

a 1938

09518

# ÉTUDES DES PORTS ET ESCALES DU FLEUVE SÉNÉGAL

Pour le compte de

L'ORGANISATION DE LA MISE EN VALEUR  
DU FLEUVE SÉNÉGAL (OMVS)

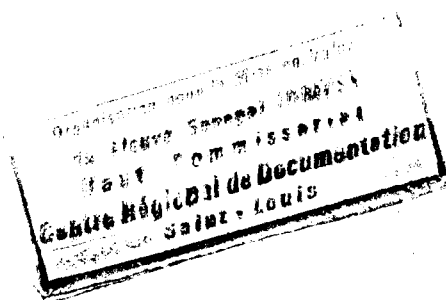
Suite à une contribution de

L'AGENCE CANADIENNE  
DE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL (ACDI)

ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES  
DU CHENAL D'ACCÈS

(VERSION PRÉLIMINAIRE)

RAPPORT N° 05



Novembre 1982



Beauchemin Beaton Lapointe-Swan Wooster (Entreprise en participation)

1134 ouest, rue Sainte-Catherine, Montréal, Qué., Canada H3B 1H4 tél. (514) 871-9555 Télex 055-61161 BBL Mtl

## Table des Matières

	<u>PAGE</u>
1.0 SOMMAIRE	1
1.1 Prévisions du trafic des marchandises	1
1.2 Analyse de transport maritime	2
1.3 Chenal d'accès et poste de mouillage	4
1.4 Emplacement du chenal	7
1.5 Disposition des brise-lames	8
2.0 INTRODUCTION	9
3.0 PREVISIONS PRELIMINAIRES DES MARCHANDISES	12
4.0 ANALYSE DE TRANSPORT MARITIME	14
4.1 Types de navires	14
4.2 Caractéristiques des navires et distribution du port en lourd	18
4.3 Analyse du coût de transport maritime	22
5.0 CHENAL D'ACCES ET BRISE-LAMES	32
5.1 Conditions hydrauliques et environnementales à St-Louis	32
5.2 Critères de navigation	38
5.3 Chenal à une ou deux voies	40
5.4 Paramètres de design du chenal d'accès	44
5.5 Alignement et emplacement du chenal	52
5.6 Aires d'ancrage et d'amarrage	57
5.7 Configurations du brise-lames	57
5.8 Estimations préliminaires du coût de dragage	68
6.0 EVALUATION ECONOMIQUE DE LA PROFONDEUR DU CHENAL D'ACCES	71
6.1 Introduction et méthodologie	71
6.2 Coût du chenal d'accès	72
6.3 Evaluation des coûts totaux du système de transport	74
6.4 Analyse de sensibilité	79
7.0 PHASE DE DEVELOPPEMENT DU CHENAL	86

1.0 SOMMAIRE

1.1 Prévisions de trafic des marchandises

Les prévisions de trafic des marchandises générales et des hydrocarbures pour St-Louis, utilisées dans ce rapport, sont celles présentées par Lackner Dorsch Electrowatt (LDE). Ces prévisions sont résumées dans le tableau 1.1 ci-dessous.

Tableau 1.1

PREVISIONS DU TRAFIC DES MARCHANDISES  
(en milliers de tonnes)

<u>Année</u>	<u>Marchandises générales</u>	<u>Hydrocarbures</u>	<u>Total</u>	<u>Taux d'accroisse- ment (% par année)</u>
1983	285,5	115,6	401,1	-
1990	519,8	212,8	732,6	9,0
2000	1 339,8	457,8	1 797,6	9,2
2025	4 857,9	1 799,9	6 657,8	6,9

Au cours de l'étude, il est apparu que les volumes totaux prévus de phosphate, de minerais de fer et d'alumine destinés à l'exportation par St-Louis, pouvaient être substantiellement réduits, bien que les niveaux ne soient pas clairement définis. Du fait de ces incertitudes, l'évaluation de l'impact du trafic des marchandises en vrac a été différée et exclue de ce rapport.



## 1.2 Analyse de transport maritime

Une analyse de transport maritime a été effectuée dans le but d'identifier les caractéristiques des navires qui utiliseront le port de St-Louis et de déterminer les coûts de transport devant être utilisés pour l'évaluation économique du chenal d'accès.

La flotte des navires desservant la côte commerciale ouest africaine a été classée en trois catégories: les navires de transport général (navires breakbulk), les navires CONRO (navires porte-containers et Ro/Ro) et les navires-citernes.

Les navires porte-barges tels que LASH, SEABEE et BACAT ne sont pas considérés viables pour le port de St-Louis.

D'après nos observations, nous estimons que les navires faisant escale à Dakar sont représentatifs de la flotte desservant les ports de la côte ouest africaine. La composition de la flotte actuelle est présentée dans le tableau 1.2:

Tableau 1.2

### COMPOSITION DE LA FLOTTE COMMERCIALE DESSERVANT DAKAR

#### Marchandises générales:

Breakbulk (45%) jusqu'à 20 000 tonnes de port en lourd

CONRO (55%) jusqu'à 25 000 tonnes de port en lourd

Navires-citernes: de 20 000 à 35 000 tonnes de port en lourd

La taille moyenne des chargements et les taux de manutention des marchandises (tonnes/heures) à St-Louis ont été estimées sur la base des conditions existant à Dakar et de la tendance générale des ports ouest africains. Les coûts annuels de transport maritime de la future flotte de navires desservant le port de St-Louis ont été estimés à partir des taux de manutention et des coûts en capital et d'opération des navires. Ces coûts, présentés dans le tableau 1.3, sont basés sur les volumes totaux de marchandises générales et d'hydrocarbures prévus pour les années étudiées par rapport aux diverses limitations de tirant d'eau dans le port.

Tableau 1.3

COÛTS ANNUELS DU TRANSPORT MARITIME DE LA FUTURE  
FLOTTE DESSERVANT ST-LOUIS  
(en millions de dollars)

(coûts du chenal d'accès exclus)

Limitation de de tirant d'eau (m)	Niveau du Trafic par année			
	<u>1983</u>	<u>1990</u>	<u>2000</u>	<u>2025</u>
7	40	-	-	-
8	37	68	168	620
9	36	66	161	594
9,5	34	62	154	567
10	32	58	145	533
11	-	57	143	524

### 1.3 Chenal d'accès et poste de mouillage

Nous nous attendons à ce que la construction d'un chenal d'accès à travers la Langue de Barbarie ait un effet significatif sur les conditions hydrauliques de l'estuaire. Nous pensons qu'il est fort probable que l'embouchure existante du fleuve se fermera et que la partie sud de l'estuaire se transformera en une lagune. De plus, il est fort possible que, du fait des dimensions relativement profondes envisagées pour le chenal, il se produise une augmentation de l'action de la marée et de l'intrusion saline dans l'estuaire. Une telle pénétration saline entraînerait la floculation et la précipitation de fins sédiments en suspension transportés par le fleuve.

En l'absence d'un trafic de marchandises en vrac, un chenal à une voie sera suffisant jusqu'en l'an 2000. Pour l'année 2025, un chenal à deux voies sera justifié étant donné les volumes de marchandises prévus.

Les dimensions indiquées dans le tableau 1.4 sont basées sur les conditions marines côtières ainsi que sur les catégories de navires attendues. Celles-ci sont estimées nécessaires pour chaque jauge maximale de navire.

Tableau 1.4

DIMENSIONS DU CHENAL D'ACCES ET

DU POSTE DE MOUILLAGE

Caractéristiques du navire  
Port en lourd en tonnes  
Tirant d'eau en mètres

Dimension (en mètres)	jusqu'à 15.000t <u>8,2 m</u>	jusqu'à 20.000t <u>9,0 m</u>	jusqu'à 25.000t <u>10,0 m</u>	jusqu'à 35.000t <u>11,0 m</u>
Section du chenal	Ext./Méd.	Ext./Méd.	Ext./Méd.	Ext./Méd.
Profondeur du fond du chenal (au-dessous du Zéro IGN)	13,0/12,0	14,0/13,0	15,25/14,25	16,5/15,5
Largeur de la section	115/110	120/120	130/130	150/150
Largeur de la section de transition	175/--	200/--	230/--	250/--
Profondeur du fond au poste de mouillage (au-dessous du Zéro IGN)	10,5	11,5	12,5	13,75

La sélection finale de la jauge de référence des navires, et de ce fait des dimensions du chenal, a été basée sur une comparaison entre les économies réalisées sur les coûts de transport maritime et l'augmentation des coûts en capital et de maintenance pour l'approfondissement du chenal d'accès. Les coûts en capital relatifs au dragage du chenal sont basés sur l'hypothèse qu'au-dessus de -13,5 m IGN le matériau de fond est du sable et,

qu'en-dessous, on rencontrera une couche de matériaux durs consolidés. La profondeur et le coût de dragage de cette couche de matériaux ne seront pas connus avant la fin du programme de reconnaissance des sols. L'évaluation économique établissant la jauge maximale des navires et la profondeur du chenal est affectée de façon significative par les coûts de dragage. De ce fait, les évaluations ont été basées sur deux estimations de coûts de dragage:

- . Une estimation de coût optimiste, basée sur l'hypothèse que le matériau dur peut être dragué à l'aide d'une unité suceuse à désagréateur.
- . Une estimation de coût pessimiste, basée sur l'hypothèse que le matériau dur doit être foré et dynamité avant le dragage.

