s.

5.5

Courants marins

Les courants océaniques, au large de Saint-Louis, sont tributaires du courant des Canaries orienté vers le sud et qui, au sud du Sénégal, se conjugue au contre-courant équatorial à direction sud. D'après la référence (5), le courant coule presque en permanence en direction sud à une vitesse d'environ 25 cm/s. Les courants en direction nord sont observés quelques deux jours par année. Dans la référence (6), il est établi que les courants en haute mer sont indépendants des marées.

Ces renseignements sont confirmés par les observations faites au cours de la présente étude en 1971 au moyen de courantmètres à flotteurs. Quatre séries d'observations du genre ont été faites au large de la zone de déferlement, afin de couvrir une période de marée complète. Ce flotteur est conçu de manière à pouvoir suivre le courant à une profondeur de deux ou trois mètres sous la surface. Au-dessus de la surface de l'eau, les flotteurs ne comportent qu'une tige mince portant un petit pavillon, pour s'assurer que le vent n'aura qu'un effet négligeable sur son parcours.

Durant la marée descendante, comme on peut le voir sur le plan No 209, la direction des courants dans la région où l'eau a une profondeur de 4 à 10 m, était sud-est avec une vitesse moyenne d'environ 15 cm/s. Plus près de la barre, la vitesse du courant était de 30 à 80 cm/s en direction sud et dans un cas, sud-ouest.

Le courant sud-ouest semble originer de l'intérieur de la zone de déferlement et traverser la barre. Tel est le cheminement suggéré par l'observation des courantmètres, confirmé de visu par la présence d'une eau brunâtre qui se déplace à travers la barre.

Les mesures aux courantmètres, pratiquées en eau basse au cours de la marée montante et à marée haute, (voir les plans No 210, 211 et 212) donnent pratiquement les mêmes résultats. Dans tous les cas, le courant en dehors de la zone de déferlement est à direction sud et sa vitesse est généralement de l'ordre de 15 à 25 cm/s.

5.6 Courants du fleuve

En saison sèche

Durant la saison sèche, les courants du fleuve sont déterminés presque exclusivement par la marée. Aussi l'eau du fleuve est-elle fortement saline. Les courants maximaux de la marée ont presque les mêmes vitesses dans une direction comme dans l'autre.

Le plan No 213 montre les résultats des mesures de vitesses en quatre endroits en travers du fleuve en période de marée. Pour la position No 2, on constate que tous les résultats de cinq niveaux de mesure sont représentés. Quant aux autres positions, les profils de vitesse sont indiqués seulement pour la période des courants maximaux à direction nord et sud. Au cours des marées montantes, le courant coule vers le nord et atteint sa vitesse maximale environ 1 1/2 heure avant la marée haute. Deux heures après la marée haute, le courant reflué vers le sud et atteint sa vitesse maximale environ 1 1/2 heure avant la marée basse. Les vitesses maximales pour les courants sud et nord sont presque égales, à environ 45 cm/s.

Les mesures continus des courants montrent le même cheminement, qu'il s'agisse de courants entrants ou sortants pour une période plus longue. Sur le plan No 214, les mesures pour les premiers dix jours de juillet font ressortir les courants de la saison sèche. Les vitesses de courant sont les plus fortes aux vives-eaux, soit de 40 à 45 cm/s, et les plus faibles aux mortes-eaux, soit de 20 à 25 cm/s.

En saison de pluies

Au début de la saison des pluies, les vitesses du courant en direction nord diminuent, cependant que celles du courant sud augmentent.

Dans la fig. A2-5, les extrêmes journaliers de vitesse de courant apparaissent, tels qu'extraits des registres continus. A partir de la mi-juillet, on constate une différence significative entre les vitesses des courants nord et sud, et lorsque le débit du fleuve s'est accru à environ $500 \text{ m}^3/\text{s}$, le courant nord ne se produit pas aux mortes-eaux. La première période de marée sans courant à direction nord s'est produite le 29 juillet 1971. La mesure des courants au cours d'une période de marée complète, à partir du 30 juillet, est indiquée sur le plan No 215. On n'a pas observé de courant à direction nord dans la position 2. Ce n'est que dans la position 4, juste avant la marée haute, que l'on a constaté la présence de courants en direction nord ayant des vitesses inférieures à 10 cm/s .

Lorsque le débit du fleuve s'est accru à environ $1,000 \text{ cm}^3/\text{s}$, même la marée montante des vives-eaux ne peut produire de courant vers le nord, comme on peut le constater sur la fig. A2-5. La dernière période de marées engendrant des courants à direction nord, en 1971, avant que le débit du fleuve atteigne son maximum, a été observée le 23 août. Les observations continues du 7 au 16 août, (voir le plan No 216), illustrent la condition où les marées de vives-eaux produisent encore un courant à direction nord, tandis que les courants de mortes-eaux coulent constamment vers le sud.

Le plan No 217 représente la condition des vives-eaux les 9 et 10 août 1971. Le courant nord coule à environ 20 cm/s , tandis que les courants sud atteignent des vitesses supérieures à 80 cm/s .

Le plus fort courant enregistré en observation continue a été de 100 cm/s . La vitesse maximale des courants de surface est estimée supérieure de 5 pour cent, soit 105 cm/s . Ce sont là des valeurs extrêmes enregistrées au début de septembre. Les vitesses maximales annuelles, croit-on, surviennent en octobre. Une mesure pratiquée en surface le 21 octobre, en mortes-eaux, et près de la période de débit maximal, indique une vitesse d'environ 105 cm/s . Sur cette base, la vitesse maximale en 1971 est estimée à environ 110 cm/s .

Les courants dans le petit bras du fleuve à l'ouest de l'île de Saint-Louis suivent le même plan que ceux du grand bras. Le plan No 218 laisse voir des mesures de courant en deux périodes de marées, l'un en saison sèche et l'autre en saison des pluies. Les vitesses maximales en saison sèche sont d'environ 25 cm/s, et en saison des pluies d'environ 40 cm/s, soit à peu près la moitié des vitesses maximales du grand bras du fleuve. Ces mesures portent à croire que le courant peut se renverser avec la marée dans le petit bras, même s'il ne se renverse pas dans le grand bras, comme on pourrait s'y attendre.

Débit du fleuve

La répartition des vitesses moyennes du courant en travers du fleuve a été déterminée à partir des courbes de vitesse pour quatre positions; la répartition est indiquée au plan No 219 pour un certain nombre de mesures couvrant à la fois les courants nord et sud.

Les vitesses sont les plus grandes autour de la position 2, puis elles tombent à zéro à environ 350 m à l'est de l'île Saint-Louis. A partir de ces répartitions, nous avons calculé deux courbes moyennes et normalisées, l'une pour le courant à direction nord et l'autre pour le courant à direction sud.

Une relation linéaire entre la vitesse moyenne du courant à la position 2 et la vitesse enregistrée continuellement au courantmètre a été déterminée. Partant de cette relation, des répartitions de vitesse moyenne et de la coupe transversale sur le plan No 219, une relation linéaire entre la vitesse enregistrée au courantmètre et le débit a été établie.

Cette relation qui apparaît sur le plan No 219 ne doit pas être rigoureusement linéaire, à cause des fluctuations de la courbe des vitesses selon les fluctuations du débit du fleuve et en raison aussi du changement dans la coupe transversale suivant les fluctuations du niveau du fleuve. Le rapport linéaire, cependant, semble être une très bonne approximation. Plusieurs débits calculés du fleuve ont été comparés avec la vitesse au courantmètre afin d'illustrer à quel point le rapport linéaire s'accorde avec les valeurs calculées directement à partir des mesures de profils.

Le débit du fleuve ainsi déterminé ne fournit que le débit du grand bras. Dans le petit bras, à l'ouest de l'île de Saint-Louis, le débit a été calculé à partir des mesures de vitesse prises en deux endroits.

Ces calculs montrent que le débit dans ce petit bras est, en bonne approximation, un pourcentage constant du débit dans le grand bras. Ce pourcentage est d'environ 4 pour le courant dirigé vers le nord et de 6 pour le courant dirigé vers le sud.

Pour les deux échantillons de mesures au courantmètre, on peut voir une échelle du débit du fleuve ainsi que des vitesses du courant. Sur le plan No 214, représentant le débit maximal en saison sèche, on constate que ce débit est de l'ordre de 400-600 m^3/s aux mortes-eaux, et de 700-900 m^3/s aux vives-eaux. Sur le plan No 216, représentant le début de la saison des pluies, le débit maximal vers le nord est d'environ 800 m^3/s , et le débit maximal vers le sud, de 1,500 m^3/s . Vers les mortes-eaux, le débit se dirige au sud pendant toute la période des marées, avec des valeurs variant de 700 à 1,200 m^3/s .

Si l'on consulte la fig. A2-5, on constate que le plus grand débit pour la période des mesures est d'environ 1,800 m^3/s , ce qui correspond à un niveau moyen d'environ 65 cm au-dessus du zéro IGN. D'ordinaire, le maximum de l'année se produit en octobre. En 1971, le plus haut niveau moyen était d'environ 83 cm, ce qui correspond à un débit d'environ 2,200 m^3/s .

Le niveau supérieur extrême de l'eau est de 135 cm au-dessus du zéro IGN mentionnée au paragraphe 5.3, ce qui correspond à un débit d'environ 3,300 m^3/s . A ce débit correspond une vitesse maximale de courant de 195 cm/s.

Dans la référence (3), les fréquences des maxima annuels du débit du fleuve sont données à Dagana, à environ 170 km en amont de Saint-Louis; les débits sont d'environ 2,500 m^3/s , avec une fréquence de 50 pour cent, et de 3,400 m^3/s avec une fréquence de 5 pour cent. En 1971, le niveau d'eau le plus élevé signalé à Dagana était de 359 cm. Ce niveau revient à une fréquence de 35 pour cent, correspondant à un débit de 2,700 m^3/s , soit 500 m^3/s de plus que le débit maximal à Saint-Louis. Dès lors, le débit à Saint-Louis, avec une fréquence de 50 pour cent, sera d'environ 2,000 m^3/s et un débit, avec une fréquence de 5 pour cent peut être estimé à 2,900 m^3/s .

Un débit de 2,900 m^3/s donnera une vitesse de courant maximal de 170 cm/s au pont Faidherbe.

5.7 Salinité et températureEn saison sèche

En saison sèche, l'eau salée de la mer pénètre très loin dans le fleuve. Les premiers relevés de salinité dans le fleuve en amont de Saint-Louis ont été faits le 9 juillet 1971. Le minimum de salinité enregistré a été de 29 parties par millier jusqu'à environ 59 km de la mer.

Sur le plan No 220, les profils de salinité sont indiqués à partir de ces relevés. A 59 km de la mer, la différence n'est que de 2 p.p. millier depuis le fond jusqu'à la surface. Ainsi, il est très probable que l'on ne trouve point d'eau douce avant 150 km en amont de Saint-Louis.

En saison des pluies

Alors que le débit du fleuve augmente au cours de la saison des pluies, la salinité décroît rapidement à Saint-Louis. On peut le constater sur le plan No 220; la moyenne de la salinité à Saint-Louis baisse d'environ 30 à 5 p.p. millier, en l'espace de 11 jours. L'extrémité amont du front d'eau salée refoulé en période de marée, paraît refluer en aval à une vitesse de plus de 1 km par jour.

Lorsque le débit du fleuve a augmenté à environ $500 \text{ m}^3/\text{s}$, presque toute l'eau salée s'est retirée de l'estuaire. Seule l'eau montante des marées de vive-eau peut alors former un front d'eau salée s'avancant à quelques kilomètres dans l'estuaire.

Sur le plan No 220, la courbe de salinité tracée d'après les relevés pratiqués à 4 km au nord de l'embouchure le 11 août 1971, montre une telle pénétration vers la marée de vives-eaux. Huit jours avant, vers les mortes-eaux, on n'avait point constaté la présence d'une pénétration d'eau salée à cet endroit.

La température de l'eau du fleuve est presque la même en saison sèche qu'en saison des pluies. Toutes les températures mesurées sont de l'ordre de 20°C à 28.5°C , avec un écart d'environ 0.2°C à 0.3°C de la surface au fond. Les fluctuations de température semblent être indépendantes du débit du fleuve.

6. TRANSPORT DE SEDIMENTS DANS LE FLEUVE

6.1 Généralités

Afin de pouvoir évaluer les risques d'envasement dans les bassins du futur port de l'estuaire du Sénégala, il est indispensable de se renseigner sur les caractéristiques et les quantités des sédiments transportés par le fleuve.

L'importance du transport de sédiment dépend d'abord de la vitesse du courant, puis du sédiment lui-même. A basse vitesse, une petite quantité de sédiment est transportée le long du lit; à vitesse élevée, à cause de la turbulence de l'eau, la majeure partie des matières est emportée en suspension; en conséquence, la vitesse du courant influe énormément sur la quantité des matières entraînées.

Dans l'estuaire du Sénégala, où les courants de marée ont une influence déterminante sur la vitesse des courants dans l'estuaire, des relevés de vitesse et des quantités de matières en suspension ont été réalisés au cours de cycles complets de marées, dans le but de constituer une documentation sur les fluctuations journalières du transport de sédiment. Les fluctuations saisonnières ont été établies à partir des relevés faits tant en saison sèche qu'en saison des pluies.

Etant donné que l'importance de la sédimentation dépend surtout des vitesses de précipitation des grains en suspension, la répartition de ces vitesses a été déterminée en eau douce, correspondant à la saison des pluies avec fort débit, de même que dans un mélange d'eau douce et d'eau salée, correspondant au débit plus faible du fleuve, alors que se forme un front d'eau salée. En eau salée, les grains fins en suspension s'agglutinent pour former des particules plus grosses, augmentant ainsi leur vitesse de précipitation, et, en conséquence, l'importance de la sédimentation.

6.2 Concentrations des matières en suspensionEn saison sèche

Les concentrations de matières en suspension en saison sèche sont extrêmement basses. Sur le plan No 213, la fluctuation de la concentration est inscrite par rapport au temps pour un cycle de marée. La plupart des relevés montrent des concentrations inférieures à 30 mg/l dans les échantillons d'eau pris à 0.3 m au-dessus du fond. Le profil de concentration pris environ une heure après la vitesse maximale, c'est-à-dire au moment où la plus haute teneur de matières en suspension est à prévoir, indique une concentration quasi-uniforme de sédiments, soit environ 15 mg/l.

En saison des pluies

L'augmentation du débit du fleuve s'accompagne d'un accroissement de la concentration de matières en suspension; ce phénomène fut clairement observé par un changement de la coloration de l'eau du fleuve. En saison sèche, lorsque la salinité de l'eau est la plus forte, l'estuaire est bleu-vert. Lorsque le débit du fleuve augmente et que la salinité tombe vers 5 p.p. millier, le fleuve prend une teinte jaune-brune. L'augmentation relative en concentration est plusieurs fois supérieure dans le milieu du chenal que près des rives, ainsi que l'indiquent les relevés en positions 2 et 4 au pont Faidherbe. Il suffit de comparer les plans No 215, 221 et 217 des 30 juillet, 2 et 9 août, pour se rendre compte de la hausse de la concentration à la position 2 au début de la saison des pluies. Le 30 juillet, la concentration maximale est de 100 mg/l, alors que la plus forte concentration enregistrée le 9 août était d'environ 450 mg/l. Deux profils de concentration typiques sont montrés au plan No 217.

L'un de ces profils indique une concentration quasi constante depuis le fond jusqu'à la surface. Ce profil a été pris au moment où la vitesse du courant à direction nord était faible, soit moins de 20 cm/s. L'autre, où les concentrations augmentent de façon significative de la surface au fond, a été pris au moment où le courant sud coulait à 70 cm/s. La fluctuation de la concentration au cours d'une période de marée, ainsi qu'on peut le constater sur le plan No 217, est tout à fait caractéristique de la saison des pluies.

La concentration maximale de matières en suspension se remarque une ou deux heures après que le courant a atteint sa vitesse de pointe.

Les plans No 222 et 223 illustrent les fluctuations de la concentration de matières en suspension au cours de deux périodes de marées en saison des pluies. Les fluctuations sont essentiellement semblables à celles illustrées sur le plan No 217.

Les mesures à la position 4, située près de la rive du fleuve, ont donné des valeurs plus constantes de la concentration. La valeur maximale a été constatée en saison des pluies et elle variait de 50 à 130 mg/l. Les profils de concentration apparaissent sur les dessins 222 et 223.

Les concentrations maximales durant une période de marée, telles qu'enregistrées à 0.3 m au-dessus du fond aux positions 2 et 4, sont indiquées à la fig. A2-6. L'influence des fluctuations d'amplitude de marée, depuis les vives-eaux aux mortes-eaux, est très évidente dans les deux cas.

6.3 Evaluation du transport annuel

Lorsque les répartitions de vitesses et de concentrations en travers le fleuve en période de marée sont connues, il est possible de calculer la valeur moyenne du transport pendant une période de marée entière. Ces calculs ont été faits pour un certain nombre de jours en saison de pluies. Les résultats sont indiqués en tonnes par jour dans la fig. A2-6.