La jauge de référence recommandée, pour chaque stade futur et pour chaque hypothèse de dragage, est présentée dans le tableau 1.5, ci-dessous.

Tableau 1.5

JAUGE DE REFERENCE RECOMMANDEE  
(port en lourd)

<u>Année</u>	<u>1983</u>	<u>1990</u>	<u>2000</u>	<u>2025</u>
Coût de dragage optimiste	25 000	25 000	25 000	35 000
Coût de dragage pessimiste	15 000	15 000	25 000	25 000

Si l'on applique les estimations de dragage optimiste, un chenal d'une profondeur de -15,25 m à l'entrée du chenal à -12,5 m IGN au poste de mouillage est recommandé. Si l'on applique les estimations pessimistes, il est alors recommandé d'avoir un chenal d'une profondeur de -13,0 à -10,5 m IGN, respectivement.



Il faut souligner que dans le cas de l'estimation optimiste de dragage, la profondeur d'eau recommandée pour le poste de mouillage du port de St-Louis est comparable à celle actuellement disponible au port de Dakar. Le port de St-Louis étant situé dans un estuaire fluvial, la profondeur pour ce port (-12,5 m) est exprimée par rapport au Zéro IGN (niveau moyen de la mer) plutôt que par rapport au Zéro des Cartes et des Marées (marée basse extrême) utilisé pour le port de Dakar (-11 m) qui se trouve dans une baie océanique. Du fait de la différence de ces deux systèmes de référence, il est important de noter que -12,5 m IGN est égal à -11,5 m Zéro des Cartes et des Marées. Ensuite, puisque l'eau douce est prédominante dans le port de St-Louis, une tolérance de profondeur supplémentaire doit être accordée étant donné que le tirant d'eau des navires est plus important en eau douce qu'en eau salée. Enfin, vu que St-Louis est situé dans un estuaire fluvial, le phénomène d'envasement sera plus important que dans un port maritime et donc une tolérance additionnelle doit être accordée.

#### 1.4 Emplacement du chenal

Compte tenu que le chenal d'accès proposé dans ce rapport, pour un navire de référence de 25 000 tonnes de port en lourd, sera considérablement plus long et plus profond que celui proposé par SNC, un examen de l'emplacement du chenal s'imposait.

Les profondeurs plus importantes prévues dans le chenal d'accès entraînent une augmentation considérable des coûts de dragage. A l'examen des informations contenues dans le rapport SNC, il nous est apparu évident que cette augmentation de coûts pouvait être minimisée en déplaçant le chenal proposé de quelque 650 m vers le nord. Le chenal d'accès aurait un alignement suivant l'Azimut 080/260°. A cet emplacement, la zone d'eau profonde naturelle est plus proche du rivage, ce qui réduit les quantités à draguer au large; de plus, la section intérieure du chenal est plus proche de l'aire portuaire proposée, ce qui réduit les quantités à draguer dans l'estuaire. Dans le cas de l'estimation de coût optimiste, des économies de l'ordre de 8 millions de dollars seraient réalisées.

L'aire sablonneuse de la Langue de Barbarie située entre le port de pêche et l'emplacement du chenal proposé par SNC, est actuellement réservée en zone pour le développement touristique, bien qu'il apparaisse qu'aucun projet ne soit actuellement considéré. A l'heure actuelle cette aire est utilisée comme plage récréative, à la fois par les résidents locaux et par les touristes.

Nous considérons que l'économie de coût de quelque 8 millions de dollars précédemment mentionnée, associée aux quantités à draguer est suffisante pour justifier notre recommandation pour le déplacement du chenal d'accès. Il faut souligner que notre recommandation est uniquement basée sur des considérations techniques. Nous supposons que l'OMVS examinera les implications de cette recommandation avec les agences de planification de la ville de St-Louis.

#### 1.5 Disposition des brise-lames

En se basant sur les évaluations préliminaires du transport littoral le long de la côte de St-Louis et sur la future sédimentation du chenal d'accès, nous constatons qu'il est adéquat de protéger le chenal au nord à l'aide d'un brise-lames relativement long et sur le côté sud à l'aide d'un autre brise-lames un peu plus court. Les recommandations préliminaires relatives à l'alignement et la longueur des brise-lames sont de 270° Azimut et 800 m pour le brise-lames nord et 270° Azimut et 300 m pour le brise-lames sud, (voir figure 5.4). Les longueurs et alignements finalement adoptés seront déterminés par les tests sur modèle réduit.

Ce rapport présente l'analyse et les recommandations pour la sélection préliminaire de l'emplacement, des dimensions et de l'orientation des brise-lames, ainsi que du chenal permettant d'accéder au port de St-Louis, situé dans l'estuaire.

Ce rapport préliminaire a été préparé afin de pouvoir commencer les programmes de sondages en mer et sur terre le long de la Langue de Barbarie ainsi que les essais sur modèles hydrauliques, aussitôt que possible. De ce fait, les prévisions de trafic de marchandises utilisées sont celles présentées par Lackner Dorsch Electrowatt (LDE) dans leur rapport "Mission A.1.8: Etude Générale du Trafic".

Parallèlement à la rédaction de ce rapport sur le chenal d'accès, une révision des prévisions de trafic de marchandises de LDE a été entreprise; cette dernière sera présentée dans notre rapport "Prévisions de Trafic". Une édition finale du présent rapport sera publiée en tenant compte des conclusions de notre Rapport No. 04, celles tirées à partir de données prélevées par notre programme de reconnaissance des sols et celles découlant des résultats des essais sur les modèles hydrauliques.

Le Cadre de Références du projet indique que l'OMVS a approuvé, provisoirement, les recommandations pour le chenal d'accès faites dans le rapport Surveyer, Nenniger et Chênevert (SNC) de 1972, intitulé "Etude de la Navigabilité et des Ports du Fleuve Sénégal". Ce rapport recommandait un chenal d'accès d'une profondeur de 10 m au-dessous du Zéro IGN et d'une largeur de 150 m pour les navires dont le tirant d'eau en pleine charge est estimé à 8,2 m. Toutefois, les recommandations de SNC, sont basées sur le mouvement annuel d'environ 290 000 tonnes de marchandises, durant une courte période, pour un fleuve Sénégal

non régularisé. Dans le cadre du projet actuel, le port de St-Louis est planifié de telle sorte que ses aménagements pourront répondre à un trafic de marchandises beaucoup plus important dans des conditions de débit fluvial régularisé.

Comme indiqué dans le paragraphe 3, on prévoit que le futur port de St-Louis sera un port majeur qui, d'ici l'an 2025, aura un trafic d'hydrocarbures et de marchandises générales de plus du double de celui qui existe actuellement à Dakar.

Non seulement l'étude de SNC était basée sur des volumes de marchandises bien plus faibles que ceux prévus par LDE, mais en plus la logique de sélection utilisée par SNC, pour les dimensions physiques du chenal d'accès, était basée sur un examen superficiel des caractéristiques des navires et de leur fréquence d'escale à Dakar. De plus, ces données datent de 10 ans et SNC recommandait un examen plus approfondi des caractéristiques du transport maritime avant de déterminer de façon finale les dimensions du chenal.

Les dimensions du chenal d'accès sont réévaluées dans ce rapport en tenant compte des changements majeurs relatifs à l'étendue du projet qui sont survenus depuis les recommandations de SNC. Un examen des caractéristiques des navires utilisant le port de Dakar et de l'organisation du commerce maritime sur la côte ouest africaine a été effectué au sein de cette étude. Les bénéfices de la sélection d'un chenal dont les dimensions permettent l'accès de navires de 10 000 à 35 000 tonnes de port en lourd sont examinés, et les futures dimensions du chenal sont recommandées sur la base des résultats de cette analyse.

Il est impossible de procéder aux recommandations finales de l'emplacement et des dimensions du chenal d'accès tant que les effets des volumes de matériaux en vrac et les résultats du programme de reconnaissance des sols au large et dans l'estuaire n'ont pas été évalués. Néanmoins, ce rapport détermine les



dimensions minimales recommandées pour le chenal d'accès au port de St-Louis. Les dimensions du chenal d'accès telles que déterminées dans ce rapport seront utilisées dans les stades initiaux du modelage physique du chenal. Un chenal plus profond pourrait être économiquement justifié si les volumes de marchandises en vrac sont suffisants et si le degré de confiance vis-à-vis des prévisions est raisonnable.

Tous les coûts présentés dans ce rapport sont en dollars U.S. 1982. (1 \$ U.S. = 385 FrCFA).

### 3.0

### PREVISIONS PRELIMINAIRES DES MARCHANDISES

Les prévisions de trafic de marchandises présentées dans le tome A.1.8 du rapport de Lackner Dorsch Electrowatt (LDE) sont utilisées dans le présent rapport et, comme indiqué dans le paragraphe 2.0, uniquement les prévisions de marchandises générales et d'hydrocarbures devant être manutentionnées au port de St-Louis ont été incluses. Ces volumes de marchandises sont présentés dans le tableau 3.1.

Tableau 3.1

#### PREVISIONS DE MARCHANDISES POUR ST-LOUIS (en millier de tonnes)

Année	Marchandises Générales			Hydro- carbures	Trafic total de marchan- dises
	Charge- ment	Décharge- ment	Total		
1983	76,6	208,9	285,5	115,6	401,1
1990	191,2	328,6	519,8	212,8	732,6
2000	525,7	814,1	1.339,8	457,8	1.797,6
2025	1.978,9	2.879,0	4.857,9	1.799,9	6.657,8

Source: Groupe LDE, Mission A.1.8, tome II, Tableau E4-1 a E4-4.

Les prévisions du trafic de marchandises générales normalement liées à la population, ont été évaluées indépendamment du développement et du transport des ressources minérales et sont tirées directement du rapport LDE.

Le tableau 3.2 présente une comparaison des volumes du trafic annuel prévus des marchandises générales et des hydrocarbures pour St-Louis avec ceux du port de Dakar, à l'heure actuelle. Comme indiqué dans ce tableau, il est prévu qu'en 2025, le trafic des marchandises générales et des hydrocarbures du port de St-Louis sera plus du double que celui qui existe actuellement au port de Dakar.

Tableau 3.2

COMPARAISON DU TRAFIC DES MARCHANDISES ENTRE  
LES PORTS DE ST-LOUIS ET DAKAR

	Année	Volumes de marchandises générales et d'hydrocarbures (tonnes)
Port de Dakar	1981 (1)	2 949 757
Port de St-Louis	1990	732 600
	2000	1 797 600
	2025	6 657 800

(1) Statistiques du trafic au Port Autonome de Dakar, (1981).

#### 4.0 ANALYSE DE TRANSPORT MARITIME

Le but de l'analyse de transport maritime vise à déterminer les coûts du transport maritime qui serviront à l'analyse économique du chenal d'accès. Ces coûts dépendent des types de navires, de la distribution de la flotte, des taux de manutention, de la taille des chargements, des frais portuaires et des tarifs de manutention des marchandises, et du flux commercial. La position de St-Louis par rapport aux routes commerciales ouest africaines, la nature de son commerce et les restrictions de tirant d'eau généralement rencontrées dans les ports ouest africains, ont un impact significatif sur les facteurs mentionnés ci-dessus et doivent donc être pris en considération.

#### 4.1 Types de navires

Pour ce rapport, les navires sont classifiés en cinq types distincts. Seuls ceux se rapportant à la présente étude ont été analysés en fonction des données nécessaires au calcul des coûts de transport maritime.

##### 4.1.1 Breakbulk

En Afrique de l'ouest, les marchandises sont traditionnellement expédiées par navires du type breakbulk. Les méthodes de manutention associées aux navires de ce type sont bien adaptées aux faibles trafics de marchandises et aux chargements de petites tailles, contrairement aux navires porte-containers et Ro/Ro qui requièrent un trafic de marchandises et des chargements plus importants. Toutefois, la part du marché des breakbulks est en train de s'amenuiser du fait de la concurrence des navires Ro/Ro et porte-containers.



#### 4.1.2 Navires porte-containers et navires Ro/Ro

Les navires porte-containers et navires Ro-Ro ont été classifiés dans la même catégorie étant donné que leurs coûts initial et d'opération sont similaires. Ce type de navires sera mentionné sous le nom de navires CONRO tout au long de ce rapport. Suite aux économies réalisées sur les frais de manutention, l'utilisation des porte-containers s'est, au cours des dernières années, développée plus rapidement que celle des breakbulks. Aussi, la part de marché des porte-containers devient-elle de plus en plus importante. Le marché ouest africain des containers diffère des autres du fait que la plupart des navires ont leur propre équipement de manutention car la majorité des ports de cette zone ne sont pas équipés pour la manutention des containers. Les compagnies maritimes continueront d'utiliser des navires ainsi équipés jusqu'à ce que la majorité des ports ouest africains investissent de façon importante dans des installations adéquates pour la manutention de containers. Ceci a un impact significatif sur les coûts de transport car les navires munis de leur propre équipement de manutention sont plus coûteux et ont une capacité de chargement inférieure par rapport aux navires non-équipés.

#### 4.1.3 Vraquiers

Les vraquiers ont été exclus de cette étude étant donné l'incertitude qui règne actuellement à propos de l'exportation des matières premières en vrac par St-Louis. Une analyse de ce commerce sera effectuée si les prévisions relatives aux matières premières en vrac se confirment.

#### 4.1.4 Navires-citernes

Les produits du pétrole raffiné constituent la majeure partie des vracs liquides manutentionnés à St-Louis et par conséquent, seuls les navires-navires, spécialisés dans ces produits, ont été considérés.

#### 4.1.5 Navires porte-barges

Les navires porte-barges sont une alternative de transport maritime pour le trafic des marchandises générales. Le concept des navires porte-barges fut développé afin d'éviter les frais de transbordement des marchandises devant être transportées vers l'intérieur des terres par des réseaux fluviaux. On s'attendait également à ce que la manutention des barges permette d'atteindre des cadences de chargement et déchargement plus élevées et par conséquent de diminuer le temps passé au port. Cette partie du rapport présente une analyse des systèmes de navires porte-barges existants en fonction des besoins spécifiques des pays de l'OMVS.

De nombreux systèmes ont été créés depuis l'introduction des unités porte-barges en 1969. Les principaux sont décrits dans les tableaux 4.1 et 4.2.

Tableau 4.1

##### CARACTERISTIQUES DES NAVIRES PORTE-BARGES

	Capacité de port en barges	Tirant d'eau d'été (en mètres)
LASH	73-89 barges Lash	10,7 - 12,4
SEABEE	38 barges Seabee	11,9
BACAT	10 Barges Bacat & 3 Barges Lash	5,4
SUPER SEABEE	26 Barges de mer Danube	10,0



Tableau 4.2

## CARACTERISTIQUES DES BARGES

	<u>Port en Lourd des barges</u> (en tonnes)	<u>Tirant d'eau en eau douce</u> (en mètres)
LASH	377	2,7
SEABEE	860	3,2
BACAT	150	2,4
SUPER SEABEE	1 087	3,4

Les navires porte-barges tels que LASH, SEABEE et BACAT opèrent de port à port avec des coûts de transport similaires à ceux des navires porte-containers.

Les économies potentielles réalisées grâce aux porte-barges reposent sur le fait que l'on évite un transbordement lorsque les marchandises doivent être transportées par voie fluviale à l'intérieur des terres et sur le fait que le temps passé au port par les navires est réduit. Les études antérieures indiquent que dans le cas de St-Louis des économies supplémentaires pourraient être réalisées si les navires porte-barges déchargeaient en mer ou à l'abri du brise-lames, étant donné que le chenal d'accès et le port pourraient être beaucoup moins profonds. La pratique a démontré que des eaux très calmes sont nécessaires au déchargement des navires porte-barges. De ce fait, les navires porte-barges devraient décharger dans les eaux protégées du fleuve. Dès lors, aucune économie significative ne serait réalisée.

Les navires porte-barges sont compétitifs uniquement si les barges sont utilisées au maximum de leur capacité de transport. Ceci implique que l'on dispose d'un bon groupage des marchandises et qu'il n'y a pas de limitation de tirant d'eau dans le système fluvial diminuant la capacité de transport des barges. Les chargements à destination de l'Afrique de l'ouest ont de tous temps été faibles et ceci créera beaucoup de problèmes pour le groupage ainsi que des coûts d'inventaire plus élevés. Comme il

est indiqué dans la Mission A.1.10 de LDE: Rapport Général, paragraphe 8.4.2, les barges fonctionneront avec un tirant d'eau de 1,5 m durant 8 mois de l'année et de 2,0 m pendant les 4 mois restants. Comme on peut le voir dans le tableau 4.2, le tirant d'eau maximum permettant aux LASH et autres barges d'opérer en eau douce variera entre 2,4 et 3,4 m. Le fait que l'on ne puisse pas utiliser le tirant d'eau complet pour le fonctionnement des barges est un désavantage majeur.

Du au fait que le déchargement des navires porte-barges doit se faire dans des eaux calmes et que les frais d'exploitation des barges partiellement chargées s'avèrent élevés, les avantages économiques des navires porte-barges en service ne sont pas aussi important que prévus. En conséquence, les navires porte-barges n'ont pas été considérés davantage dans cette étude.