On remarquera que le transport maximal de matières en suspension se produit vers le début de septembre, alors que le débit maximal du fleuve survient en octobre.

Les relevés n'ont pas été continués durant toute la saison des pluies. La fin de cette saison n'est naturellement pas absolument définie, mais à la fin de l'année, le débit du fleuve aura normalement baissé à moins de $200 \text{ m}^3/\text{s}$.

En se basant sur les valeurs de transport de sédiments mesurées au cours de la première partie de la saison des pluies, et ajoutant une estimation de la valeur du transport durant le reste de la saison, on peut estimer que le transport annuel peut atteindre en tout une valeur de près de 900,000 tonnes par année.

6.4 Sédimentation et flocculation

La répartition des vitesses de précipitation des matières en suspension dans le fleuve a été déterminée au moyen de la méthode du tube d'Andreasen. En pratique, cette méthode nécessite une concentration d'environ 100 mg/l pour pouvoir être concluante.

Par conséquent, ces relevés n'ont été pratiqués que durant la saison des pluies, lorsque les concentrations de matières en suspension sont suffisamment élevées.

La fig. A2-7 indique la répartition des vitesses de précipitation à partir de deux échantillons pris durant la période où l'eau de l'estuaire est douce. La répartition est indiquée à la fois pour les vitesses de précipitation et les diamètres des grains. La moyenne des diamètres des deux échantillons recueillis en eau douce est d'environ 0.005 à 0.007 mm, ce qui correspond à une vitesse de dépôt de 0.1 m/hre à 0.2 m/hre.

Lorsque l'eau douce, avec son contenu de matières en suspension, se mêle à l'eau salée, la flocculation des grains a lieu. Les effets de ce phénomène ont été examinés à partir d'échantillons prélevés le 10 septembre. Du sel de mer a été ajouté à l'eau afin d'établir une salinité totale de 30 p.p. millier dans cet échantillon, et la granulométrie du matériel floqué a pu être déterminée. Les résultats, donnés à la fig. A2-7, indiquent que le diamètre moyen a augmenté à environ 0.02 mm et la vitesse moyenne de dépôt est d'environ 1.5 m/h, soit environ dix fois plus que la vitesse de précipitation d'une matière non floquée.

Ces enquêtes confirment le fait bien connu que le taux de sédimentation de matières en suspension sera particulièrement élevé là où la pénétration d'eau salée dans un estuaire d'eau douce crée de la flocculation. La position de la limite de pénétration de l'eau salée au cours de la montée du fleuve est indiquée sur le dessin No 220. En saison sèche, l'eau salée reflue à près de 150 km en amont de Saint-Louis. Lorsque le débit du fleuve augmente, l'eau salée est complètement refoulée hors de l'estuaire en un temps très court. Lorsque le débit baisse, la situation est toute autre. Lorsque le débit a atteint une certaine valeur, la pénétration de l'eau salée débute au moment de la marée de vives-eaux. Il est très probable que cette pénétration se déplacera lentement en amont, tout en étant soumise à certaines fluctuations en période de marées et aux fluctuations déterminées par leur amplitude. Vers la fin de la saison des pluies, la flocculation peut engendrer une sédimentation considérable, même si la quantité de matières en suspension est moindre qu'au début de la saison.

Il existe un remarquable rapport entre la distribution granulométrique des échantillons du lit et ceux de la matière en suspension. La granulométrie des échantillons du lit (échantillons 18 et 37) a été déterminée après déflocculation, et leur diamètre moyen est de 0.006 mm, soit le même diamètre moyen que celui des échantillons de matière en suspension avant la flocculation. Ceci s'accorde avec l'hypothèse que les matériaux tendres du lit du fleuve sont d'origine très récente.

7. TRANSPORT LITTORAL

7.1 Généralités

La formation de la Langue de Barbarie, en repoussant l'embouchure du Sénégal vers le sud sur plus de vingt kilomètres depuis l'endroit où le fleuve rejoint la côte, indique très clairement un transport littoral à direction sud le long de la ligne côtière aux abords de Saint-Louis.

L'importance du transport annuel peut être évalué, soit à partir de la composante riveraine de l'énergie de la houle dans la zone du littoral, ou à partir de considérations fondées sur la vitesse de progression de l'embouchure.

7.2 Le transport littoral, déterminé d'après les modifications topographiques

Il a été établi que le déplacement annuel de l'embouchure du fleuve vers le sud est d'environ 535 m en moyenne, déplacement qui est surtout la conséquence du transport littoral. Cela suppose le remplissage de la partie nord de l'embouchure et l'érosion de la partie sud. La plus grande partie de cette sédimentation et érosion se produit au-dessus du niveau de -2.5 m (IGN). Les profils côtiers et fluviaux au-delà de cette profondeur ne sont pas sensiblement modifiés au passage de l'embouchure. Une coupe transversale de la Langue de Barbarie près de l'embouchure présente une superficie d'environ 1,030 m² au-dessus du niveau de -2.5 m. Dès lors, le transport littoral doit être d'au moins $535 \text{ m} \times 1,030^2 \text{ m} = 550,000 \text{ m}^3$ par année en moyenne. Ce transport littoral, dans une certaine mesure, traverse l'embouchure du fleuve sur la barre. Le volume total de transport de sédiments le long de la côte, par conséquent, doit être plus élevé que cette valeur.

7.3 Le transport littoral, déterminé d'après l'énergie cinétique de la houle

On peut évaluer le transport littoral d'après les rapports empiriques entre la composante riveraine de l'énergie cinétique de la houle et l'importance du transport littoral.

La composante riveraine de l'énergie de la houle libérée sur la côte dépend de l'énergie de la houle en eau profonde, de l'angle d'incidence de la houle et de la réfraction de celle-ci.

On peut calculer l'énergie de la houle d'eau profonde à partir des mesures au houlemètre. La hauteur de houle significative moyenne, de juillet à septembre, était de 0.87 m. Au cours du même mois, la période moyenne de la houle, qui contient presque toute l'énergie, était d'environ 8 secondes, ainsi que nous l'avons indiqué à l'article 5.4.

A partir des considérations de l'article 5.4 sur le transport littoral à la péninsule du Cap Vert, l'angle d'incidence moyen en eau profonde est évalué à environ 63° sur la côte de Saint-Louis. Cet angle en eau profonde diminue en raison de la réfraction de profondeur alors que la houle se propage vers la côte. A une profondeur de trois mètres, l'angle d'incidence est d'environ 15° pour la houle ayant une période de 12 secondes, et d'environ 22° pour celle dont la période est de 8 secondes.

A en juger par les photographies aériennes disponibles, l'angle d'incidence tout près de la zone de déferlement est de 16° à 23° . La profondeur tout près de la zone de déferlement est d'ordinaire de 2 à 4 m. Ainsi, l'angle d'incidence moyen des vagues peut être estimé à 18° .

La réfraction de la houle diminue leur énergie par unité de longueur de la crête avec le coefficient de réfraction à la deuxième puissance. Le coefficient de réfraction de la houle qui se propage à partir de l'eau profonde vers une profondeur de 3 m est d'environ 0.7, pour les périodes variant de 8 à 12 secondes.

Quant aux données actuelles recueillies en juillet, août et septembre 1971, une hauteur de houle significative moyenne de 0.87 m et une période moyenne de 8 secondes se produisent à une profondeur de 14 m. Ces données transposées en valeurs pour eau profonde donnent, avec l'angle d'incidence de 18° que nous avons estimé et le coefficient de réfraction calculé à 0.7, un transport annuel d'environ $500,000 \text{ m}^3$.

On sait qu'en hiver, la houle a une période plus longue et une hauteur significative moyenne beaucoup plus importante. Dès lors, l'importance du transport calculé à partir des conditions qui règnent en été sera insuffisante.

A partir des mesures au houlemètre reçues à ce jour (décembre 1971), il paraît probable que les mesures pour toute l'année mettront en évidence une période moyenne de houle d'environ 10 secondes et une hauteur significative d'environ 1.0 m en moyenne. A partir de ces données houlemétriques et un angle d'incidence de 18° pour les vagues, et en tenant compte des conditions de réfraction, le transport annuel devrait être d'environ 900,000 m³. Lorsque les mesures au houlemètre seront terminées, cette valeur sera évaluée de nouveau.

8. PLAN D'ENSEMBLE DE LA JETEE

8.1 Généralités

Si l'on décide de construire et d'entretenir une voie d'entrée artificielle et profonde dans l'embouchure du fleuve à travers la Langue de Barbarie, il deviendra indispensable de protéger le chenal d'entrée contre l'ensablement massif par le sable du littoral charrié vers le sud.

Diverses méthodes peuvent être essayées pour protéger et entretenir le chenal d'entrée, mais la plus efficace et la plus économique semble être de créer un immense réservoir au nord de l'entrée, en érigéant une jetée qui s'avancerait dans la mer depuis le rivage.

Pareil réservoir aurait pour conséquence d'emprisonner presque tout le sable continuellement charrié du nord. Cependant, le réservoir se remplira graduellement et la quantité de sable débordant autour de l'extrémité de la jetée ne cessera de s'accroître au point qu'elle atteindra la même importance qu'avant la construction de l'ouvrage. Afin de préserver l'effet de rétention de la jetée, il sera donc nécessaire de la prolonger dans la mer, à intervalles réguliers, de sorte que le volume du réservoir soit augmenté continuellement.

Pour tenir compte d'un transport littoral annuel de l'ordre de 900,000 m³, il serait très coûteux, dès le départ, d'ériger une jetée qui puisse constituer un réservoir suffisant pour 20 ou même 10 ans d'emmagasinement, parce que la partie extérieure de la jetée devra être construite en eau très profonde. Il est donc suggéré de commencer par construire une jetée relativement courte dans des profondeurs inférieures à 7 m, puis de la prolonger à intervalles réguliers, par exemple, une fois par année, au fur et à mesure que le réservoir se remplit. Ainsi, en ajoutant une protection bien conçue contre l'érosion du lit marin devant la jetée, les prolongements pourraient être exécutés dans des eaux de profondeur moyenne à frais beaucoup moins, comparativement aux ouvrages réalisés en eau profonde.

Si cette solution est mise en oeuvre, une certaine quantité de sable sera transportée autour de l'extrémité de la jetée, dont la quasi totalité s'accumulera dans le chenal d'entrée, d'où la nécessité de draguer le chenal pour l'entretenir. Le rythme de transport de sable autour de la jetée augmentera à mesure que la profondeur de l'eau diminuera en ce même endroit. On pourra déterminer à quel temps la jetée devra être prolongée en se fondant sur une comparaison entre les frais de construction de celle-ci et les frais de dragage du chenal d'entrée.

On ne pourra vraiment en arriver à cette optimisation qu'après avoir acquis de l'expérience au cours des premières années. Cependant, en s'appuyant sur nos connaissances actuelles des conditions de la houle et sur la vitesse du transport littoral, on peut supposer, pour les fins de ce rapport, qu'il suffira de construire une jetée de 800 m de longueur au début. On estime qu'il sera alors nécessaire d'ériger une première rallonge à la jetée 4 ou 5 ans après le parachèvement des travaux, puis de continuer ainsi à raison de 35 m par année.

L'érosion sera extrêmement active au sud de la jetée le long de la Langue de Barbarie. Le rythme et l'étendue de cette érosion ne peuvent être estimés que très approximativement, si on ne procède à des essais sur modèles. Toutefois, en se fondant sur les connaissances acquises dans des conditions côtières analogues en d'autres lieux, on peut faire les estimations suivantes sur l'évolution côtière au sud de la jetée.

Au sud de la zone d'érosion, le transport littoral annuel sera du même ordre de grandeur qu'avant la construction des jetées, c'est-à-dire environ 900,000 m³ par année.

Une quantité de sable relativement faible sera transportée depuis le nord et contournera les jetées et le chenal. Ce volume pourrait être de 100,000 m³ par année, laissant environ 800,000 m³ par année à enlever de la zone d'érosion au sud des jetées. La longueur de la côte où cette quantité devra être retirée serait probablement de 3 à 5 km dès les premières années après les travaux. Ce qui revient à dire que le volume moyen de sable érodé par mètre de côte dans cette première zone d'érosion serait de l'ordre de 200 m³ par année.

Ce sable proviendra de la Langue de Barbarie, soit d'une zone s'étendant depuis le niveau du terrain situé à +3 m jusqu'à une profondeur de 6 à 10 m, entraînant ainsi un recul horizontal de 15 à 20 m en moyenne. A sa vitesse de pointe, le recul pourrait atteindre le double de ces valeurs, soit 30 à 40 m par année.

Ces vitesses de recul sont tellement importantes que la zone d'érosion s'étendra rapidement vers le sud, et il s'ensuivra une diminution graduelle de la vitesse annuelle de recul.

On doit s'attendre à une érosion importante jusqu'à une distance de 20 km des jetées, au cours des prochaines 10 à 20 années.

On doit se rendre compte que, par la force des choses, ces prévisions ne sauraient être d'une exactitude absolue. Néanmoins, l'ordre de grandeur des volumes de sable transportés le long de cette côte et de l'effet volumétrique des ouvrages devant capter le transport littoral, est connu désormais avec une exactitude telle qu'on ne saurait douter que les proportions du problème sont telles que nous les avons exposées.

Etant donné que la Langue de Barbarie n'a qu'une largeur totale de 300 à 400 mètres, on peut entrevoir de graves conséquences, lorsque dans 10 ou 20 ans l'érosion, côté sous le vent, aura complètement fait disparaître la Langue. Il se peut qu'on soit obligé de recourir à des mesures spéciales pour contenir l'évolution naturelle dans le voisinage du port, comme par exemple, l'aménagement d'une jetée de sable en travers de l'estuaire immédiatement au sud de la nouvelle passe abritée. Il va de soi que cette évolution nécessitera des études approfondies sur modèle mobile afin de pouvoir dégager les caractéristiques principales de cette évolution et déterminer les ouvrages à entreprendre, un échéancier approximatif et l'ordre de grandeur des coûts de construction.

8.2 Volume du réservoir

Il se formera une nouvelle ligne de côte immédiatement au nord de la jetée par suite de l'accumulation du transport littoral. On peut se faire une idée de l'étendue de cette zone d'accroissement en consultant le plan No 224.

A la jetée, la nouvelle ligne du rivage sera presque parallèle au front de la vague déferlante. Si l'on s'éloigne de la jetée vers le nord, l'angle formé par la ligne du rivage et la vague s'ouvre graduellement jusqu'à 180° , lorsqu'on rejoint la ligne côtière originale non affectée.

Le volume du réservoir augmente rapidement avec la longueur de la jetée. D'après l'orientation indiquée sur le plan No 224, une jetée de 600 m de longueur fournit un volume d'environ 2 millions m^3 ; un prolongement de 100 m augmentera celui-ci d'environ 1.4 million m^3 . Une jetée de 1,000 m de longueur crée un réservoir d'environ 9 millions m^3 et un prolongement de 100 m l'accroîtrait d'environ 2.2 millions m^3 . Les valeurs correspondantes pour une jetée de 1,400 m de longueur sont de 20 millions m^3 et 3.7 millions m^3 respectivement.

8.3 Principes de conception de la jetée

Les jetées pouvant répondre aux diverses solutions pour l'aménagement d'un port fluvio-maritime à Saint-Louis devront être conçues en tenant compte des conditions particulières de l'hydraulique et du lit marin dans cette région. Ainsi, dans l'étude des ouvrages de la jetée et leur réalisation, on devra se rappeler que le lit se compose surtout d'un matériau qui s'érode facilement et que le transport du sable est important et continu le long de la côte, du nord au sud; ce transport est particulièrement important sur les barres près de la ligne de côte.

Ce sont là des conditions qui obligent de faire appel à des mesures particulières pour éviter des frais excessifs. Elles fournissent en outre la possibilité de diminuer les frais de construction des jetées en mettant à contribution l'important transport de sable sur le littoral.

Afin d'éviter la réflexion de la houle qui peut entraîner une érosion considérable, il est préférable de faire de la jetée un ouvrage non réfléchissant, comme, par exemple, une construction en enrochement. Cependant, en raison des difficultés et des frais que suppose la nécessité de trouver des pierres suffisamment grosses pour servir de perré à cette jetée, il importe d'aligner celle-ci de telle sorte que la force de la vague contre elle soit minimale. C'est ce qui se produit lorsque la jetée est érigée perpendiculairement au front de la vague.

Sur la côte de la Langue de Barbarie, cette condition est particulièrement facile à réaliser, étant donné que l'orientation des hautes vagues, en eau peu profonde s'inscrit à l'intérieur d'un étroit secteur orienté à quelques degrés au nord de l'ouest. Il s'ensuit que le bout de la jetée formerait un angle environ 30° avec la normale à ligne de côte.

Or, après l'aménagement de cette jetée, le sable va s'amonceler rapidement du côté nord. D'autre part, il y aura également accumulation de sable du côté sud, mais la profondeur de l'eau demeurera de l'ordre de 3 à 5 mètres. Du côté nord, le sable s'accumulera au-dessus du niveau de la mer. Par conséquent, le côté sud sera constamment plus exposé que le côté nord de la jetée, d'où nous concluons que la jetée devrait être orientée légèrement vers le sud afin de protéger davantage le versant sud de l'ouvrage.