#### 4.2 Caractéristiques des navires et distribution du port en lourd

##### 4.2.1 Caractéristiques actuelles des navires au port de Dakar

Les enregistrements journaliers du trafic de Dakar, pour le mois de février 1982, ont été analysés pour les navires ayant fait escale dans le port intérieur. (Les pétroliers faisant escale à l'extérieur du port n'ont pas été inclus dans cette étude car aucun trafic de pétrole brut n'est prévu pour St-Louis). Ces données relatives aux navires ont été compilées et le registre de Transport Maritime Lloyd a été utilisé comme source pour les caractéristiques des navires. Les navires ont été classifiés en fonction de leur port en lourd. Le tableau 4.3 montre la distribution du port en lourd en fonction du type des navires.

Tableau 4.3

DISTRIBUTION DU PORT EN LOURD DES NAVIRES  
POUR LE PORT DE DAKAR  
(Pourcentage du port en lourd total)

Type de navire	Jauge des navires (port en lourd)						Total
	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	35 000	
Breakbulk	30	26	39	5	-	-	100
CONRO	8	16	22	20	34	-	100
Navires-citernes	15	-	-	10	41	34	100

Source: Statistiques du port de Dakar

Le tirant d'eau d'été des types et jauges de navires utilisés dans le tableau 4.3 a été analysé et classifié en catégories comme indiqué dans le tableau 4.4.

Tableau 4.4

CATEGORIES DE TIRANTS D'EAU D'ETE (m) VERSUS

PORT EN LOURD

Type de navire	Tirant d'eau (en mètres)						
	6	7	8	9	9,5	10	11
Breakbulk	5 000	-	10 000	15 000	20 000	-	-
CONRO	5 000	10 000	15 000	20 000	-	25 000	-
Navires-citernes	-	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	35 000

Source: compilé à partir des données de Fairplay International

Les statistiques du port de Dakar indiquent que les navires les plus importants, passant par ce port, ont un tirant d'eau proche de leur ligne de charge d'été. Ceci est dû au fait que le port de Dakar est la première escale ouest africaine pour les navires chargés se dirigeant vers le sud, en provenance d'Europe ou d'Amérique du Nord. Le tirant d'eau de ces navires décroît au fur et à mesure des déchargements au cours de leurs escales portuaires successives et par conséquent des profondeurs d'eau moins importantes sont possibles dans les ports situés plus au sud.

#### 4.2.2 Prévisions de la flotte

La composition de la flotte faisant escale sur la côte ouest africaine est limitée par deux facteurs:

- . la limitation du tirant d'eau dans les ports concernés et
- . la nature du commerce.

Le tableau 4.5 indique les profondeurs maximales disponibles dans les ports ouest africains. La plupart des ports de la zone commerciale ouest africaine ont une limitation de profondeur d'eau de 10 m ou moins. Les compagnies maritimes basent la jauge de leurs navires sur ces limitations car les navires de jauge plus importante auraient à faire escale partiellement chargés, ce qui rendrait leur opération moins compétitive.

Tableau 4.5  
PROFONDEUR MAXIMUM ACTUELLE DANS LES PORTS  
OUEST AFRICAINS

<u>Pays</u>	<u>Port</u>	<u>Profondeur</u> (en mètres)
Angola	Lobito	11,3
	Luanda	10,4
	Mocamêdes	10,7
Bénin	Cotonou	9,5
Cameroun	Douala	9,5
Congo	Pointe-Noire	9,5
Gabon	Owendo	10,1
	Port Gentil	11,0
Gambie	Banjul	9,5
Ghana	Takoradi	8,5
	Téma	9,6
Guinée	Conakry	10,0
Guinée-Bissau	Bissau	8,0
Côte d'Ivoire	Abidjan	11,0
	San Pêdro	11,0
Libéria	Buchanan	10,0
	Monrovia	9,1
Nigéria	Calabar	6,0
	Lagos/Apapa	13,5
	Port Harcourt	8,2
	Warri	6,6
Sénégal	Dakar	11,0
Sierra Léone	Freetown	9,9
Togo	Lomé	9,5
Zaire	Matadi	10,0

Source: H.P. Drewry, West African Liner Trade, 1979

N.B.: Lorsque l'on compare les profondeurs proposées pour St-Louis avec celles mentionnées dans le tableau 4.5, il faut d'abord réduire de 1,0 m celles de St-Louis afin de les convertir du Zéro IGN en Zéro des Cartes et des Marées et ensuite réduire davantage de 0,5 m afin d'y incorporer les tolérances spéciales applicables au port de St-Louis, relatives à l'eau douce et l'envasement.

Suivant le tableau 4.5, la profondeur disponible au port de Dakar est plus importante que celle de la plupart des ports ouest africains. Dès lors, en tenant compte des caractéristiques compilées auprès des compagnies maritimes, nous considérons que la flotte de navires faisant escale est représentative de celle de la côte ouest africaine. Cette flotte a donc été considérée dans le cadre de cette étude comme la flotte potentielle pour le port de St-Louis.

#### 4.3 Analyse du coût unitaire de transport maritime

##### 4.3.1 Considérations préliminaires

Les coûts inhérents au transport des marchandises suivant diverses destinations et origines dépendent de plusieurs facteurs tels: le temps passé en mer et celui passé au port, les coûts d'acquisition ainsi que les coûts d'opération des navires affectés, les taxes portuaires et enfin les frais de manutention des marchandises. Chacun de ces facteurs a été évalué. Un modèle de coût de transport maritime a été développé afin de permettre l'évaluation des coûts annuels de transport maritime pour St-Louis en fonction de la limitation de tirant d'eau disponible dans le port et des volumes annuels du trafic des marchandises. Dans les chapitres suivants, les coûts annuels de transport maritime sont ajoutés au coût en capital annuel du chenal et au coût annuel du dragage de maintenance du chenal, afin d'évaluer les coûts combinés minimums qui apparaîtront pour diverses profondeurs de chenal. Les paragraphes suivants décrivent les diverses composantes du modèle du coût de transport maritime.

##### 4.3.2 Temps d'utilisation des navires

Le temps passé au port a été obtenu à partir des chargements et des temps de manutention moyens des marchandises. Les chargements moyens ont été estimés à 1 200 tonnes pour les CONRO, 350 tonnes pour les breakbulks et 4000 tonnes pour les navires-citernes. Dans



le cas du trafic des marchandises générales et des CONRO, les dimensions de ces chargements ont été déterminées à partir des statistiques du port de Dakar et des compagnies maritimes. Dans le cas du trafic des navires-citernes, ces chargements ont été estimés à partir de l'expérience.

Les taux globaux de manutention des marchandises sont basés sur un temps de manutention de ces marchandises et un temps fixe passé au port (arrivée, départ, attente, etc.). Ils sont présentés dans le tableau 4.6.

Tableau 4.6

TAUX GLOBAUX DE LA  
MANUTENTION DES MARCHANDISES

Tonnes/heure dans le port

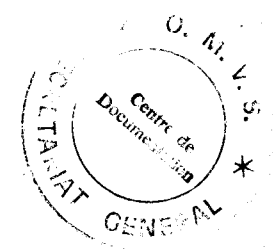
	<u>St-Louis</u>	<u>Europe</u>	<u>E.U.</u>	<u>Asie</u>
Breakbulk	25	25	50	50
CONRO	78	176	176	176
Navires-citernes	620	740	740	740

Source: Statistiques du port de Dakar, UNCTAD et diverses compagnies maritimes.

Le temps passé en mer a été obtenu à partir des vitesses moyennes des navires présentées dans le tableau 4.7 et des distances moyennes de parcours présentées dans le tableau 4.8.

Tableau 4.7

## VITESSES DES NAVIRES (NOEUDS)



Jauge des navires (port en lourd)

Type de navire	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	35 000
Breakbulk	14	15	17	17	-	-
CONRO	15	16	17	19	20	-
Navires-citernes	13	14	15	15	15	15

Source: Enquête BBL-SW

Tableau 4.8

DISTANCE DE PARCOURS  
(en milles marins)

	Europe	Amérique du Nord	Asie	Inter-port
Distance	3 400	6 200	13 000	1 500

## 4.3.3 Coûts en capital et d'opération des navires

Les coûts en capital utilisés dans cette étude sont dérivés d'une analyse de régression linéaire effectuée à l'aide des coûts de construction les plus récents (1982) publiés par Fairplay International. Le montant journalier équivalent a été calculé sur la base d'un taux de rendement de 15% pour une durée de vie estimée à 15 ans, valeurs couramment employées dans l'industrie du transport maritime. Les coûts d'opération ont été répartis en deux catégories: les coûts fixes et les coûts variables (principalement les coûts en carburants).

Les coûts de base considérés pour les carburants sont de 200 dollars la tonne pour le mazout et de 325 dollars la tonne pour le gas-oil. En mer, on considère la consommation du mazout et du gas-oil. Au port, la consommation du mazout est nulle alors que seule celle du gas-oil demeure.

Les coûts fixes journaliers, c'est-à-dire les coûts en capital additionnés aux coûts d'opération fixes, sont montrés dans le tableau 4.9.

Tableau 4.9

COÛTS FIXES JOURNALIERS D'UN NAVIRE  
(dollars U.S.)

Jauge des navires  
(port en lourd)

Type de navire	<u>5 000</u>	<u>10 000</u>	<u>15 000</u>	<u>20 000</u>	<u>25 000</u>	<u>35 000</u>
Breakbulk	3 760	5 120	6 630	7 700	-	-
CONRO	9 690	13 370	17 600	24 280	30 810	-
Navires-citernes	5 140	8 560	11 200	13 700	15 470	18 920

Tableau 4.10  
CONSOMMATION DE GAS-OIL ET MAZOUT (T/jour)

Type de navire	Jauge des navires (port en lourd)					
	5 000	10 000	15 000	20 000	25 000	35 000
MAZOUT						
Breakbulk	24,0	26,0	28,0	31,0	-	-
CONRO	20,5	25,7	33,8	47,5	66,6	-
Navires-citernes	18,0	22,0	25,0	30,0	34,0	43,0
GAS-OIL						
Breakbulk						
CONRO	1,5	1,5	2,0	2,0	2,5	2,5
Navires-citernes						

Source: Compilation à partir des données de Fairplay International et des dossiers de données de BBL-SW.

#### 4.3.4 Taxes portuaires et frais de manutention

Pour cette étude, les frais portuaires et ceux de manutention ont été répartis en deux catégories:

- les frais relatifs aux navires (droits de pilotage, droits de quai, taxe portuaire/navire, etc.)
- les frais relatifs aux chargements (frais de manutention, taxe portuaire/tonne, etc.)

Ces taxes et frais peuvent varier suivant les pays et les ports dans lesquels les navires font escales. Le tableau 4.11 présente les taxes et frais moyens utilisés dans cette étude. Pour le port de St-Louis, seuls les frais de manutention appliqués au chargement et au déchargement des marchandises dans le port ont



été considérés. En ce qui concerne les autres ports, nous avons supposé que toutes les marchandises étaient sujettes aux mêmes frais de manutention et que les coûts totaux relatifs au navire étaient proportionnels au nombre moyen d'escales des navires.

Dans cette étude, le trafic inter-port se rapporte au commerce entre St-Louis et les autres ports ouest africains.

Tableau 4.11

FRAIS PORTUAIRES ET DE MANUTENTION

	Frais relatifs aux chargements (Frais \$/tonne)		Frais relatifs aux navires (Taxe \$/escale)	
	CONRO	Breakbulk	Navires- Citernes	
Europe	18,3	29,3	6,3	10 000
Inter-port & St-Louis	9,7	16,7	5,7	8 000
E.U.	20,0	33,0	5,0	12 000
Autres	13,0	21,0	5,0	12 000

4.3.5 Coûts unitaires de transport maritime

Les données présentées ci-dessus ont été combinées afin de calculer les coûts unitaires de transport maritime indiqués dans le tableau 4.12. Ces derniers représentent les coûts moyens pour l'import/export. Les prix de revient cités par les expéditeurs varient considérablement en fonction du type de marchandises, du volume, de la taille des chargements et de leur destination.

Tableau 4.12

COUTS UNITAIRES DE TRANSPORT MARITIME  
(en dollar U.S./tonne)

BREAKBULK

Jauge des navires  
(port en lourd)

	<u>5 000</u>	<u>10 000</u>	<u>15 000</u>	<u>20 000</u>
Destination/origine				
Europe	105,20	91,00	88,30	89,60
Inter-port	75,80	68,30	68,50	70,80
E.U.	130,10	107,90	101,20	101,40
Asie	180,50	133,40	115,90	112,50

CONRO

Jauge des navires  
(port en lourd)

	<u>5 000</u>	<u>10 000</u>	<u>15 000</u>	<u>20 000</u>	<u>25 000</u>
Destination/origine					
Europe	94,30	71,30	65,70	66,50	67,90
Inter-port	66,00	50,10	46,70	48,00	49,80
E.U.	123,40	90,80	82,20	82,50	83,30
Asie	187,70	129,40	112,80	111,30	110,50

NAVIRES-CITERNES

Jauge des navires  
(port en lourd)

	<u>5 000</u>	<u>10 000</u>	<u>15 000</u>	<u>20 000</u>	<u>25 000</u>	<u>35 000</u>
Destination/origine						
Europe	62,60	47,60	39,50	36,60	34,10	31,30
Inter-port	38,10	29,50	25,30	23,60	22,30	20,90
E.U.	91,00	69,30	56,20	51,90	47,80	43,40
Asie	180,60	133,80	106,50	97,20	88,90	79,30

#### 4.3.6 Volumes transportés

Pour le modèle, les volumes transportés par chaque type et jauge de navires sont la combinaison de leur part du marché et des flux commerciaux entre les différentes zones de commerce.

Quatre zones principales ont été définies et le tableau 4.13 montre les flux commerciaux établis à partir des statistiques fournies par les autorités portuaires de Dakar.

Tableau 4.13

##### FLUX COMMERCIAUX

<u>Zone de commerce</u>	<u>Europe</u>	<u>Inter-port</u>	<u>E.U.</u>	<u>Asie et autres</u>
% du trafic total	64	13	4	19

Nous avons supposé que la quantité de marchandises transportée par un type donné de jauge de navires était proportionnelle au tonnage total de ce type desservant l'Afrique de l'ouest. Par conséquent, le tableau 4.3 représentera également, pour chaque type de navire, la part du marché pour chaque catégorie de jauge considérée. Dans cette étude, nous avons supposé que cette part du marché ne variait pas en fonction de la route considérée. Nous avons également considéré que les hydrocarbures étaient uniquement transportés par navires-citernes. Le trafic des marchandises générales a été réparti entre les types breakbulk et CONRO. Cette distribution a fait l'objet de discussions avec les compagnies maritimes et leur estimation de 45% pour les breakbulks et de 55% pour les CONRO a été retenue.

La quantité de marchandises allouée à chaque type et jauge de navires a d'abord été calculée pour la flotte potentielle de St-Louis en combinant les prévisions du commerce, le flux commercial et les données du marché du transport maritime. Lorsqu'une limitation de tirant d'eau a été utilisée pour St-Louis, nous avons supposé que les navires dont le tirant d'eau d'été dépassait cette limitation ne faisaient pas escale au port, le volume de marchandises qu'ils auraient transporté a été alloué aux autres navires en fonction de leur part du marché telle que définie dans le paragraphe précédent.

4.3.7 Evaluation du nombre d'escales par les navires

Les données utilisées pour l'évaluation des coûts de transport maritime ont également servi à calculer le nombre d'escales des navires au port de St-Louis pour les divers niveaux de trafic. Ces données ont été établies dans le but d'évaluer la congestion du chenal. Le tableau 4.14 présente les résultats de ces calculs.

Tableau 4.14

NOMBRE D'ESCALES DES NAVIRES/AN

<u>Année</u>	<u>1983</u>	<u>1990</u>	<u>2000</u>	<u>2025</u>
No. d'escales	486	881	2 261	8 157



## 5.0 CHENAL D'ACCES ET BRISE-LAMES

### 5.1 Conditions hydrauliques et environnementales à St-Louis

Les principaux facteurs extérieurs qui influencent la navigation des navires sont le vent, les forces des vagues, et les courants. Ces aspects de l'environnement ont déjà été abordés dans le cadre d'études antérieures et feront l'objet d'analyses supplémentaires au cours de cette étude.

Les vents sont en provenance prédominante du nord au cours de l'hiver (novembre à mai/juin) et d'ouest à nord-ouest durant l'été (juillet à octobre). Les vitesses moyennes du vent dépassent rarement 10 m/s (approximativement 20 noeuds) et sont généralement de 3 à 4 m/s (6 à 8 noeuds). Il a été noté que les fortes brises surviennent moins de 1% du temps, mais que des vents forts d'est résultant de grains alignés (désignés sous le nom de "tornades"), peuvent, d'une manière générale, atteindre 10 à 15 m/s. (20 à 30 noeuds). Toutefois, il faut noter que des rafales atteignant jusqu'à 40 m/s (80 noeuds) ont été enregistrées.

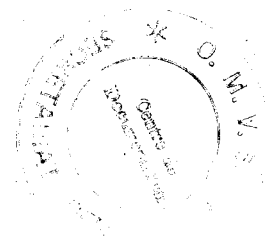
En haute mer, des houles de nord-nord-ouest créant des vagues déferlantes d'avant-plage qui frappent le rivage sous un angle d'incidence ouest-nord-ouest ont été signalées. Il a été noté que les vagues orientées davantage vers l'ouest et dont les périodes sont plus courtes coïncident parfois avec les houles de nord-nord-ouest.

Le courant côtier qui se situe près du chenal d'accès proposé se déplace vers le sud de façon prédominante, et les relevés effectués à l'aide de flotteurs indiquent des vitesses de 15 à 25 cm/s (0.3 à 0.5 noeuds), s'accroissant de 30 à 80 cm/s (0.6 à 1.6 noeuds) près de la barre située dans les 500 m du rivage.