C'est pourquoi nous recommandons que la jetée soit alignée de manière à former un angle de 10° avec la normale aux contours originaux de profondeur.

Le bout de la jetée sera toujours passablement exposé. Chaque fois que l'on aura parachevé un prolongement, celui-ci devra être renforcé de très gros quartiers de roc.

Le point le plus critique de l'ouvrage est la protection contre l'érosion du lit marin qui se trouve devant lui. La jetée force en effet le puissant courant littoral induit par la houle qui longe le rivage vers le sud jusqu'à la jetée, à contourner le bout de celle-ci. A ce point, la concentration du courant entraîne une forte vitesse, cause d'érosion très active droit devant la jetée, à moins évidemment qu'on ne prenne des mesures de protection.

La situation qui pourrait se produire, si la jetée est construite à une profondeur de 6 m sans protection du lit marin, est illustrée dans la fig. A2-8. Il y aura formation d'une cavité d'affouillement devant la jetée d'environ 3 m de profondeur, accompagnée d'une barre de sable dans des profondeurs de 3 à 5 m qui se prolongera vers le sud au-delà de la jetée et au large de la cavité d'affouillement.

Dans ces circonstances, la construction de la majeure partie de la jetée pourrait avoir lieu dans une profondeur de 9 m d'eau, laissant une importante partie du corps de la jetée à recouvrir de sable après les travaux.

Toutefois, si le lit de sable est protégé dans l'alignement de la jetée sur une longueur suffisante au bout de l'enrochement, l'apparition de la profonde cavité d'affouillement au pied de l'enrochement pourrait être ainsi évitée. Si l'on opte pour cette solution, il sera possible de s'assurer que la construction de la jetée ne sera pas réalisée dans des profondeurs de plus de 4 ou 5 m. Ceci s'applique même aux parties de la jetée qui reposent là où l'eau était originellement plus profonde, étant donné que l'effet de la jetée sera de faire avancer la barre extérieure plus au large et d'en contourner l'extrémité.

Les travaux de construction de la jetée ne doivent pas se faire trop rapidement afin de permettre à la barre extérieure de se former à son extrémité pendant les travaux de construction.

Afin de protéger le lit devant la jetée durant les travaux, on pourra y déposer une couche d'un mètre de pierres de grosseur appropriée. Sur les bords de cet empierrement il faudra déposer d'autres pierres, tel qu'indiqué dans la fig. A2-9. Au fur et à mesure que les travaux avanceront, un chenal d'affouillement tendra à se former le long de l'empierrement protecteur et il est indispensable de veiller à ce que celui-ci ne soit pas miné par dessous. A cet effet, on suivra les indications de la fig. A2-9.

C'est ainsi qu'à l'extrémité de la jetée, la construction du corps de celle-ci est réalisée sur ce qui paraît être un monticule de sable temporaire submergé, protégé par une couche de pierre.

8.4 Hauteur de houle d'étude pour les ouvrages de la jetée

Ainsi que nous le soulignions plus haut, la forte houle au large de Saint-Louis n'est pas d'origine locale; elle résulte de tempêtes lointaines. Par conséquent, il n'est pas possible de faire des prévisions valables sur les conditions de la houle en recourant à des calculs théoriques. Les critères des études devront donc être fondés exclusivement sur des mesures faites in situ.

A l'heure actuelle, les relevés houlemétriques n'ont été faits qu'en été, saison qui ne se prête pas pour juger des conditions extrêmes. D'autre part, les renseignements reçus de sources locales indiquent que la hauteur des houles en hiver ne diffère que peu de celle des houles d'été.

Pour les fins de ce rapport, la hauteur de la houle d'étude a donc été calculée à partir des relevés d'été.

Pour des ouvrages en enrochement, on choisit habituellement une hauteur de houle d'étude qui ne peut être dépassée qu'à intervalles modérément longs, disons 50 ans. La raison en est que si les hypothèses d'étude ne sont dépassées que modérément, le dommage que peut subir l'enrochement ne peut être que mineur et facilement réparé.

D'après les statistiques houlemétriques compilées pour l'été 1971, une hauteur de houle significative de 2.4 m, estime-t-on, correspond à une période de retour d'une cinquantaine d'année. Cette hauteur de houle est transformée par réfraction et déferlement dans la zone comprise depuis une profondeur d'eau de 14 m (à l'endroit du houlemètre) jusqu'à la profondeur de 5 à 6 m (propice à la construction de la jetée); en conséquence, la hauteur de houle d'étude significative est de 2.7 m.

Cette évaluation n'a qu'une valeur préliminaire et devra être examinée de nouveau à la lumière des résultats des relevés d'hiver en cours.

9. VITESSE DE SEDIMENTATION DANS LE PORT

Les modifications apportées aux conditions hydrauliques par les aménagements portuaires, notamment par le dragage des chenaux de navigation, vont probablement entraîner une sédimentation récurrente qu'il faudra enlever par un dragage d'entretien.

9.1 Projets de port fluvial

Deux genres différents de sédimentation peuvent se produire selon les solutions envisagées pour un port fluvial: (1) Dans le chenal d'accès, une partie du sable transporté au bout de la jetée finira par se déposer dans le chenal, où l'effet de purge est négligeable. (2) les sédiments fins transportés par le fleuve vont se déposer dans les zones abritées, surtout vers la fin de la saison des pluies, où la flocculation fera sentir ses effets à l'emplacement du port.

Le chenal d'accès

La vitesse de sédimentation dépend avant tout de la quantité de sable transporté au bout de la jetée et de l'effet de purge des courants du chenal. Ce sont là deux facteurs qu'influencent les saisons.

En saison sèche, lorsque le transport littoral est le plus important, le transport du sable peut être deux ou trois fois supérieur à ce qu'il est en été.

Durant la saison des pluies, la force du débit va donner lieu à une forte vitesse de courant dans la partie la plus étroite du chenal d'accès projeté. D'autre part, en cette partie de l'année, il s'agit d'eau douce. L'effet de densité entraînera une réduction de l'effet de purge non loin de la ligne de côte, si bien que l'effet de purge sera presque nul au niveau du lit dans la partie externe du chenal, où par conséquent, la sédimentation va probablement se produire. En saison sèche, le débit de la marée montante et de la marée descendante se compose surtout d'eau salée, ce qui tendrait à accroître l'effet de purge à la sortie du chenal, même si le débit est beaucoup plus faible.

En principe, il est possible d'ériger et de continuer à prolonger la jetée nord à une longueur telle qu'il ne soit aucunement nécessaire de draguer le chenal d'accès pour l'entretenir. Cette solution ne serait probablement pas économique. Au lieu de cela, on estime qu'il est préférable de construire et de prolonger la jetée en temps opportun, c'est-à-dire lorsqu'environ le tiers ou le quart de tout le sable transporté du nord, soit 200,000 m³ à 300,000 m³ par année, contournera le bout de la jetée. Ainsi en combinant le prolongement de la jetée et les opérations de dragage, on arrivera à en maintenir les frais au minimum possible. Le sable qui contourne la jetée sera déposé principalement à la sortie du chenal d'accès.

Le port fluvial

Dans les parties draguées du fleuve, notamment dans la section portuaire d'une largeur d'environ 300 m et d'une longueur d'environ 1,200 m, on peut s'attendre à un certain envasement.

Deux phénomènes peuvent être à l'origine de cet envasement: (1) Les courants secondaires causés par les méandres du fleuve et (2) la flocculation qui se produit à la pointe du front de l'eau salée lorsque celle-ci se trouve dans cette zone.

Dans la zone nord de l'emplacement portuaire, l'effet de méandre tend à éroder la rive occidentale et à déposer des matériaux sur la rive orientale à l'emplacement même du port.

Le rythme de sédimentation engendrée par ces phénomènes dépend de la concentration de matières en suspension et de la vitesse de précipitation des grains. La fig. A2-6 indique, qu'à 0.3 m au-dessus du lit, des concentrations maximales supérieures à 100 mg/l se produisent environ 4 ou 5 mois par année et une concentration maximale supérieure à 500 mg/l, environ 1 ou 2 mois par année.

Nous traitons de l'effet de flocculation au chapitre 6, alinéa 4. Au début de la saison des pluies, lorsque l'eau commence à monter dans le fleuve, l'eau salée est rapidement chassée de celui-ci et le front d'eau salée passe à travers la zone du port en quelques jours, en un temps où la concentration maximale de matières en suspension est d'environ 200 mg/l à 500 mg/l.

Etant donné la courte durée de ce passage, il ne saurait se produire que peu d'envasement. Toutefois, à la fin de la saison des pluies, lorsque décroît le débit du fleuve, les conditions dans lesquelles les fronts d'eau salée peuvent se trouver dans le voisinage du port existent pendant une période beaucoup plus importante. La durée de cette période dépend du taux de décroissement du débit et des variations de la marée; en général, cette période peut durer de 2 à 4 semaines. Durant ce temps, la concentration maximale de matières en suspension est du même ordre de grandeur qu'au début de la saison des pluies.

A partir de ces considérations, on peut conclure qu'un envasement important se produira durant une très petite partie de l'année. Dès lors, l'envasement annuel sera assez faible. Malheureusement, il n'est pas possible de calculer la vitesse d'envasement en se fondant sur les données dont nous disposons. Cependant, en faisant une comparaison avec d'autres estuaires où se produisent des effets d'envasement analogues, on peut estimer que le taux d'envasement ne dépassera pas 0.3 m par année en moyenne dans le bassin du port, même près des ouvrages portuaires du côté oriental du fleuve. Dans le chenal, l'envasement sera beaucoup moins important, soit environ 0.1 ou 0.2 m par année en moyenne.

9.2 Projets de port côtier

Les conditions de la sédimentation dans le chenal donnant accès au port côtier sont en principe tout à fait semblables à celles d'un chenal donnant accès à un port fluvial, sauf pour l'absence d'effet de purge.

Ainsi, presque tout le sable transporté autour de la jetée sera déposé dans le profond chenal d'approche conduisant au port.

Les frais combinés des prolongements de la jetée et du dragage du chenal pour ce projet sont estimés à 20 pour cent supérieurs à ceux d'un chenal donnant accès à un port dans l'estuaire.

10. REFERENCES

1. O.E.R.S./P.N.U.D. 1969, Saint-Louis, V.V. Ivanov
Rapport sur les études hydrologiques du fleuve Sénégal.
Annexe 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12.
2. TABLES DES MAREES DE L'AMIRAUDE VOL. II 1970
3. ORSTOM - MAS, 1967
Monographie hydrologique du fleuve Sénégal, 3ème partie.
4. MAS 1954
Rapport sur les possibilités d'aménagement du
pont Faidherbe en barrage mobile.
5. WHARF DE NOUAKCHOTT 1967
République Islamique de Mauritanie
Ministère de l'équipement.
6. P. LOUISE 1919
Rapport sur la propagation en marée.
7. I.F.A.N.W. 1955
Note sur la houle devant Saint-Louis du Sénégal.
8. O.E.R.S./P.N.U.D. 1971, Saint-Louis, I.K. Baziukov
Recommandations pour l'aménagement des conditions de
navigation sur le fleuve Sénégal. Tome 1.

FREQUENCY OF DEPTHS ON THE BAR

FREQUENCES DES PROFONDEURS SUR LA BARRE

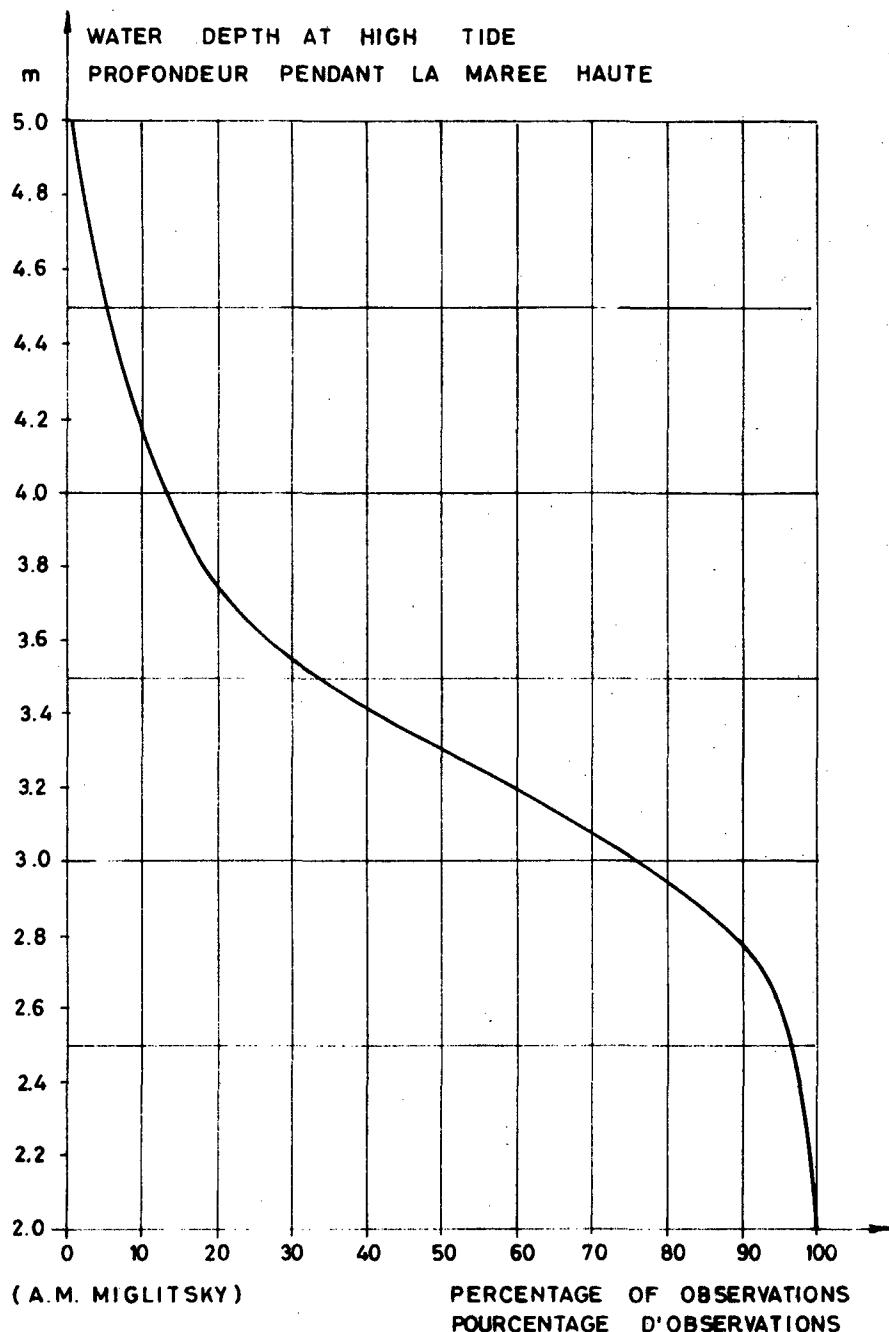
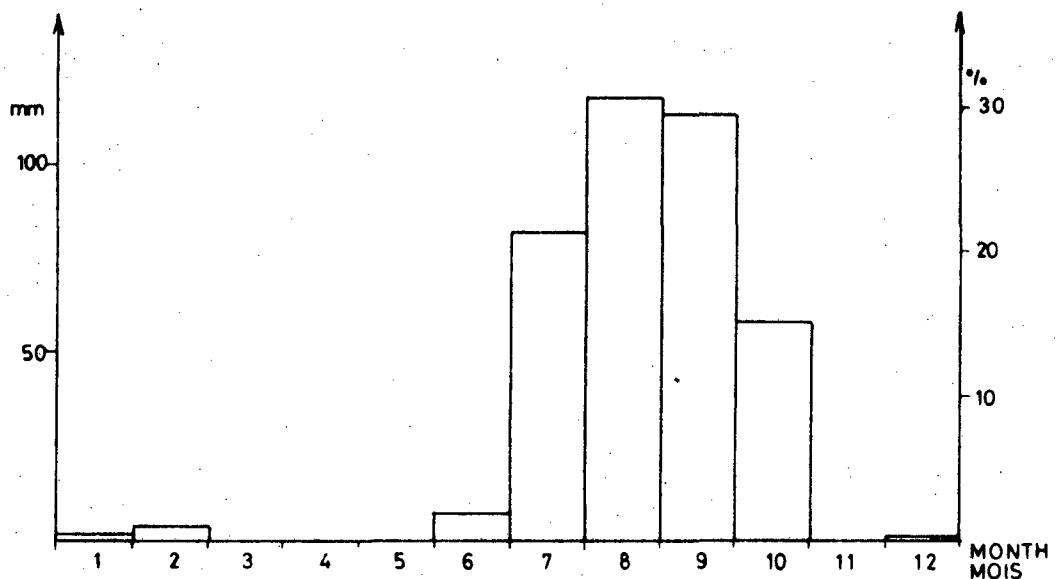
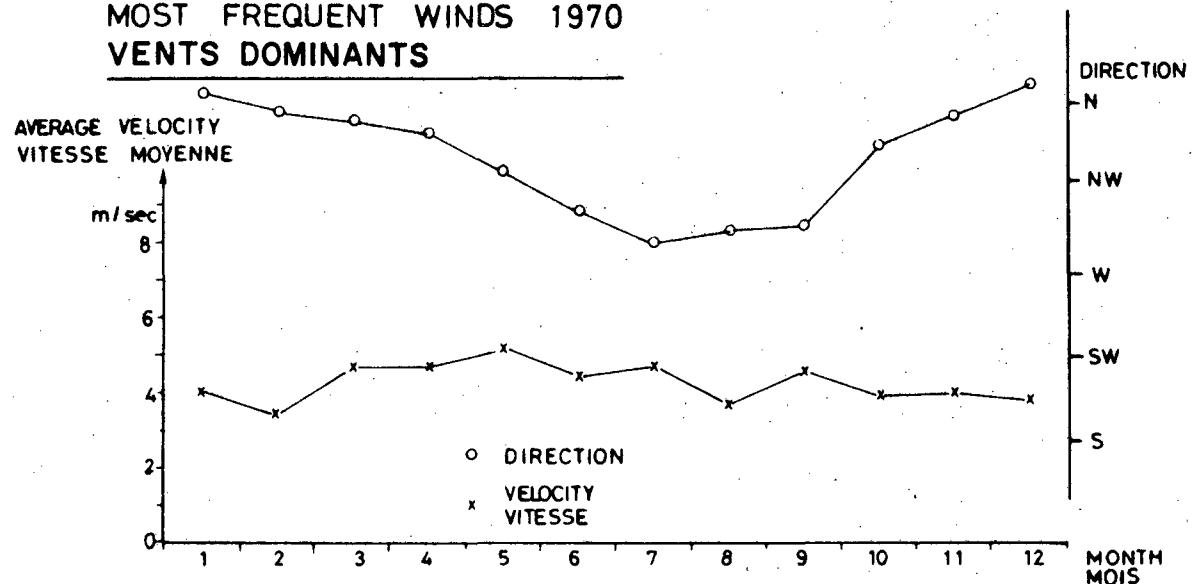


FIGURE A2-1

AVERAGE MONTHLY PRECIPITATION 1965 - 1970
PRECIPITATION MENSUELLE MOYENNE

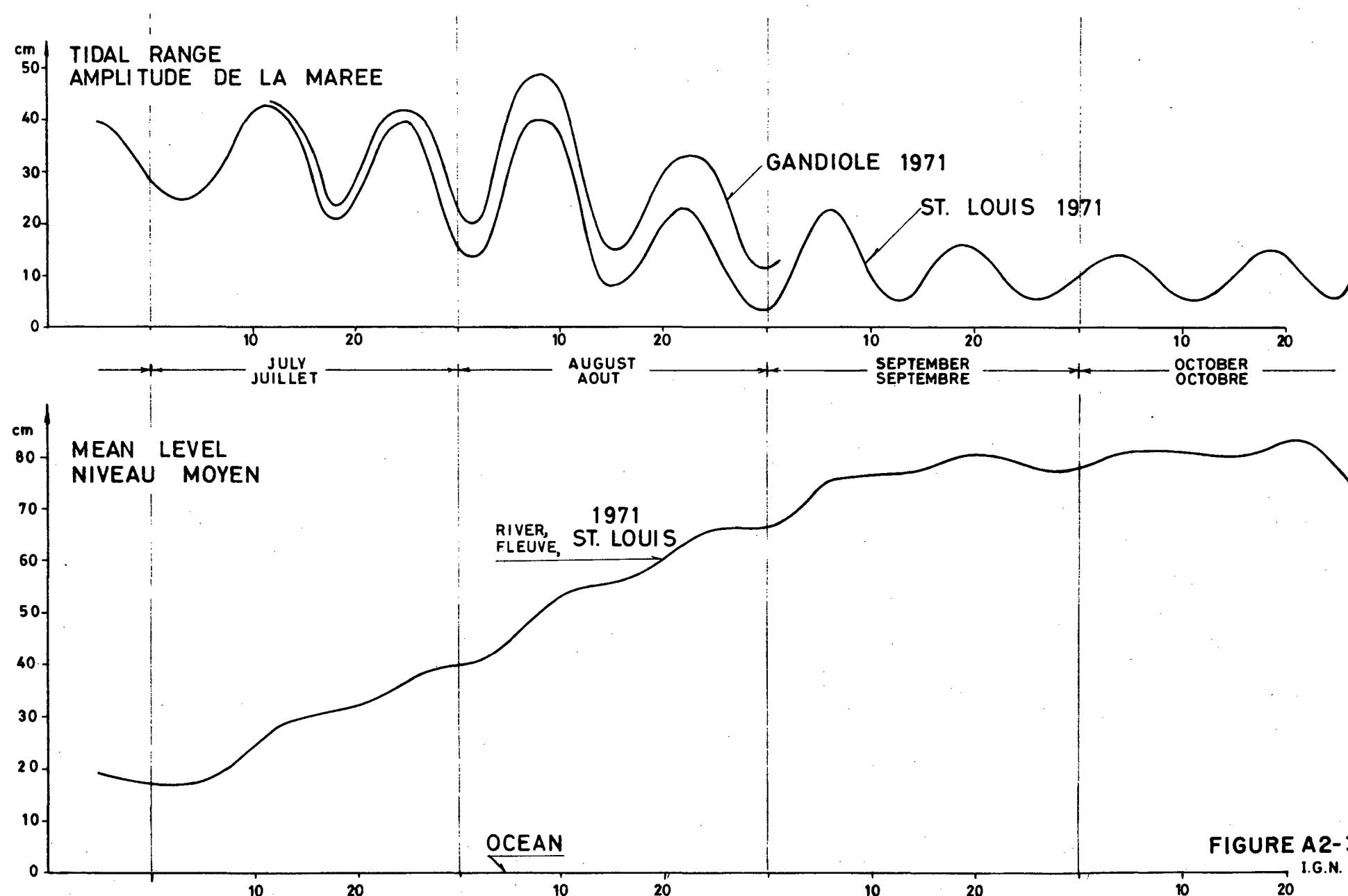


MOST FREQUENT WINDS 1970
VENTS DOMINANTS



MAXIMUM WIND VELOCITY (m/sec) 1965 - 1970
VITESSE MAXIMALE DU VENT

YEAR ANNEE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MONTH MOIS
1965	11	10	11	10	13	13	21	17	15	16	9	12	
1966	11	13	14	14	14	12	15	22	20	15	10	9	
1967	14	12	12	12	15	11	16	16	17	17	11	11	
1968	12	13	12	12	12	12	16	25	24	15	11	14	
1969	8	9	10	10	12	23	12	17	41	13	12	12	
1970	14	16	15	13	12	14	21	14	12	12	8	10	



CUMULATIVE DISTRIBUTION OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHTS
 REPARTITION CUMULATIVE DES HAUTEURS SIGNIFICATIVES DE LA HOULE

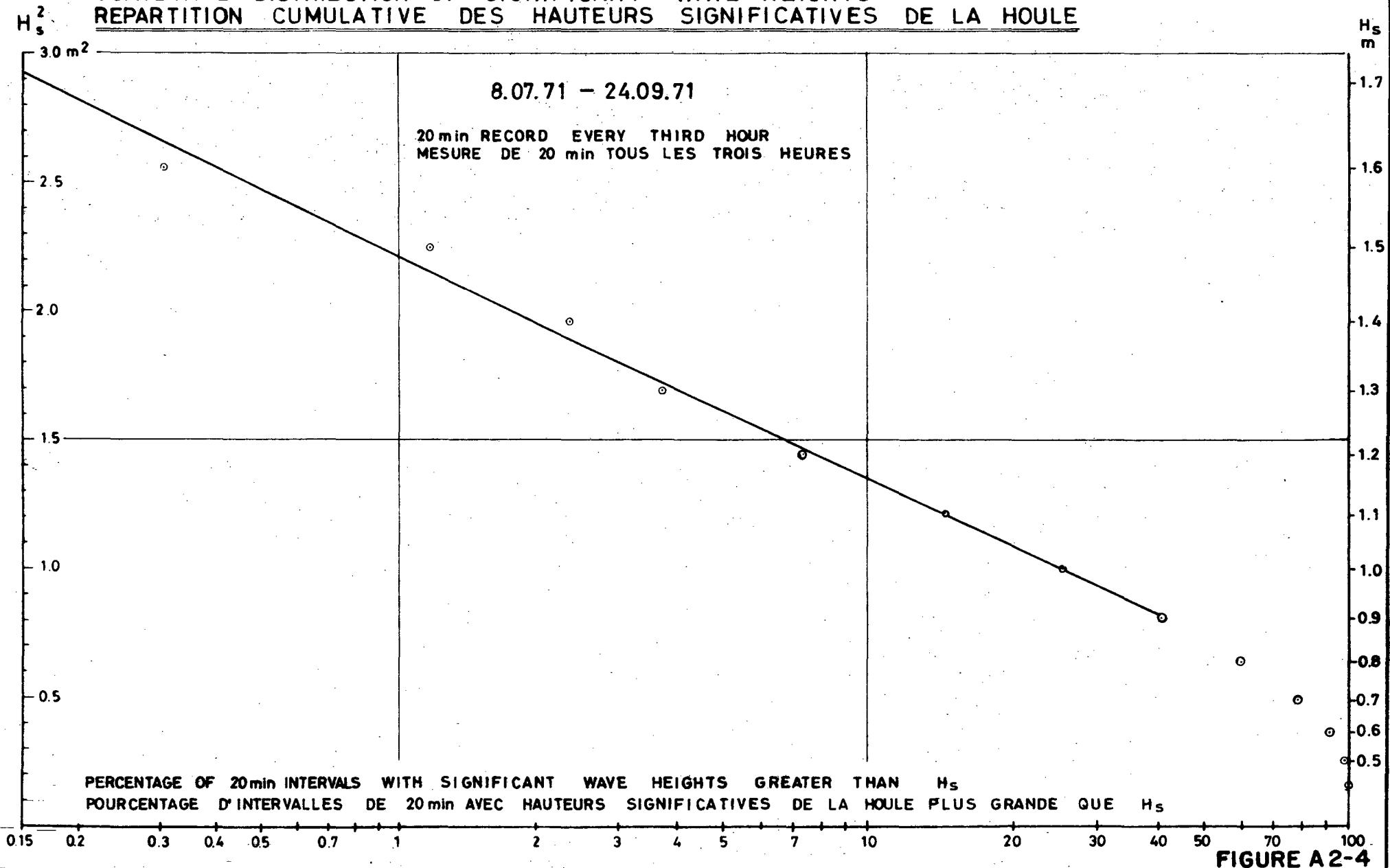


FIGURE A2-4

DAILY CURRENT EXTREMES - EXTREMES JOURNALIERS DU COURANT

VELOCITY OF NORTH GOING CURRENT
VITESSE DU COURANT VERS LE NORD

cm/sec

JULY
JUILLET

50

40

30

20

10

0

5

10

15

20

25

30

5

10

15

20

25

30

5

10

15

20

25

AUGUST
AOUT

50

40

30

20

10

0

RIVER DISCHARGE
DEBIT FLUVIAL

m³/sec

1000

500

0

500

750

1250

1750

2000

m³/sec

RIVER DISCHARGE
DEBIT FLUVIAL

VELOCITY OF SOUTH GOING CURRENT
VITESSE DU COURANT VERS LE SUD

cm/sec

50

40

30

20

10

0

FIGURE A2-5

SUSPENDED LOAD — MATIERES EN SUSPENSION

TOTAL TRANSPORT OF SUSPENDED LOAD
TRANSPORT TOTAL DE MATIERES EN SUSPENSION

tons/day
tonnes/jour

CONCENTRATION OF SUSPENDED LOAD
CONCENTRATION DE MATIERES EN SUSPENSION

mg/ltrs.
p.p.m.

LEGEND: LEGENDE:

MAXIMUM CONCENTRATION
ABOVE BOTTOM
AU-DESSUS DU FOND

0.3m — x — POSITION 2

0.3m — - - - - POSITION 4

— o — TOTAL TRANSPORT
TRANSPORT TOTAL

S SPRING TIDE
VIVES-EAUX

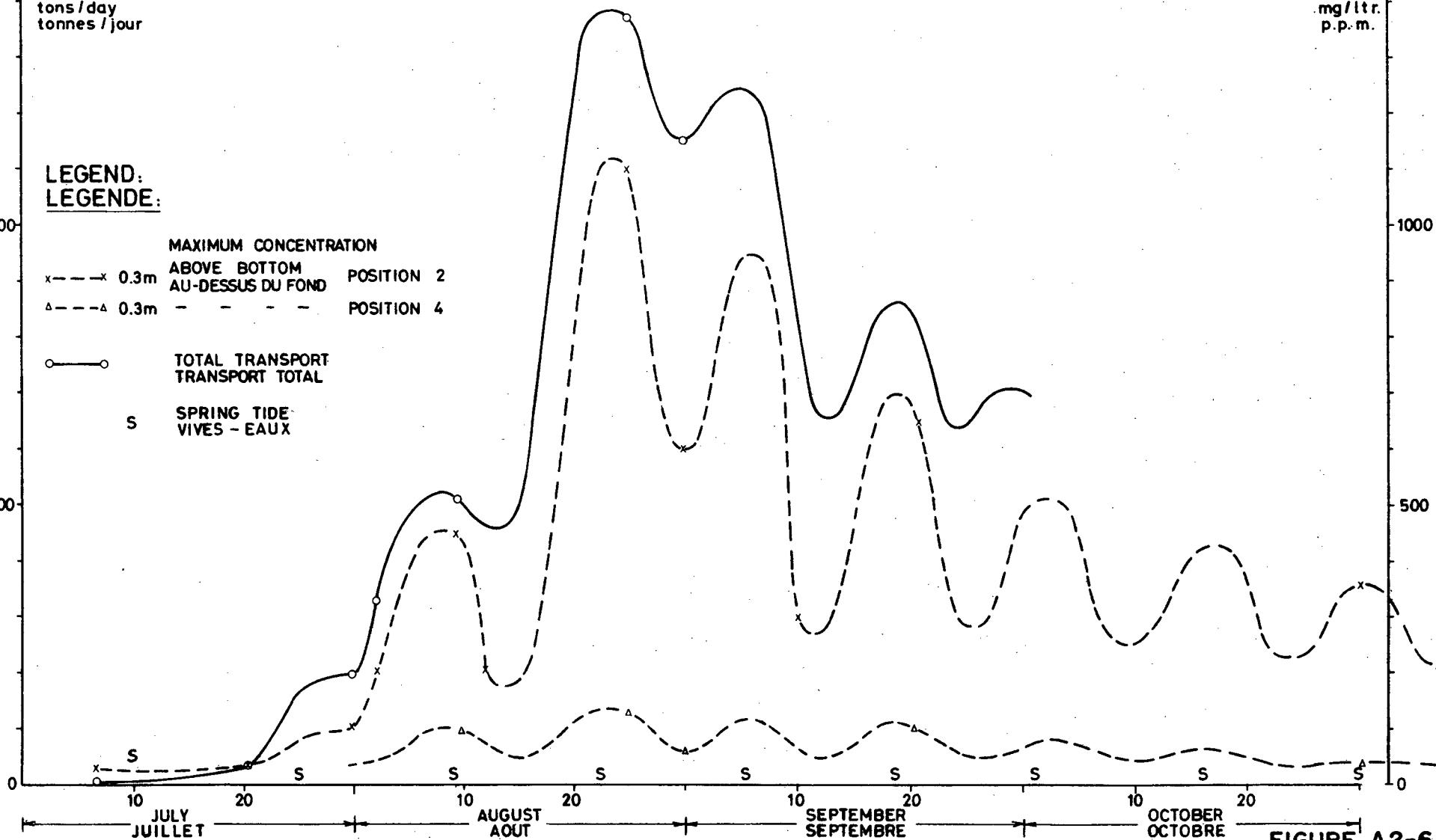


FIGURE A2-6

SETTLING VELOCITIES - VITESSES DE PRECIPITATION

LEGEND:

LEGENDE:

DATE	TIME HEURE	CONCENTRATION	SALINITY SALINITE	MEAN DIAMETER DIAMETRE MOYEN
• 12.8.71	08.40	179 mg/ltr.	0 ‰	0.005 mm
X 10.9.71	15.00	242 mg / ltr.	0 ‰	0.007 mm
○ 10.9.71	15.00	194 mg / ltr.	30 ‰	0.020 mm