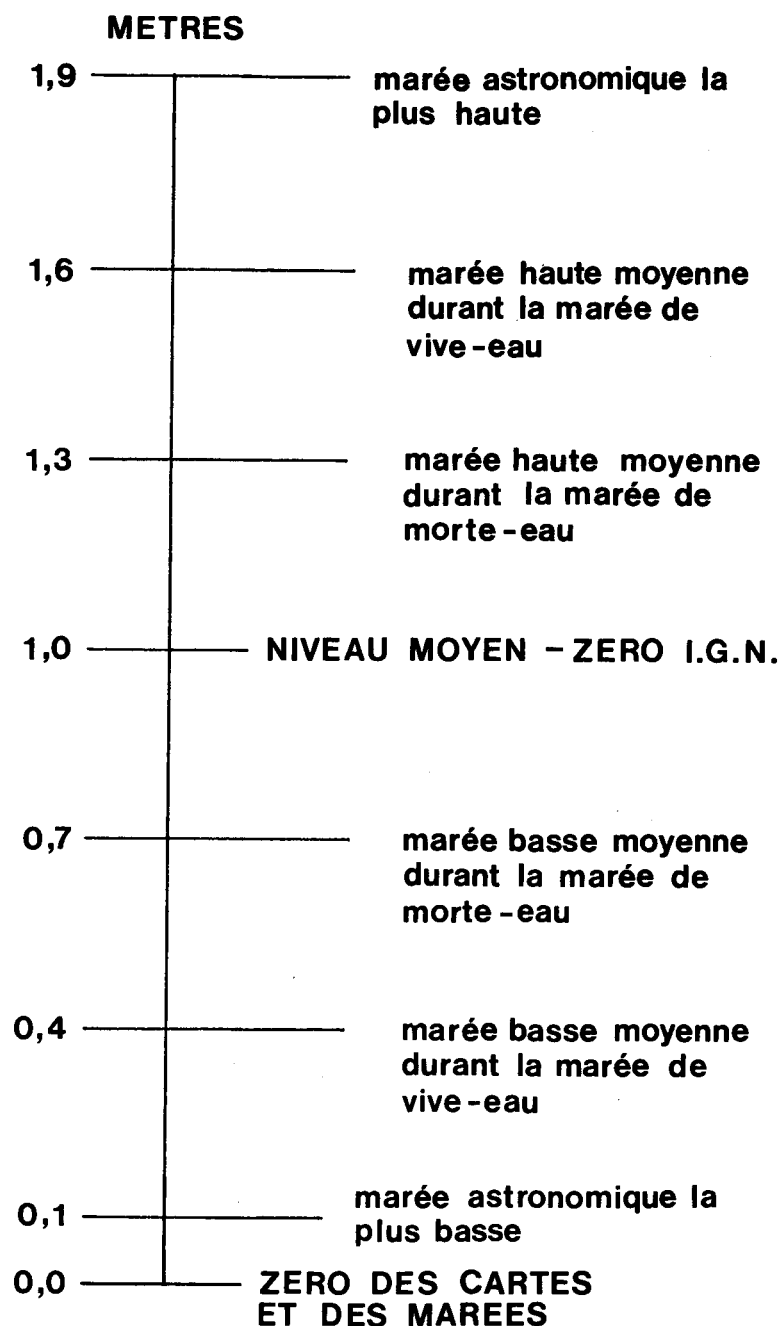
Les courants fluviaux sont influencés par les marées et l'importance du débit fluvial. Durant la saison sèche, les courants de flot et de jusant atteignent des vitesses similaires variant entre  $<25 \text{ cm/s}$  ( $<0.5 \text{ noeud}$ ) lors des marées de morte-eau, et  $<50 \text{ cm/s}$  ( $<1.0 \text{ noeud}$ ) lors des marées de vive-eau. Au cours de la saison des pluies, l'écoulement fluvial amoindrit l'effet du courant de flot et accroît les vitesses du courant de jusant, ce dernier pouvant atteindre des vitesses de l'ordre de  $1.0 \text{ m/s}$  ( $2 \text{ noeuds}$ ) pour un débit fluvial de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Les marées sont bi-quotidiennes et leurs valeurs, basées sur les Annaires des Marées de l'Amirauté de 1982, sont présentées en figure 5.1.

La densité de l'eau dépend de sa température et de sa salinité. On note que pendant la saison sèche, la salinité de l'eau au port de St-Louis est de l'ordre de 29 parties pour mille, alors que pendant la saison des pluies, le débit d'eau douce déplace pratiquement tout le flux d'eau salée. Les températures de l'eau sont de l'ordre de  $27$  à  $28,5^\circ\text{C}$ , et sont indépendantes du débit fluvial.



**FIGURE 5.1**  
**DONNEES DES MAREES A ST-LOUIS**



**SOURCE : ANNUAIRES DES MAREES  
DE L'AMIRAUTE VOLUME 2 1982**



En général, la visibilité peut être réduite à cause du brouillard, des ondées, ou de brumes de chaleur et de poussière. L'incidence du brouillard dans la région de St-Louis est faible (visibilité de moins d'un kilomètre); elle représente moins de 2% des observations mensuelles.

L'incidence d'une mauvaise visibilité (moins de 9,0 km ou 5 milles marins) est de l'ordre de 20% et les relevés indiquent une fréquence plus élevée dans la région de Dakar durant le mois d'avril, au cours duquel elle peut atteindre un maximum de 40% des observations.

Les données précitées reflètent le climat de cette zone. Notons que l'influence de ces conditions environnementales sera modifiée par la percée du chenal d'accès proposé dans la Langue de Barbarie et par la construction des brise-lames. Les résultats d'une telle action ne pourront être totalement définis qu'à la fin des études sur modèles en cours.

Les principaux effets du nouveau chenal de navigation proposé sur les conditions environnementales et hydrauliques devraient être les suivants:

- Diminution du débit fluvial dans l'embouchure existante, ce qui pourrait entraîner l'obstruction de cette dernière.
- Accroissement de l'action de la marée dans le fleuve en aval du barrage de Diama et dans l'estuaire.
- Accroissement, au cours de la saison des pluies, de l'intrusion saline dans l'estuaire, ce qui pourrait provoquer la floculation et le dépôt des sédiments fins en suspension transportés par le fleuve.

des vitesses de courants de marées relativement fortes dans la partie intérieure du chenal d'accès. Pour une profondeur de chenal de 12 m et des largeurs de 110 et 150 m, on estime que les vitesses de marées de vive-eau sont respectivement d'environ 0,8 m/s et 0,6 m/s. Au cours de la saison des pluies, le débit fluvial peut atteindre approximativement 2500 m<sup>3</sup>/s. Le courant de flot sera alors pratiquement nul et des vitesses maximales du courant de jusant d'environ 2 m/s pourraient être atteintes. Pendant la saison des pluies, on s'attend à ce que les fortes vitesses du courant de jusant provoquent quelques affouillements dans la partie intérieure du chenal.

Au cours de la saison sèche, l'eau salée de l'océan est transportée en amont par le biais des mécanismes du flot et de diffusion longitudinale générés par les courants des marées et le faible débit fluvial. Une fois le fleuve régularisé et la construction de la nouvelle entrée terminée, de telles conditions devraient prédominer. Les eaux de l'estuaire et du fleuve, jusqu'au barrage de Diama, devraient être bien mélangées, et devraient avoir une forte salinité.

Au cours d'une partie de la saison des pluies, l'eau salée est pratiquement entièrement balayée de l'estuaire existant. De telles conditions existeront probablement également dans la partie amont de l'estuaire après la construction de la nouvelle entrée.

Dans les parties profondes de la zone portuaire et du chenal d'accès, une pénétration d'eau salée risque toutefois de se produire. Les calculs préliminaires indiquent que pour des profondeurs de chenal d'environ 12 à 15 m, ou plus, l'eau salée risque de pénétrer dans le chenal intérieur et dans la zone portuaire au cours de certaines périodes de la saison des pluies. Cette pénétration saline se présentera sous forme d'une avancée d'eau salée en forme de coin le long du fond du chenal. De telles conditions provoqueront la floculation et le dépôt des sédiments en suspension transportés par le fleuve. Si l'on se base sur des

études précédentes relatives aux sédiments en suspension dans le fleuve, la quantité annuelle de dépôt pourrait se situer entre 100 000 m<sup>3</sup> et 500 000 m<sup>3</sup>.

Les pentes latérales du chenal devraient être aussi abruptes que possible afin de réduire la quantité de dragage nécessaire. Toutefois, la stabilité des pentes contre l'érosion provoquée par les vagues et les courants se trouve réduite lorsque l'on accroît leur inclinaison. Si l'on se base sur les informations de granulométrie, de l'action des vagues et des vitesses de courants actuelles, des pentes latérales de 1:10 pour la zone des brise-lames et de 1:5 pour les parties extérieure et intérieure du chenal, seraient considérées stables pour la plupart des conditions de vagues et de courants. A l'extrémité du brise-lames nord, il se produira des courants locaux transversaux générés par les vagues et, par conséquent, nous considérons qu'une pente moins prononcée de 1:15 est souhaitable. Afin de réduire le dragage à travers la Langue de Barbarie, il est possible de combiner une pente relativement abrupte de 1:3 avec une protection de la berge.

Des travaux spéciaux de stabilisation seront probablement nécessaires du fait du dépôt de sable que l'on prévoit dans la poche immédiatement au nord du brise-lames nord, et du risque d'intrusion de sable transporté par le vent dans le chenal près du cordon littoral.

## 5.2 Critères de navigation

Les abords, côté mer, du chenal d'accès proposé à St-Louis sont exempts de dangers au large de la courbe de niveau de 20 m qui se trouve entre 5 et 7 km de la côte et s'étend vers le nord/sud.

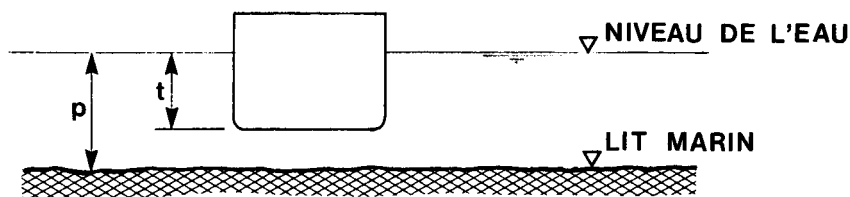
Les balises de navigation existantes comprennent les éclairages de navigation qui sont situés à St-Louis (visibilité: 12 milles marins) et ceux situés à Gandiole (visibilité: 10 milles marins). Ces éclairages, avec les balises additionnelles marquant les

extrémités proposées des brise-lames et la ligne centrale du chenal d'accès proposé, permettront de faire visuellement le point de façon précise aux abords du port de St-Louis.

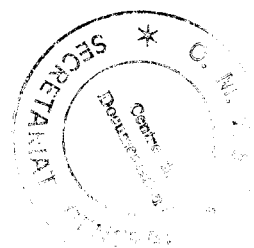
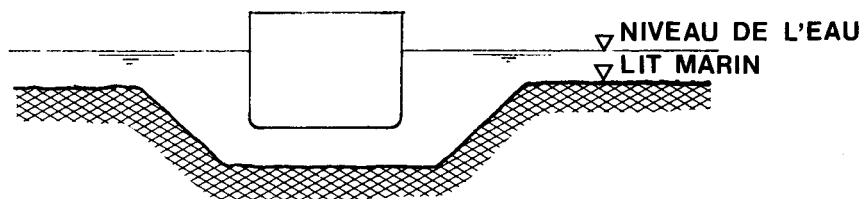
Les facteurs environnementaux influençant la navigation des navires dans le chenal d'accès sont soulignés dans le paragraphe 5.1. L'impact physique de ces influences régira la largeur et les profondeurs dans les diverses sections du chenal, qui peuvent être définies comme suit:

- 1) Le chenal extérieur, dans lequel les navires sont soumis à toute l'influence de l'activité des vagues et où la configuration du chenal varie du type "eau peu profonde" (ou profondeur/tirant d'eau ( $p/t < 1,5$ ), comme indiqué sur le croquis 1, à un type de chenal "ouvert", comme indiqué sur le croquis 2.

**CROQUIS 1 CHENAL DU TYPE "EAU PEU PROFONDE"**

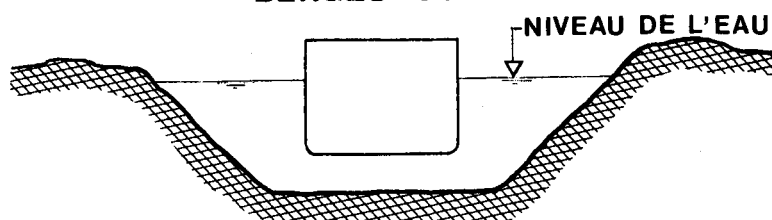


**CROQUIS 2 CHENAL DU TYPE "OUVERT"**



- 2) La section médiane du chenal, où l'influence des vagues est modérée grâce à la protection du brise-lames, peut être classifiée, du fait de la percée au travers de la Langue de Barbarie, comme type "limité ou à berges surhaussées", ainsi que l'indique le croquis 3.

**CROQUIS 3 CHENAL DU TYPE "LIMITE OU A BERGES SURHAUSSEES"**



- 3) Le chenal intérieur, comprenant le bassin de manoeuvre et les abords des postes de mouillage, dans lequel l'action des vagues est négligeable et où l'on trouve une configuration du type chenal "ouvert".

### 5.3 Chenal à une ou deux voies

La décision de construire un chenal à une ou à deux voies est basée sur la densité projetée du trafic des navires. Les prévisions du nombre de navires qui feront escale à St-Louis sont présentées dans le paragraphe 4.3.7 de ce rapport. Elles sont basées sur les prévisions du trafic de marchandises pour les chargements de marchandises générales. L'estimation du nombre d'escales des navires transportant des matières premières en vrac, les navires de pêche et de passagers ne peut pas être faite pour l'instant car les prévisions de trafic pour ces catégories sont



encore incertaines. La densité du trafic des navires résultant de ces activités, sera incorporée à une date ultérieure. Chaque escale résultera en deux mouvements de navire dans le chenal d'accès (entrée et sortie) et l'on prévoit que, pour chaque mouvement de navire, le chenal et le bassin de manoeuvre seront occupés pendant approximativement 45 minutes. Bien que le port sera ouvert au trafic des navires 24 heures par jour, l'observation d'autres ports indique que 80% des mouvements de navires se produisent entre 6h et 20h.

Un modèle de simulation a été utilisé afin d'évaluer, pour des niveaux de trafic variés, l'impact du trafic sur la congestion et sur l'utilisation du chenal par les navires. Les résultats indiquent qu'un chenal à une voie sera suffisant jusqu'en l'an 2000, pour un trafic de marchandises normal effectué pour la plupart par des navires de haute-mer. Entre l'an 2000 et 2025, on prévoit qu'il faudra élargir le chenal d'accès afin d'éviter la forte congestion qui résulterait d'un chenal à une voie.

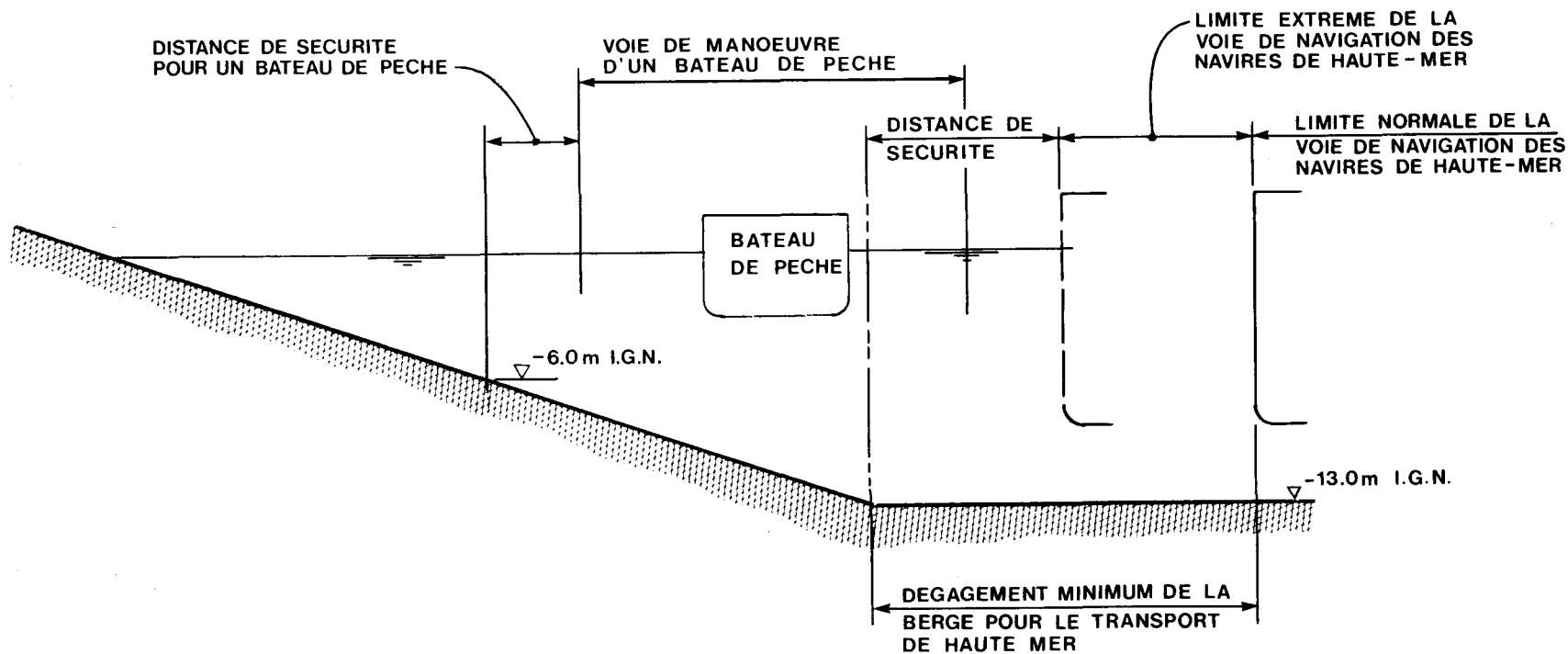
Bien qu'aucune donnée définitive ne soit disponible pour l'instant, on envisage que le port sera également utilisé par les navires de pêche. On s'attend à ce que la flottille de pêche comprenne des bateaux dont les dimensions maximales (embarcations du type pêche à la senne ou au chalut) seront les suivantes: longueur totale: 32 m, largeur: 7,5 m, tirant d'eau: 3,5 m. Ces bateaux de pêche seront compatibles avec les installations existantes du port de pêche de St-Louis.