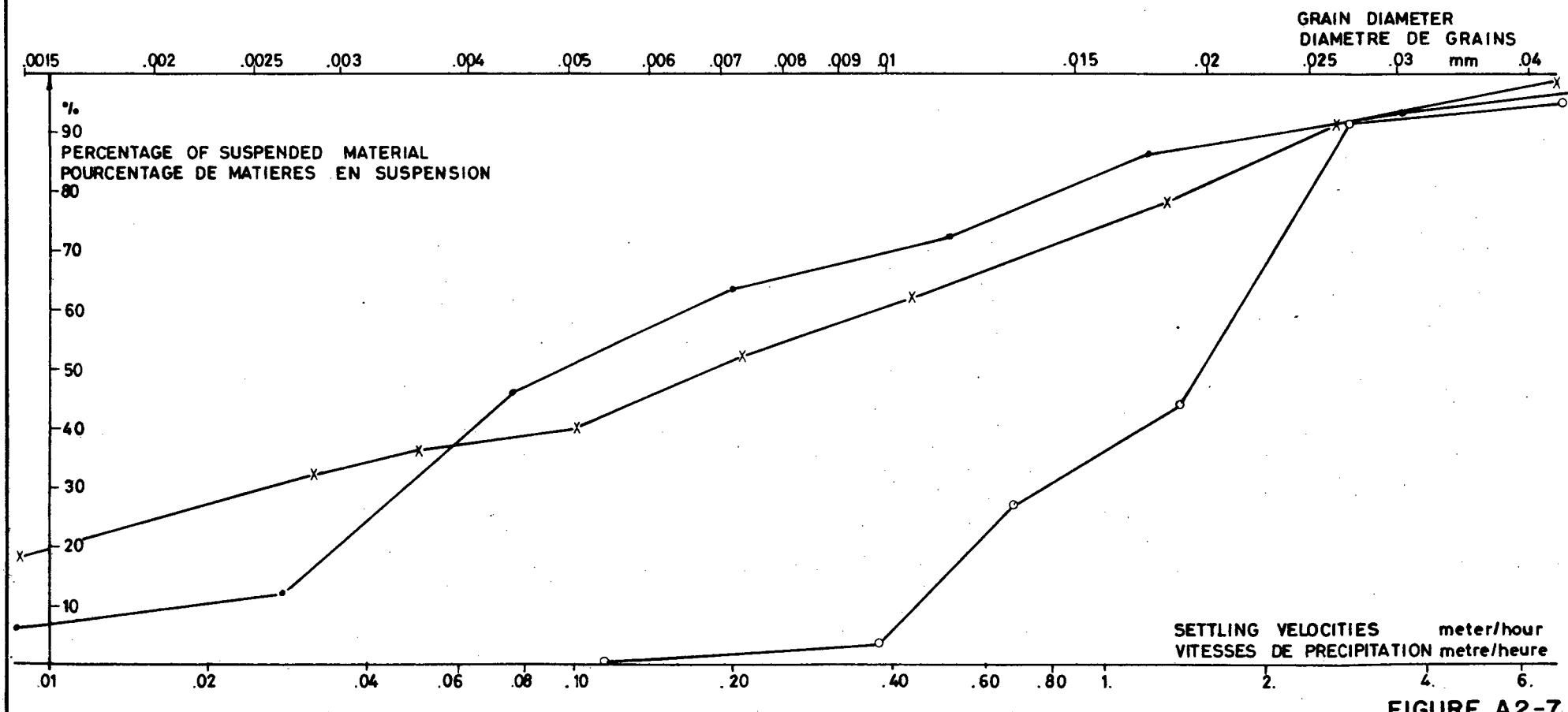


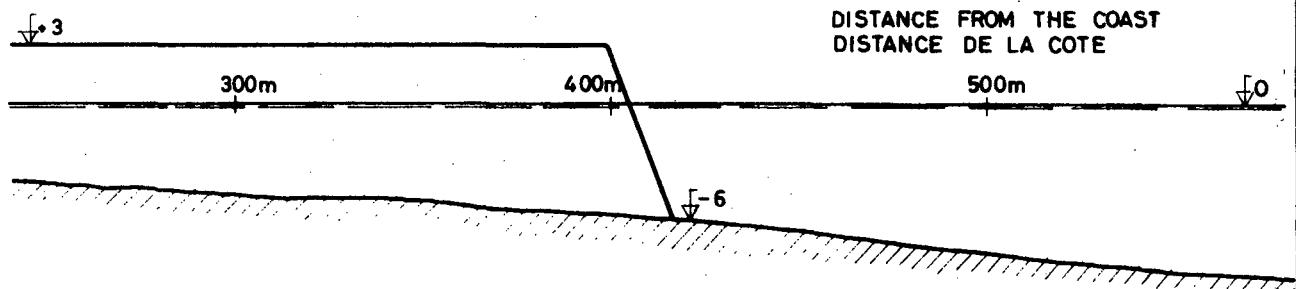
FIGURE A2-7

BREAKWATER — JETÉE

1 : 2000

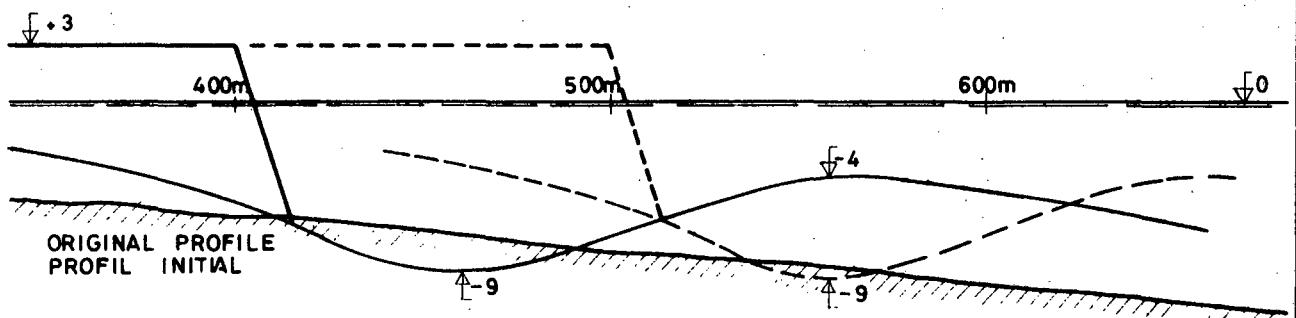
1 : 400

DISTANCE FROM THE COAST
DISTANCE DE LA COTE

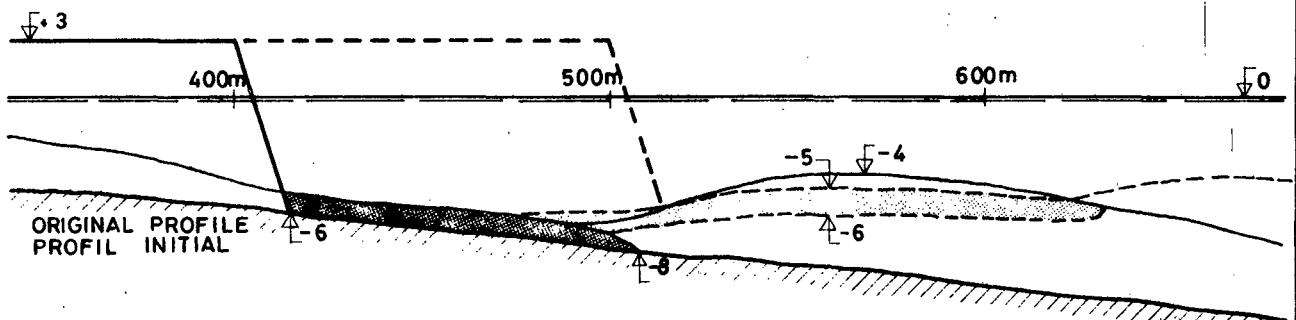


BREAKWATER CONSTRUCTION CONSTRUCTION DE JETÉE 400m — 500m

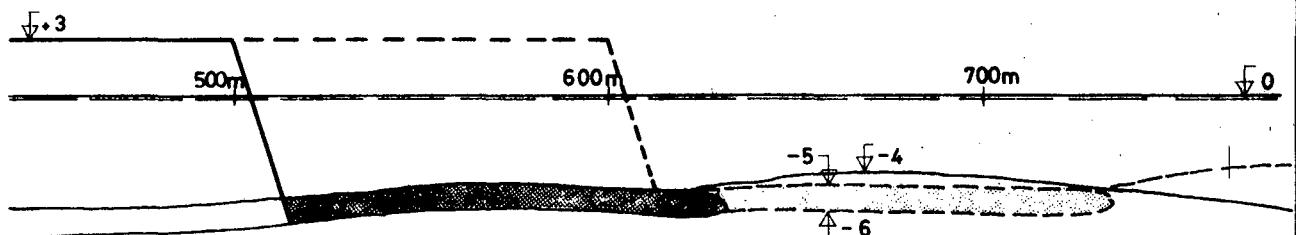
WITHOUT BOTTOM PROTECTION
SANS PROTECTION DU FOND



WITH BOTTOM PROTECTION
AVEC PROTECTION DU FOND



BREAKWATER CONSTRUCTION CONSTRUCTION DE JETÉE 500m — 600m



EDGE PROTECTION — PROTECTION DU BORD

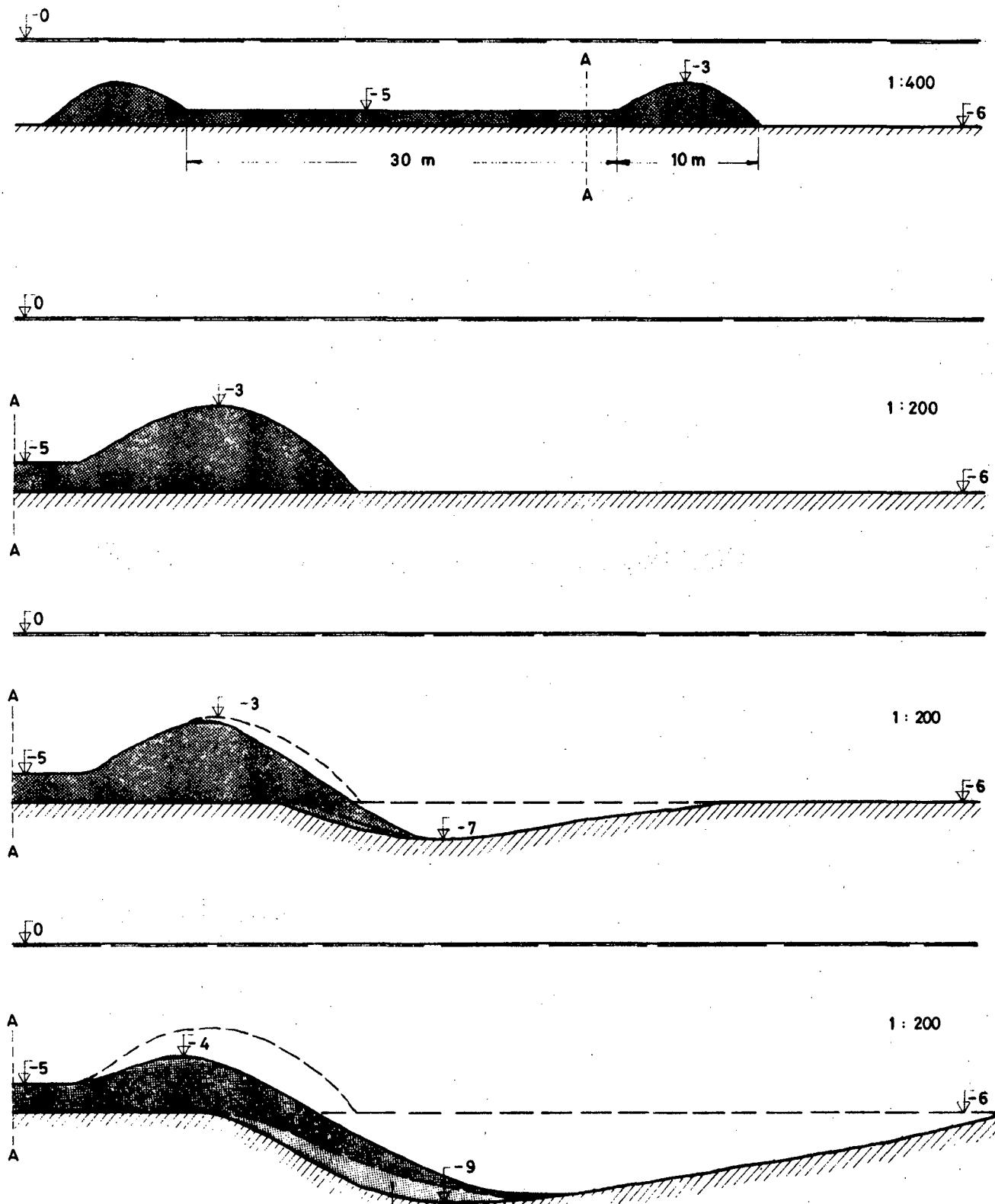


FIGURE A 2-9

ANNEXE 3

RAPPORT TOPOGRAPHIQUE

TABLE DES MATIERES

	Page
1. INTRODUCTION	A3-1
2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES EXISTANTES	A3-1
3. TRAVAUX SUR LE TERRAIN	A3-1
4. CARTOGRAPHIE	A3-2

LISTE DES PLANS*

<u>No.</u>	<u>Titre</u>
301	Ile de Saint-Louis et la Langue de Barbarie; 1:10,000
302	Systèmes topographiques
303	Stations topographiques permanentes

* - Les plans sont inclus à la fin de l'annexe 3.

1. INTRODUCTION

Les travaux topographiques exécutés dans le cadre de cette étude visaient deux objectifs principaux:

1. Tracer des cartes de régions qui présentent un intérêt en vue des futurs aménagements portuaires de Saint-Louis. Dans le cas de Kayes et d'Ambididi, ces travaux ont été poursuivis par la mission des Nations Unies.
2. Fournir les relevés de position en vue des sondages hydrographiques dans l'estuaire et dans la mer. Pour cette partie des travaux, se reporter à l'annexe 2: Etudes hydrologiques.

2. DONNEES TOPOGRAPHIQUES EXISTANTES

Nous avons obtenu les données topographiques existantes des sources suivantes:

1. Rapport des Nations Unies intitulé: "Rapport sur les Etudes Hydrologiques du Fleuve Sénégala" (Saint-Louis 1969).
2. Service Topographique de la Région du Fleuve, Saint-Louis.

Ces sources nous ont fourni la documentation de base nécessaire pour la région de Saint-Louis et pour la région de l'estuaire à Gadiole.

3. TRAVAUX SUR LE TERRAIN

Le système des relevés apparaît sur le plan No 302. Ce système est relié à celui de la ville de Saint-Louis ainsi qu'à des points dans la région de Gadiole. Le plus occidental des deux polygones entre les points 1 et 18A fut utilisé comme base pour le positionnement des relevés hydrographiques en mer.

Les points suivants furent établis en permanence sur socle en béton: Points numéros 1, 3A, 4, 5, 6, 8, 12, 18A, 31 et 34.

On trouvera une description de ces points et leurs coordonnées sur le plan No 303.

Le repérage au sol aux fins de cartographie a été fait en déterminant les coordonnées et les niveaux d'un certain nombre de points facilement reconnaissables sur les photographies aériennes.

4. CARTOGRAPHIE

Les cartes furent tracées à partir de photographies aériennes obtenues de l'Institut Géographique National (IGN) à Dakar et à Paris. Les séries suivantes furent utilisées:

A0 806/150 (1:15,000) de 1968
AO 694/60 (1:6,000) de 1965
AOF 165/150 (1:15,000) de 1958

Une mosaïque à l'échelle de 1:15,000 a été rassemblée à partir de photographies datant de 1958 et 1968. Ce travail fut exécuté par Photographic Surveys Inc. de Montréal.

Ces mêmes séries furent utilisées pour tracer une carte à l'échelle de 1:10,000, (voir plan No 301). Ce travail fut exécuté par Landinspektørernes Luftfotoopmaling A/S, Copenhague.

ANNEXE 4
RAPPORT DE GENIE CIVIL

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1. MATERIAUX DE CONSTRUCTION, MAIN-D'OEUVRE ET EQUIPEMENT	A4-1
2. RESEAUX DE TRANSPORT ACTUELS ET PLANS D'AMENAGEMENT URBAIN	A4-2
3. PONT FAIDHERBE	A4-2
3.1 Description	A4-2
3.2 Inspektion	A4-2
3.3 Manoeuvre d'ouverture	A4-3
3.4 Comptage de circulation	A4-4

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES *

<u>NO</u>	<u>TITRE</u>
1.	Comptage de circulation, Saint-Louis-du-Sénégal
2.	Pont Servatius - véhicules
3.	Pont Servatius - piétons
4.	Pont Faidherbe - véhicules
5.	Pont Faidherbe - piétons

* Les figures et tableaux inclus à la fin de l'Annexe 4

1. MATERIAUX, MAIN-D'OEUVRE ET EQUIPEMENT

L'étude sur la disponibilité des matériaux de construction, de la main-d'œuvre et de l'équipement s'est poursuivie sous forme d'entretiens avec des représentants des autorités, des organisations et des sociétés de ces domaines. En outre, des chantiers de construction, des carrières, etc. furent visités.

Les autorités, organisations et sociétés suivantes furent consultées:

- Bureaux de Recherches Géologiques et Minières, Dakar
- Le Centre de Documentation pour le Programme de Développement du Bassin du Fleuve, Saint-Louis
- La Chambre de Commerce, Saint-Louis
- M. Chesneau et J. Vérola, Architectes D.P.L.G., Dakar
- La Direction du Plan, Bamako
- La Direction du Port Autonome de Dakar
- Etablissements Colas, Dakar
- Le Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics, Dakar
- Les Messageries du Sénégal, Saint-Louis
- Le Ministère des Travaux Publics, Bamako
- Le Ministère des Travaux Publics, Dakar
- La Régie des Chemins de Fer du Sénégal, Dakar
- Le Service des Travaux Publics, Kayes
- Le Service des Travaux Publics de la Région du Fleuve, Saint-Louis
- La Société Française des Travaux Publics
- SOCOCIM, Rufisque

Les résultats de ces études ont été incorporés aux estimations du coût. Les prix de base des matériaux ont été tirés de la liste officielle des prix publiée par le gouvernement sénégalais: "Prix des Matériaux de Construction, des Fournitures de Travaux Publics et Prix de Base pour le Mois de mai 1971".

Cette liste est donnée après l'article 3.3. Pour les conclusions essentielles de ces études, voir la section 4.8, Vol. I.

2. RESEAUX DE TRANSPORT ACTUELS ET PLANS D'AMENAGEMENT URBAIN

Voir Volume I, section 4.9

3. PONT FAIDHERBE

3.1 Description

Le pont Faidherbe enjambe le grand bras du fleuve Sénegal à Saint-Louis et relie l'île Saint-Louis à l'île de Sor et la terre ferme. (Voir plan n° 9).

Il s'agit d'un pont de 7 travées (d'ouest en est, mesurant 43, 73 et 5 de 78 m) d'une longueur totale de 506 m. La travée de 73 m est une travée tournante qui, une fois ouverte, laisse deux voies libres de 30 m. La superstructure est composée de poutres en treillis. Les piliers et la culée du côté de Saint-Louis sont des caissons foncés à l'air comprimé. La culée du côté de l'île de Sor repose sur pieux. Le pont fut inauguré le 19 octobre 1897. On trouve une description dans "Le Génie Civil", n° 802, datée du 23 octobre 1897. La superstructure fut complètement rénovée de 1930 à 1932.

Les travaux sur le terrain comprenaient:

- 1) Inspection détaillée visuelle, y compris la photographie
- 2) Etude détaillée de la manœuvre d'ouverture de la travée tournante
- 3) Comptage de la circulation sur le pont pendant une période de 24 heures.

3.2 Inspection

L'inspection n'a porté que sur la partie du pont qui se trouve au-dessus de la ligne d'eau. En voici les résultats essentiels:

- 1) Piliers: Les parties visibles sont en bon état. Pas d'affaissement appréciable.
- 2) Appuis: Les appuis fixes sont rouillés. Les galets sont également rouillés et apparemment ils ne fonctionnent pas.
- 3) Membrures inférieures: La corrosion est très poussée, notamment sur les semelles horizontales, allant s'aggravant d'ouest en est, probablement parce que les pièces du côté ouest sont abritées par l'île Saint-Louis. L'acier des pièces corrodées des semelles est lamellé. La corrosion est également avancée dans l'âme des membrures à leur jonction avec les pièces diagonales.

- 4) Pièces diagonales et verticales: Corrosion très avancée à la partie inférieure des diagonales, augmentant à mesure qu'on se dirige vers l'est. L'acier des pièces corrodées est lamellé.
- 5) Membrures supérieures: Pas de corrosion sérieuse.
- 6) Contreventement supérieur: Corrosion très poussée des cornières diagonales dont plusieurs, en particulier dans la partie est du pont, sont tellement rouillées que leur force résiduelle est négligeable.
- 7) Le trottoir côté sud est occupé par la conduite d'eau qui dessert la partie ouest de la ville. On procède actuellement au renouvellement du platelage, de la poutre de rive et du garde-corps.
- 8) Tablier, poutres secondaires longitudinales et transversales sont dans un état satisfaisant, mais la chaussée a besoin d'être réparée en plusieurs endroits.
- 9) Le mécanisme d'ouverture, les rouleaux, etc. avaient été graissés récemment et fonctionnent. Toutefois, on constate maintes défaillances dans l'entretien.

3.3 Manoeuvre d'ouverture

Pendant les quatre mois du séjour de l'équipe sur le terrain à Saint-Louis, le pont n'était ouvert que trois fois, dont l'une fut l'objet d'une étude détaillée, le samedi 4 septembre 1971. Déroulement de la manoeuvre:

Heure 18h35	Début des préparatifs
18h48	Déconnection de la conduite d'eau
18h59	Interruption de la circulation
19h04	Commencement de la rotation
19h32	Arrêt de la rotation
19h36	Commencement de la rotation de retour
19h57	Arrêt de la rotation de retour
19h57	Reprise de la circulation des piétons
20h02	Les bouts de la travée tournante remontés
20h06	La circulation des piétons redevient normale
20h09	Reprise de la circulation automobile
20h30	La conduite d'eau est reconnectée.

Les manoeuvres d'ouverture et de fermeture de la travée tournante étaient exécutées manuellement par quatre hommes. Le jeu libre entre la travée tournante et les travées avoisinantes était suffisant.

L'angle de rotation de la travée était d'environ 75 degrés, ce qui correspond à une vitesse d'environ 3 degrés/minute.

3.4 Comptage de circulation

Objectifs du comptage:

- 1) Procurer une base pour une estimation de la capacité du nouveau pont.
- 2) Evaluer les fluctuations horaires de la circulation.

La connaissance des fluctuations horaires présenterait un intérêt particulier pour déterminer des horaires d'ouverture fixes pour le pont.

Les résultats du comptage sont présentés sur les pages suivantes:

COMPTAGE DE CIRCULATION

Le comptage de circulation avait lieu le 1er et le 2 septembre 1971 pendant une période de 24 heures, de six heures du matin à six heures du matin en deux endroits:

- 1) Au pont Servatius, entre Saint-Louis et la Langue de Barbarie.
- 2) Au pont Faidherbe, entre Saint-Louis et l'île de Sor.

La circulation fut enregistrée manuellement en comptant le nombre de voitures particulières, de camions, d'autobus, de voitures à traction animale, de motocyclettes, de bicyclettes et de piétons, par périodes de quinze minutes.

Les résultats sont présentés dans les tableaux 1 à 4.

Au cours de la période de 24 heures, 7,548 véhicules et 19,375 piétons ont traversé le pont Servatius et 13,043 véhicules et 15,747 piétons ont traversé le pont Faidherbe. Les fluctuations de la circulation apparaissent aux tableaux 2 @ 5, dans les pages qui suivent.

La circulation de pointe suivante était observée:

- 1) Pont Servatius

	<u>Vers Saint-Louis</u>	<u>De Saint-Louis</u>
Voitures particulières	139	171
Camions	18	5
Voitures à traction animale	26	50
Motocyclettes		46
<u>Bicyclettes</u>	<u>97</u>	<u>27</u>
Total des véhicules par heure	331 (10 ⁴⁵ -11 ⁴⁵)	332 (11 ³⁰ -12 ³⁰)
Total des piétons par heure	898 (9 ³⁰ -10 ³⁰)	1223 (7 ³⁰ -8 ³⁰)

- 2) Pont Faidherbe

	<u>Vers Saint-Louis</u>	<u>De Saint-Louis</u>
Voitures particulières	353	370
Camions	27	33
Autobus	51	33
Voitures à traction animale	0	0
Motocyclettes	107	151
<u>Bicyclettes</u>	<u>112</u>	<u>128</u>
Total des véhicules par heure	649 (8-9)	715 (11 ³⁰ -12 ³⁰)
Total des piétons par heure	1143 (9-10)	942 (17 ⁴⁵ -18 ⁴⁵)

Remarques sur le comptage:

On peut s'attendre à un équilibre dans l'importance de la circulation en direction est et en direction ouest sur une période de 24 heures.

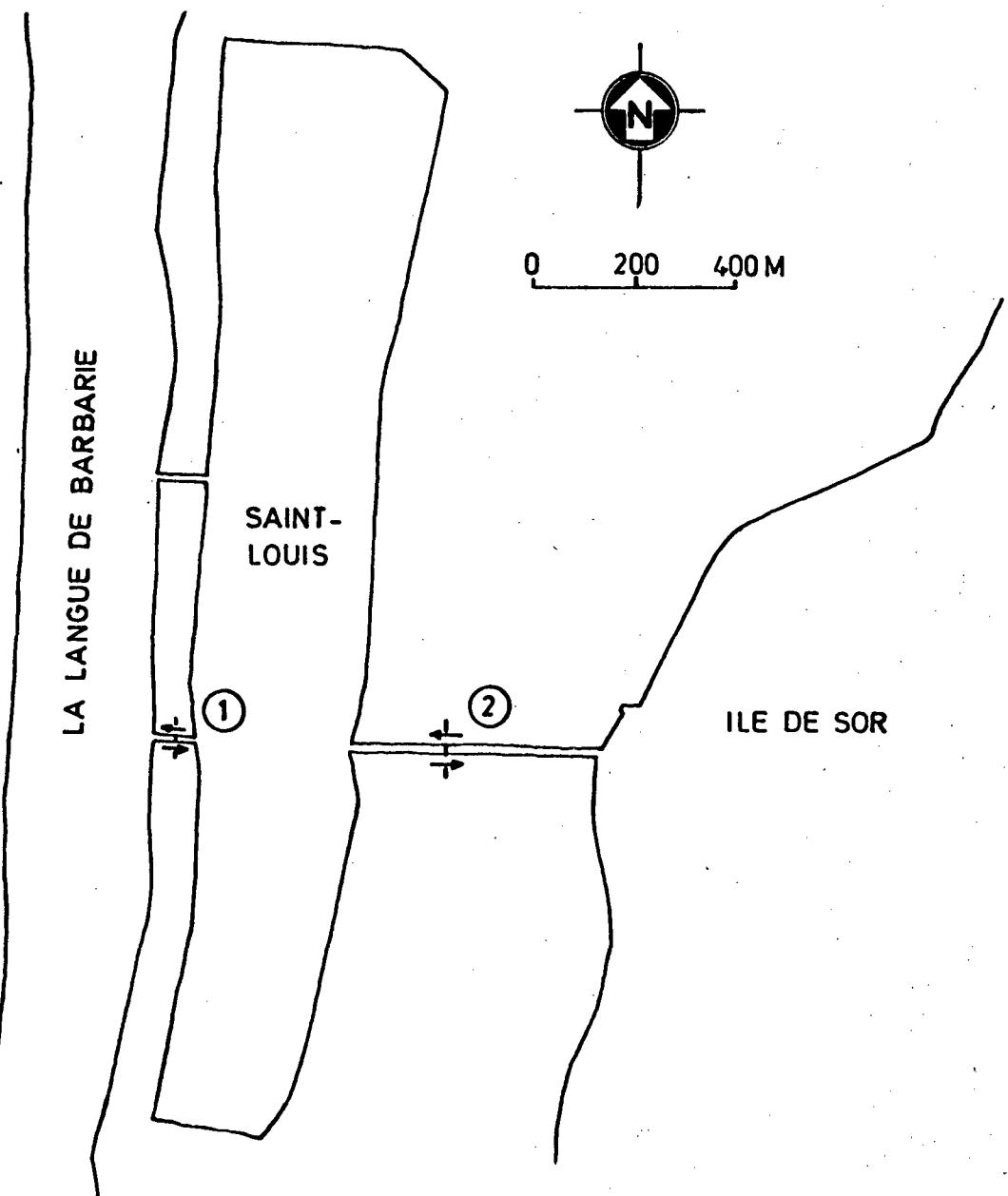
Les différences sont probablement attribuables à l'inexactitude du comptage manuel.

COMPTAGE DE CIRCULATION A SAINT - LOUIS DU SÉNÉGAL

1. SEP. 6H. - 2. SEP. 6H. 1971

1. Pont Servatius, entre St. Louis et la Langue de Barberie

2. Pont Faidherbe, entre St. Louis et Ile de Sor



TRAFFIC COUNTS, SAINT - LOUIS DU SENEGAL

SEP. 1. 6 AM - SEP. 2. 6 AM. 1971

1. The Servatius bridge, between St. Louis and La Langue de Barberie

2. The Faidherbe bridge, between St. Louis and Ile de Sor

FIGURE 1

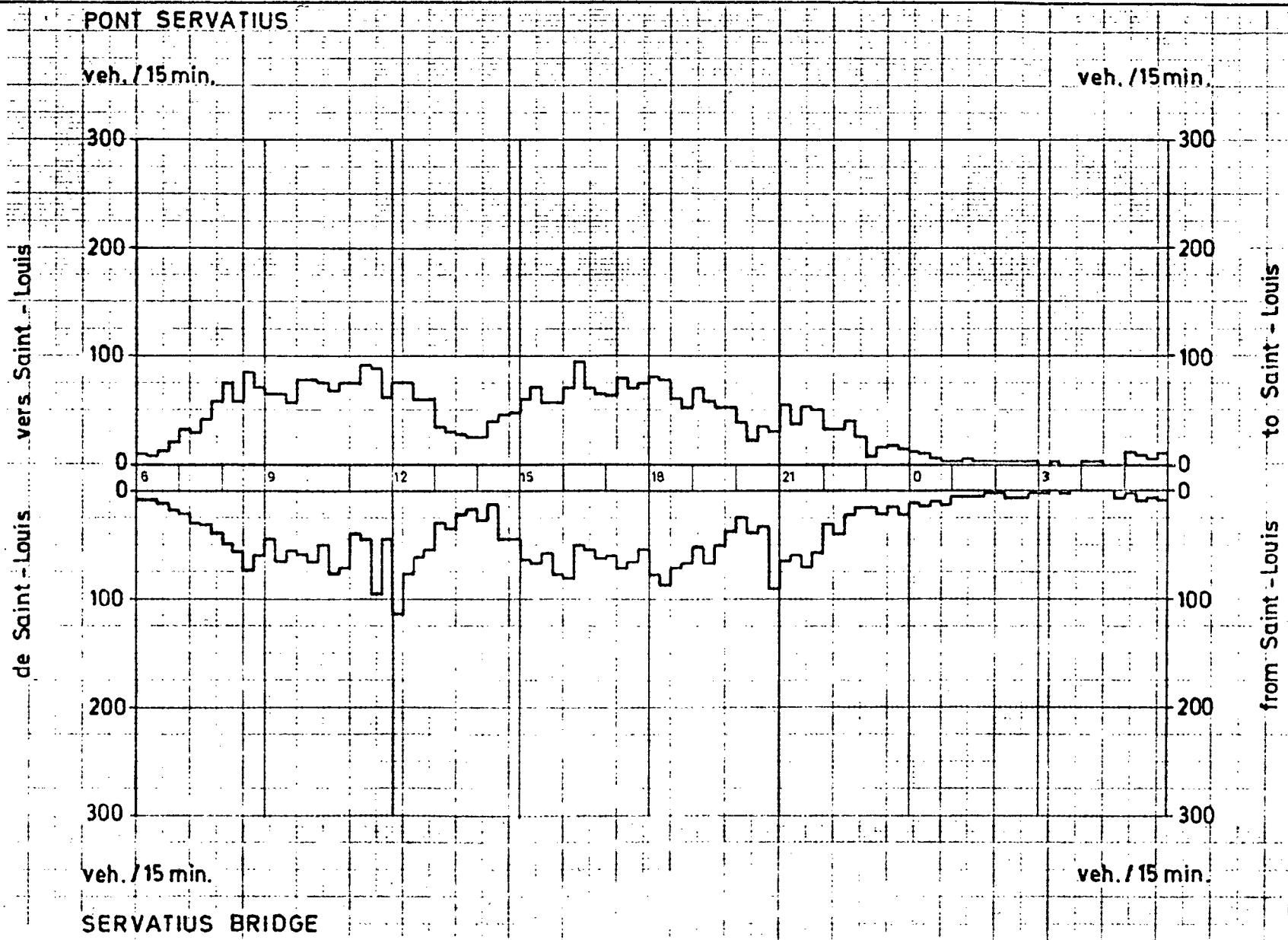


FIGURE 2

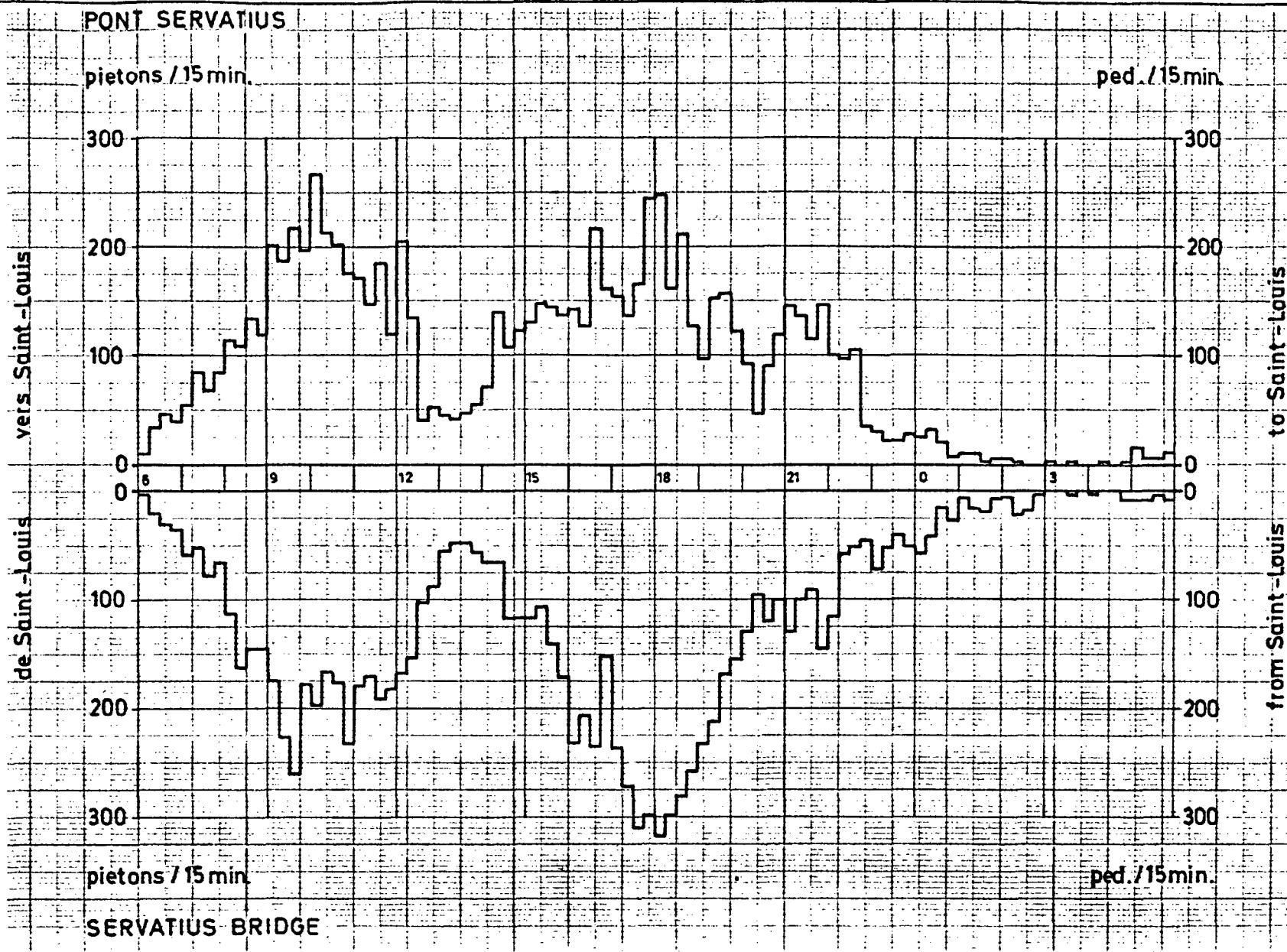


FIGURE 3

PONT FAIDHERBE

veh. / 15 min.

300

300

300

vers Saint-Louis

100

200

200

to Saint - Louis

de Saint-Louis

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

200

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

300

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

veh. / 15 min.

FAIDHERBE BRIDGE

FIGURE 4

PONT FAIDHERBE

piétons / 15min.

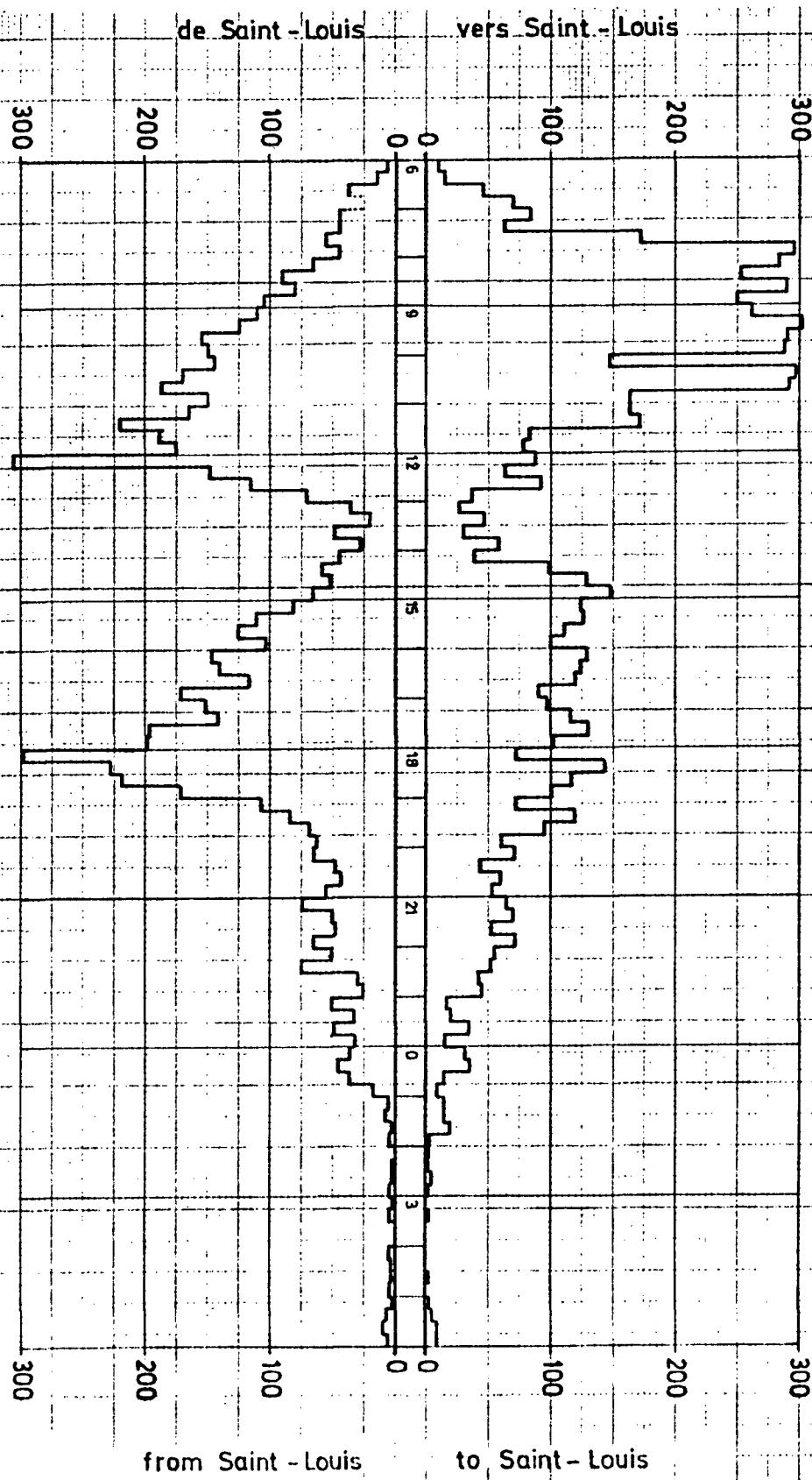
ped./15min.

piétons / 15min.

ped./15min.

FAIDHERBE BRIDGE

FIGURE 5



ANNEXE 5

INSTALLATIONS PORTUAIRES, MANUTENTION DES MARCHANDISES ET TRAFIC
MARITIME A DAKAR, KAOACK, NOUAKCHOTT, SAINT-LOUIS ET AUX ESCALES
DU FLEUVE SENEGAL

TABLE DES MATIERES

	Page
5. INSTALLATIONS PORTUAIRES, MANUTENTION DES MARCHANDISES ET TRAFIC MARITIME A DAKAR, KAOLACK, NOUAKCHOTT, SAINT-LOUIS ET AUX ESCALES DU FLEUVE SENEGAL	A5-1
5.1 Dakar	A5-1
5.2 Kaolack	A5-3
5.3 Nouakchott	A5-4
5.4 Saint-Louis	A5-6
5.5 Escales du Fleuve Sénégal	A5-6

5. INSTALLATIONS PORTUAIRES, MANUTENTION DES MARCHANDISES ET
TRAFIG MARITIME A DAKAR, KAOACK, NOUAKCHOTT, SAINT-LOUIS
ET AUX ESCALES DU FLEUVE SENEGAL

5.1 Dakar

Le port de Dakar est un des plus importants de l'Afrique. Il remplit quatre fonctions principales: port d'avitaillage, port commercial, port de pêche et base navale. Voici ses caractéristiques principales:

Superficie totale d'environ 216 hectares.

40 à 50 postes à quai pour navires à fort tirant d'eau.

9,000 mètres de quais, dont plus de la moitié dans une profondeur de 8 à 12 mètres.

200,000 m² d'entrepôts non couverts et environ 57,000 m² de hangars pour marchandises.

La partie nord-est du port reçoit principalement les liquides et les cargaisons sèches en vrac, telles que les hydrocarbures, les phosphates, les arachides, les céréales et le vin. La partie ouest du port comprend la base navale, les facilités de réparation et les quais réservés aux bateaux de pêche. La partie sud du port comprend trois môle numérotés I, II et III, et reçoit surtout les marchandises diverses et les passagers.

Le môle n° I est long de 460 mètres et large de 150 mètres. Il comprend les installations suivantes:

7 postes à quai pour navires à tirant d'eau de 8.0 à 10.0 mètres.

7 grues semi-portiques d'une capacité de 6 tonnes et d'une portée de 27 mètres.

4 entrepôts à deux étages ayant 16,000 m² d'espace couvert et fermé.

2,700 m² d'entrepôts couverts mais non fermés.

4 voies ferrées - deux dans l'axe du quai et deux du côté est.

En 1970, environ 390,000 tonnes de marchandises ont été manutentionnées sur ce môle, qui a reçu environ 790 navires. La quantité maximale de marchandises manutentionnées sur un seul poste à quai est de 120,000 tonnes, pour 107 navires.

Le môle n° II comprend les installations suivantes:

4 postes à quai pour navires à tirant d'eau d'environ 8 m.

Grues - aucune

4 entrepôts d'environ 2,000 m² chacun

5 voies ferrées.

Le chargement et le déchargement sont normalement exécutés par les appareils de manutention du navire. Les charges varient normalement de 500 à 1000 kg, et le passage de la marchandise de quai à bord se fait à une cadence de 10 à 25 tonnes l'heure par équipe de débardeurs, suivant le genre de marchandise. Une équipe comprend de 9 à 13 hommes.

Le transport entre le quai et l'aire de stockage se fait au moyen de chariots élévateurs et de petites grues mobiles, dont la plupart ont une force de levage d'environ 3 tonnes. En 1970, environ 90,000 tonnes de marchandises ont été manutentionnées sur ce quai, qui a reçu environ 370 navires.

Le môle n° III, à l'usage exclusif de la République du Mali, comprend les installations suivantes:

3 postes à quai pour navires à tirant d'eau d'environ 9.5 mètres.

En 1970, environ 120,000 tonnes de marchandises ont été manutentionnées sur ce môle, qui a reçu environ 250 navires.

Les deux quais de rive reliant les trois môles comprennent 4 postes d'amarrage pour navires à tirant d'eau d'environ 9,5 m. Ils sont dotés de 2 grues d'une capacité de 3 tonnes à 18 mètres, de 2 grues d'une capacité de 5 tonnes à 18 mètres, et de deux voies ferrées. En 1970, environ 75,000 tonnes de marchandises ont été manutentionnées sur ces quais, qui ont reçu environ 165 navires.

En 1971, le trafic global sur les 18 postes à quai précités s'est réparti ainsi:

Nombre de navires	1,572
Marchandises déchargées	539,000 tonnes
Marchandises chargées	131,000 tonnes
Total des marchandises manutentionnées	670,000 tonnes

Il n'avait pas encore été possible, au moment de la rédaction du présent rapport, d'obtenir des renseignements détaillés quant au régime d'arrivée des navires et à la répartition du tonnage des navires et cargos dans le port de Dakar, selon leurs dimensions respectives.

Suivant des données recueillies au Sénégal et en Europe, il semble que le port en lourd des navires qui font le commerce de marchandises diverses au port de Dakar à l'heure actuelle, varie entre 1,000 et 15,000 tonnes; la plus grande partie de ces navires aurait un port en lourd de 4,000 à 7,000 tonnes; ils chargent et déchargent des cargaisons partielles d'environ 200 à 1,000 tonnes.

5.2

Kaolack

Il existe trois ports à Kaolack ou dans les environs: le port de Kaolack, le quai de l'usine de sel connu sous le nom de "Wharf des Salins" et le port de Lyndiane.

Le port de Kaolack comprend un quai d'une longueur approximative de 600 mètres. Les voies ferrées sont situées quelque 30 à 40 mètres derrière le quai, et les magasins se trouvent derrière les voies ferrées. Le port ne dispose pas de grues.

Les importations sont peu nombreuses, et les exportations fléchissent. En 1970 les exportations s'élevaient à 10,000 tonnes et se composaient surtout d'arachides décortiquées.

Les arachides sont déposées dans les magasins en sacs de 72 kg. Les sacs sont transportés des magasins vers le quai sur des remorques tractées pouvant recevoir 80 sacs chacune. Ils sont ensuite retirés de la remorque manuellement et déposés à l'extrémité d'une courroie transporteuse, où ils sont ouverts. De là, les arachides sont montées à bord, en vrac, par courroie transporteuse. Avec 3 courroies transporteuses et de 55 à 60 débardeurs, le chargement se fait à la cadence de 45 à 50 tonnes l'heure. Une équipe de 7 ou 8 débardeurs peut charger les marchandises à la cadence approximative de 14 tonnes l'heure.

L'usine de sel à Kaolack, Les Salines de Sine-Saloum, traite de 70 à 80,000 tonnes de sel par année. En 1970, environ 46,000 tonnes de sel ont été exportées du quai de l'usine. Le sel est mis dans des sacs qui sont placés sur des plateformes d'où ils sont montés à bord par les apparaux de manutention du navire. La capacité de chargement d'un jeu d'apparaux est d'environ 20 tonnes à l'heure.

Le port de Lyndiane appartient à l'usine de la société SODEC, qui traite une grande partie des arachides récoltées dans la

région. Les exportations de l'année 1970 s'élevaient à quelque 100,000 tonnes, et se composaient exclusivement de produits d'arachide tels que l'huile et les tourteaux. Les importations sont peu nombreuses. Les caractéristiques relatives à la manutention des marchandises dans ce port spécialisé ne présentent pas d'intérêt pour le présent rapport.

5.3 Nouakchott

Le port de Nouakchott est situé en Mauritanie sur la côte de l'océan Atlantique, environ 7 kilomètres au sud-sud-ouest de Nouakchott, capitale de la Mauritanie.

Le port comprend un wharf sur pieux qui s'avance dans l'océan, d'une longueur totale de 387 mètres, ainsi qu'une aire portuaire clôturée, d'une superficie de 6 hectares. Le wharf était construit entre 1963 et 1966. Il fut allongé, à ses proportions actuelles, entre 1969 et 1971. Les travaux d'agrandissement n'étaient pas terminés lorsque notre équipe sur le terrain a visité les lieux.

Les marchandises sont manutentionnées de la façon suivante:

Les navires mouillent à environ 500 mètres de la plateforme de travail du wharf. Les marchandises sont transportées du navire jusqu'au wharf dans des chalands métalliques remorqués.

Le chargement et le déchargement, du navire au chaland, sont exécutés par les appareils de manutention du navire. Les chalands sont chargés et déchargés au wharf par grues sur la plateforme de travail. Le transport entre le wharf et les aires de stockage se fait au moyen de grues mobiles, de chariots éléveurs et de remorques.

Avant le prolongement du quai, la plateforme de travail était longue de 86 mètres et large de 21 mètres. La passerelle qui relie la plateforme à la côte avait une longueur de 246.5 mètres et une largeur de 7 mètres, ce qui donnait une longueur totale de 332.5 mètres. Une fois l'agrandissement terminé, la longueur de la plateforme sera augmentée de 55 mètres, ce qui portera la longueur totale de l'ouvrage à 387 mètres. La plateforme sera élargie de 4 mètres et l'on ajoute présentement une deuxième passerelle large d'environ 5 mètres. Le tablier de l'ouvrage est à la cote + 5.65 IGN.

L'équipement portuaire comprend les unités suivantes:

10 chalands métalliques, d'une capacité de 60 tonnes

11 chalands métalliques, d'une capacité de 30 tonnes

5 remorqueurs d'une puissance de 500 HP.

Equipement de manutention des marchandises.

Grues sur la plateforme - 3 grues d'une force de levage à 5.0 mètres, de 8, 12.5 et 25 tonnes respectivement et d'une portée maximale de 15 mètres. Une fois l'agrandissement terminé, la plateforme sera équipée de 4 grues supplémentaires d'une force de levage de 8, 8, 15 et 30 tonnes respectivement.

16 grues mobiles de 4 tonnes

4 chariots élévateurs de 3 tonnes

20 remorques, d'une capacité de 8 tonnes chacune.

Aires de stockage dans la région portuaire:

2 magasins de 80 m x 25 m chacun

1 magasin de 60 m x 25 m.

1 cour de stockage de 60 m x 50 m.

Le rendement normal de cet équipement varie entre 400 et 500 tonnes par 9 heures. Les quantités des marchandises manutentionnées sont les suivantes:

Importations:	1967	34,000 tonnes
	1968	40,000 tonnes
	1969	58,000 tonnes
	1970	53,000 tonnes
	1971	44,000 tonnes (janvier à juin)

Les importations principales consistent en céréales, sucre, ciment et acier.

Les exportations sont peu nombreuses jusqu'à présent, mais on attend une augmentation sensible lorsque les mines de cuivre de Akjoujt seront exploitées.

5.4 Saint-Louis

Les installations portuaires de Saint-Louis sont situées sur la rive est de l'île Saint-Louis. Elles comprennent deux quais, l'un au nord du pont Faidherbe, d'une longueur de 650 mètres, et l'autre au sud du pont, d'une longueur de 750 mètres.

La largeur des terre-pleins varie entre 15 et 20 mètres. Le tirant d'eau permis est d'environ 3.0 mètres, mais il faut procéder à des travaux de dragage pour rétablir cette profondeur, car les quais ont servi de dépotoir pendant de nombreuses années.

Il n'y a aucune activité à l'heure actuelle au quai sud.

Le port ne dispose pas de grues ni d'autres appareils mécanisés, et les marchandises sont manutentionnées manuellement. La surface de stockage fermé, le long du quai, est négligeable. A l'extrémité sud du quai nord, il existe un pont à bascule d'une capacité de 30 tonnes. Une petite cale de lancement pouvant servir au radoub des chalands de moins de 30 mètres de long, et un atelier de 600 m² appartenant au Service des Travaux Publics sont situés à l'autre extrémité du quai nord.

La plupart des marchandises sont transportées de la gare à la région portuaire sur des remorques tractées ou sur des camions. La cadence de la manutention de quai à bord pour marchandises en sacs ou en caisses varie entre 14 et 18 tonnes à l'heure par équipe de 12 débardeurs.

La quantité de marchandises manutentionnées en 1970 fut d'environ 2,900 tonnes à la descente, et de 18,700 tonnes à la montée.

5.5 Escales du Fleuve Sénégal

A toutes les escales sur le fleuve Sénégal, la manutention des marchandises est manuelle.

Il existe des entrepôts couverts, mais non fermés, à Rosso et à Kaedi.

On trouve à Kayes des hangars couverts et fermés, mais les conditions d'accès du fleuve sont peu satisfaisantes.

ANNEXE 6

TERMES DE REFERENCE DU CONTRAT

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
1.0 BUT ET DESCRIPTION DU PROJET	A6-1
2.0 RESPONSABILITES DE L'ENTREPRENEUR	A6-2
3.0 HYDROGRAPHIE ET HYDRAULIQUE	A6-2
4.0 TOPOGRAPHIE - ETUDES DES SOLS - GENIE CIVIL	A6-4
5.0 MANUTENTION DES MARCHANDISES ET NAVIGATION	A6-6
6.0 PORT DE PECHE	A6-7

1.0 BUT ET DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Le but des études à être effectuées, est d'examiner les moyens les plus appropriés et les plus économiques pour l'amélioration des installations portuaires à Saint-Louis et Kayes/Ambidedi.

1.2 Les études doivent être exécutées en trois phases, comme suit:

A. Phase I

Une étude des installations portuaires à Saint-Louis des diverses variantes possibles pour le port, en tenant compte de sa perspective future comme port de pêche. Cette étude comprendra également l'examen de plusieurs variantes d'agencement de ports de Kayes et de Ambidedi. La durée de la phase I sera de 8 mois. A l'achèvement de la phase I, l'Entrepreneur doit soumettre un rapport intitulé "Rapport n° 1 - Projets préliminaires".

B. Phase II

Cette phase, sera d'une durée de 2 mois, pendant laquelle le rapport sur les résultats des études de la phase I sera étudié par les Nations Unies et l'Organisation des Etats Riverains du Fleuve Sénégal (OERS). Les Nations Unies et l'OERS, décideront laquelle des variantes proposées dans le rapport, est le meilleur prototype de port à être construit et laquelle des améliorations proposées pour chaque escale, devrait être choisie.

C. Phase III

Cette troisième phase, d'une durée de quatre mois, sera consacrée à l'élaboration détaillée du prototype de port et des améliorations des escales choisies. A la fin de cette phase, l'Entrepreneur soumettra un rapport final intitulé "Rapport n° 2 - Port prototype (Projet)".

D. L'étude mentionnée au paragraphe (A) ci-dessus, comprendra, sans nécessairement y être limitée, les exigences des paragraphes 1.3 et 1.4 ci-après.

1.3 Port de Saint-Louis

- a) Examiner la praticabilité de construire un port dont la fonction principale consiste au transbordement de cargaison entre des chalands et les navires de mer.
- b) Préparer les études d'avant-projet et les devis estimatifs pour le port et les installations connexes.

- c) Préparer les études d'avant-projet et les devis estimatifs pour un port de pêche moderne avec les installations auxiliaires.
- d) Préparer un programme d'aménagement par étapes de ces installations portuaires.

1.4 Ports terminus à Kayes/Ambidédi

Préparer les études d'avant-projet et les devis estimatifs d'un terminus à l'extrémité supérieure du cours navigable du fleuve Sénégal pour le transbordement de cargaison entre les chalands et le système de transport route/rail.

2.0 RESPONSABILITES DE L'ENTREPRENEUR

2.1 L'Entrepreneur effectuera les études mentionnées aux paragraphes 1.1 à 1.4 ci-dessus, comme suit:

- a) Outre les données fournies par les Nations Unies, l'Entrepreneur devra fournir des renseignements supplémentaires sur les conditions de l'environnement à Saint-Louis, les exigences de capacité relatives aux installations portuaires et terrestres à Saint-Louis, et à Kayes/Ambidédi; examiner la disponibilité de la main-d'œuvre, des matériaux ainsi que de leurs coûts respectifs; étudier les réseaux de services existants et prévus ayant rapport aux ports.
- b) L'équipe sur le terrain, assurera la continuation de la collecte des données en vue de la préparation de plans afin de s'assurer que tous les renseignements nécessaires à la bonne exécution du travail sont obtenus.

3.0 HYDROGRAPHIE ET HYDRAULIQUE

Le travail de l'Entrepreneur comprendra ce qui suit, sans s'y nécessairement limiter;

3.1 Hydrographie et hydraulique

Examiner et évaluer toutes les données disponibles provenant d'enquêtes hydrographiques et hydrauliques faites auparavant et se rapportant à la région du projet.

3.2 Relevé hydrographique de l'estuaire, de Saint-Louis à la mer

Le relevé hydrographique sera effectué au moyen d'une écho-sonde en profil à travers l'estuaire. L'espacement des profils variera d'environ 100 m dans les zones de grand intérêt (sites possibles de port) et à environ 500 m dans les zones de moindre intérêt.

3.2 Relevé hydrographique de l'estuaire, de Saint-Louis à la mer (suite)

Les positions des sondages seront déterminées par l'entremise de postes riverains équipés de théodolites, qui seront reliés par radio au navire sondeur.

3.3 Relevé de la côte maritime au sud de Saint-Louis

Le profil côtier sur une distance de 7 km, de Saint-Louis vers le sud, sera étudié par écho-sondage entre la zone des brisants et une ligne environ 2 km au large, ou jusqu'à une profondeur d'eau d'environ 14 m. L'espacement des profils sera d'environ 1 km.

3.4 Ligne côtière et profil du rivage

En rapport avec le relevé hydrographique décrit au paragraphe 3.2 ci-dessus, le niveau de la partie supérieure du rivage sera relevé le long des mêmes profils.

3.5 Echantillons du lit marin et fluvial

Tout en effectuant les sondages de profondeur mentionnés au paragraphe 3.2, tant dans l'estuaire que dans la mer, on prélèvera environ 150 échantillons du lit aux fins d'analyse granulométrique.

3.6 Enregistrements des niveaux d'eau

Les relevés du niveau d'eau, en provenance des marégraphes existants installés à Saint-Louis et à Gandiole, serviront de base pour le dépouillement des sondages de profondeur et de l'analyse du régime des marées dans l'estuaire.

3.7 Enregistrements des courants de l'estuaire

Un courantomètre à enregistrement continu sera placé au pont Faidherbe pour enregistrer les variations quotidiennes et saisonnières de la vitesse et de la direction des courants.

3.8 Mesures des courants de l'estuaire

La corrélation entre le débit et la vitesse enregistrée du courant sera déterminée au moyen de profils des courants mesurés au pont Faidherbe et dans le petit bras du fleuve, à l'ouest de l'Île Saint-Louis. Ces profils seront mesurés tant pour les courants ascendants que descendants, à l'aide de courantomètres à lecture directe pour la vitesse et la direction.

3.9 Courants de marée dans la mer

Les courants de la marée seront observés par halage de flotteurs en périodes de haute et basse marée à l'emplacement du port sur la côte de la mer.

3.10 Enregistrement de la hauteur des vagues

La hauteur des vagues sera enregistrée au moyen d'une bouée accélérométrique, ancrée à environ 1.5 km au large. Cette bouée transmettra ses signaux par radio à un enregistreur installé sur le rivage. Ces mesures de la hauteur des vagues seront continues pendant la durée de l'étude.

3.11 Echantillons d'eau

Des échantillons d'eau seront prélevés pour déterminer la concentration des matières en suspension. Le prélèvement sera effectué au cours de périodes complètes des marées de vive-eau et de morte-eau, le long de profils au pont Faidherbe. L'échantillonnage sera effectué tant en saison des pluies qu'en saison sèche.

3.12 Granulométrie des matières en suspension

Si de hautes concentrations de matières en suspension sont relevées, la granulométrie sera déterminée sur place, en temps approprié, au moyen d'un équipement spécial développé par DIAH.

3.13 Salinité

Le régime de salinité dans l'estuaire sera étudié sur le terrain, en mesurant une fois par semaine pendant la durée de l'enquête, le profil vertical de salinité au pont Faidherbe. De plus, des profils de salinité seront relevés à Gadiole et à une station située à 30 ou 50 km en amont de Saint-Louis, au cours d'une marée de vive-eau et d'une marée de morte-eau.

3.14 Sondages par injection d'eau

Une vingtaine de sondages seront faits sur les emplacements portuaires possibles dans l'estuaire, utilisant un équipement développé par DIAH; ces sondages fourniront les renseignements préliminaires sur la possibilité de dragage hydraulique.

4.0 TOPOGRAPHIE - ETUDES DES SOLS - GENIE CIVIL

Le travail de l'Entrepreneur concernant ces aspects, comprendra ce qui suit, sans s'y nécessairement limiter:

4.1 Données existantes

Examiner et évaluer tous les documents et données disponibles se rapportant aux cartes existantes, les repères géodésiques et les renseignements relatifs à cette étude.

4.2 Positionnement

Les lignes de base et les cibles pour la localisation des points hydrographiques seront établies à l'aide de théodolites.

4.3 Points de contrôle terrestres

Les points de contrôle de verticalité et d'horizontalité seront établis aux fins de la cartographie des aires requises.

4.4 Données existantes

Les données existantes relatives aux caractéristiques géologiques et géotechniques du sol dans la région de Saint-Louis seront étudiées.

4.5 Sondages géoélectriques et essais de pénétration

Les conditions du sous-sol seront examinées par sondages géoélectriques et par essais de pénétration. Les renseignements obtenus de ces sondages combinés avec les sondages par injection d'eau sont supposés de fournir des informations pour les besoins de la présente étude.

4.6 Matériaux de construction

Une étude des besoins des matériaux de construction, de leur disponibilité, de leur qualité et de leurs coûts, soit locaux ou importés, comprendra les éléments suivants, sans s'y nécessairement limiter:

- (i) Jetées
- (ii) Quais de marchandises et de pêche
- (iii) Routes et chemin de fer
- (iv) Drainage et alimentation en eau
- (v) Bâtiments industriels et administratifs
- (vi) Installations pour la réparation des bateaux
- (vii) Ponts
- (viii) Signalisation

4.7 Main d'œuvre et équipement de construction

La disponibilité, le coût de la main-d'œuvre et la productivité de l'équipement de construction, de même que la compétence et les capacités des entrepreneurs locaux, seront examinés en rapport avec le paragraphe 4.6 ci-dessus.

4.8

Intégration dans les réseaux et plans existants

L'étude des réseaux de service existants portera sur les routes, les chemins de fer et les plans directeurs de l'urbanisme, de même que sur les statistiques et les prévisions sur le trafic et la population. Les données ainsi obtenues seront examinées et évaluées en vue d'assurer l'intégration effective des installations portuaires projetées avec les réseaux de service existants.

4.9

Pont Faidherbe

L'examen du pont Faidherbe portera sur les points suivants, sans s'y nécessairement limiter:

- (i) Condition physique du pont
- (ii) Durée de vie probable
- (iii) Améliorations proposées, plus particulièrement en rapport avec le mécanisme d'ouverture.
- (iv) Remplacement de la conduite d'eau existante par une conduite submergée.

4.10

Nouveau pont

En vue de la possibilité de remplacer le pont Faidherbe, mentionné dans le paragraphe 4.9 ci-dessus, par un nouveau pont, une étude sera faite, basée sur les conclusions résultant de l'étude mentionnée dans le paragraphe 4.8 et comprendra, sans nécessairement s'y limiter:

- (i) Emplacement
- (ii) Exigences relatives à la capacité et au dégagement vertical
- (iii) Etablir une base pour un avant-projet.

5.0

MANUTENTION DES MARCHANDISES ET NAVIGATION

5.1

Trafic fluvial

Les renseignements suivants, selon leur disponibilité, seront fournis par les Nations Unies: type et dimensions des bateaux fluviaux; volume des marchandises et répartition selon leurs produits; distribution saisonnière des marchandises et régime des arrivées des bateaux fluviaux. Ces données seront étudiées, analysées et complétées si nécessaire, en vue d'établir les exigences concernant la longueur des quais pour les vaisseaux fluviaux, leur profondeur d'eau, et des installations de service et d'amarrage. Des recommandations seront formulées, relatives à l'établissement de facilités de réparation pour les vaisseaux fluviaux; ces recommandations se limiteront au choix de l'emplacement et à l'établissement d'une base d'un avant-projet.

5.2 Trafic maritime

Une étude sera effectuée sur la structure actuelle des mouvements des navires à Dakar, transportant les mêmes types de marchandises qu'on peut s'attendre à Saint-Louis; elle établira la répartition des arrivées de navires, leurs dimensions et les volumes de cargaisons.

5.3 Manutention des cargaisons

Les méthodes actuelles de manutention des cargaisons au port de Dakar seront examinées; une évaluation de la méthode de manutention la plus efficace et économique à Saint-Louis sera effectuée tenant compte des installations d'entreposage et des conditions générales relatives au mouvement et à la manutention des cargaisons d'exportation et à la distribution des cargaisons importées. L'étude comportera la description des caractéristiques de manutention des cargaisons ainsi que des méthodes de manutention proposées. Ces données, jointes à celles mentionnées au paragraphe 5.2 ci-dessus, serviront de base pour la détermination des longueurs de quais et des profondeurs d'eau aux quais maritimes et à l'entrée du port.

5.4 Installations d'entreposage

L'étude comprendra l'examen des méthodes existantes d'entreposage et l'utilisation de la surface d'entreposage couverte et non-couverte à Dakar pour les marchandises en question. Une analyse des mouvements des marchandises prévues à Saint-Louis, aux fins d'établir l'étendue des installations d'entreposage, sera effectuée.

5.5 Installations administratives et auxiliaires

Les autorités locales seront consultées au sujet des besoins de l'administration du port et des bâtiments pour les services de douane et de police. On déterminera également les besoins en services auxiliaires, y compris, sans nécessairement s'y limiter, les services de remplissage des soutes, le débordage, ainsi que les bâtiments du personnel.

6.0 PORT DE PECHE

6.1 Capacité du port de pêche

Pour établir la capacité du port, l'Entrepreneur doit obtenir des autorités locales, les données pertinentes quant au nombre, type et dimensions des bateaux de pêche que le port devrait abriter.

6.2 En vue d'évaluer les exigences en eau et en terrains pour l'industrie de la pêche, l'Entrepreneur doit obtenir des autorités locales, pour documenter ses études, des données relatives aux aspects suivants, sans nécessairement s'y limiter:

- (i) Les types et quantités de poissons à manipuler
- (ii) Quantité de poissons frais pour consommation humaine et méthodes de manutention
- (iii) Quantité de poissons pour fins industrielles et l'emplacement des usines par rapport au port de pêche.
- (iv) Volume de poissons à emballer et à congeler
- (v) Exigences quant à l'entreposage frigorifique et à la congélation.
- (vi) Usine(s) de préparation de protéine de poisson.

6.3 Installation d'un poste de réparation des bateaux de pêche

Les exigences relatives aux dimensions, capacité de charge et nombre de postes de réparation des bateaux de pêche, seront établies sur la base des renseignements relatifs aux nombres et aux types de bateaux, sur l'aspect saisonnier de la pêche et si disponible, en se basant sur des données recueillies sur des installations semblables déjà existantes dans cette région.