La largeur de la voie de manoeuvre nécessaire pour de telles embarcations est de l'ordre de 20 m. Lorsque les pentes latérales du chenal, dragué pour les navires de haute mer, ne seront pas inférieures à 3:1 dans la partie critique au milieu du chenal



(entre la courbe de niveau de 6 m de chaque côté de la Langue de Barbarie) et que la profondeur minimale dans cette zone sera -13,0 m (niveau de l'IGN), ces bateaux de pêche pourront utiliser les bords extérieurs du chenal d'accès. Ce mode d'opération, comme indiqué en figure 5.2, éliminera les besoins d'un dragage supplémentaire pour les bateaux de pêche.

**FIGURE 5.2**  
**PARAMETRES DE DESIGN DE LA**  
**LARGEUR DU CHENAL D'ACCES**



La profondeur du chenal est régie par les mouvements verticaux prévus des navires résultant de l'action des vagues, de l'enfoncement dû à la vitesse du navire, des besoins en pied de pilote, et des tolérances accordées pour l'envasement et la précision de l'arpentage.

Les facteurs régissant la profondeur du chenal sont les suivants:

- 1) Le tirant d'eau de référence d'un navire, qui est basé sur la moyenne des tirants d'eau des navires dans la gamme des jauges les plus économiques tel que défini dans le paragraphe 4 de ce rapport. Ce tirant d'eau est considéré comme étant un tirant d'eau d'été maximum comprenant l'inclinaison longitudinale.
- 2) La tolérance de la ligne de charge qui est la tolérance à l'accroissement du tirant d'eau d'été de façon à tenir compte de la densité réduite de l'eau résultant des changements de température et salinité. Le port de St-Louis est situé dans une zone tropicale et cette tolérance est de 2,1 cm par mètre de tirant d'eau d'été. Une tolérance additionnelle est ajoutée pour les navires qui doivent charger en eau douce et dans le but de cette évaluation, nous avons supposé que les densités de l'eau, à la fois du fleuve et de la section médiane du chenal seront, pour une période considérable, proches de celles de l'eau douce.
- 3) L'augmentation du tirant d'eau due aux vagues est celle pour laquelle un navire excèdera son tirant d'eau normal en eau calme du fait de l'oscillation verticale, du tangage et des coups de roulis sous l'influence des vagues. Les résultats d'observations effectuées pour le chenal d'approche du port de Rotterdam indiquent qu'il peut se produire des augmentations de tirant d'eau dues aux vagues de 1,0 x la

hauteur significative des vagues ( $H_s$ ). Des analyses plus récentes faites au port de Richards Bay (Afrique du Sud) indiquent qu'avec des périodes de vagues plus longues (10 à 15 secondes) les augmentations de la hauteur des vagues étaient de l'ordre de 1,2 à 1,5 x  $H_s$ .

Le critère utilisé pour cet aspect du design du chenal est d'allouer une augmentation du tirant d'eau de 1 x  $H_s$  pour une vague de 2,25 m ayant une période d'occurrence estimée à 3 heures/an. Le critère est applicable au Zéro des Cartes et des Marées. Dans le cas de vagues excédant ce critère ou dans le cas de navires ayant un tirant d'eau critique, la manoeuvre d'entrée ou de sortie peut être effectuée lorsque les niveaux d'eau sont supérieurs au niveau moyen de la mer à condition que l'on ait une profondeur d'eau de 1,0 m supplémentaire dans le chenal.

- 4) L'enfoncement est un phénomène éprouvé par les navires se déplaçant en eau peu profonde et dans les chenaux étroits. Ceci est dû à la distribution de la pression d'eau entourant le navire et se traduit par des augmentations du tirant d'eau du navire soit à la proue, soit à la poupe. L'enfoncement qui en résulte est fonction du rapport de la zone sectionnelle submergée du navire et de la zone sectionnelle transversale du chenal, du type de chenal (ouvert ou limité) et de la vitesse du navire.
- 5) L'envasement dans le fleuve ou dans la section côtière du chenal résultera en une diminution effective de la profondeur de l'eau entre les périodes de dragage d'entretien. Une tolérance est accordée pour une telle accumulation de matériaux; cette dernière est basée sur une estimation de la rapidité de remplissage qui sera réexaminée au cours des phases ultérieures de l'étude.

- 6) La précision de l'arpentage dans le cadre des techniques de sondage conventionnelles est de l'ordre de grandeur noté dans le tableau 5.1.
- 7) Le pied de pilote est le dégagement requis entre la quille du navire pour un déplacement vertical maximum et le fond marin. Diverses études ont démontré qu'un navire peut être aisément manoeuvré si le pied de pilote est de 0,5 m. Cependant le risque pour le navire de toucher le fond ou de répondre lentement aux commandes du gouvernail est substantiel, surtout lorsque les matériaux du fond marin sont durs et que les vitesses d'approche sont relativement élevées. Les paramètres de design utilisés pour le pied de pilote allouent 0,5 m lorsqu'on prévoit des matériaux de fond marin moux et que les vitesses d'approche sont supérieures à 2 m/s (4 noeuds), 0,35 m lorsque le fond est mou et que les vitesses sont inférieures à 2 m/s, et 0,75 m lorsque le fond est dur et que les vitesses d'approche excèdent 2m/s.

Afin d'établir le niveau du fond du chenal, les tolérances de profondeur susmentionnées se réfèrent au niveau de marée basse moyenne durant la marée de vive-eau, appelé Zéro des Cartes et des Marées. Cette méthode est communément appliquée dans la planification des installations portuaires afin que l'accès au port ne soit pas restreint par le marnage.

Parfois, la profondeur requise pour le chenal d'accès peut être réduite si l'on tient compte du niveau d'eau plus élevé qui existe durant la marée haute. Toutefois, ceci impose des restrictions sur les navires possédant un tirant d'eau plus important qui devront attendre la marée haute avant d'entrer ou sortir du port. De toute évidence, cette méthode provoque des retards et autres désavantages pour les navires, et, par conséquent, elle n'est pas normalement utilisée dans la conception de nouvelles installations portuaires où l'on rencontre un faible marnage. Ceci s'applique particulièrement au port de St-Louis ou des navires possédant un

tirant d'eau plus important sont prévus. Etant donné la nature préliminaire de ce rapport, l'influence du marnage n'a pas été davantage développée dans l'évaluation de la profondeur du chenal d'accès.

La largeur d'un chenal à une voie est régie par la largeur de la voie de manoeuvre du navire et par la distance de sécurité réservée de chaque côté de la voie de manoeuvre. Ces largeurs varieront en fonction de la longueur et de la largeur du navire, du type de chenal et de l'importance de l'exposition aux influences environnementales.

Les facteurs régissant les largeurs du chenal sont les suivants:

- 1) La voie de manoeuvre qui est la largeur dans laquelle un navire voyagerait dans le chenal en se déplaçant de manière sinusoïdale le long de la ligne centrale du chenal. La largeur de cette voie dépend de la contrôlabilité des divers types de navires prévus dans le chenal.
- 2) La tolérance à la dérive, due au courant ou au vent, et aux embardées qui est accordée afin de permettre au navire de tracer une route qui va à l'encontre des forces de l'environnement. Ces forces résultent des vents ou courants transversaux, et permettent au navire d'embarquer autour de sa ligne de conduite, du fait de l'activité des vagues.
- 3) La précision avec laquelle un navire peut maintenir une position donnée à l'intérieur de la voie de manoeuvre est directement liée à la précision des balises de navigation. Le balisage visuel le plus précis pour un chenal consiste en un jeu de lumières et de repères, alignés (ou conducteurs), visibles en plein jour. Nous avons supposé qu'un tel balisage serait utilisé pour jalonner le chenal d'approche principal.

- 4) Le dégagement par rapport à la berge est la largeur allouée de chaque côté de la voie de manoeuvre afin d'annuler l'effet d'appel de la berge lorsque le navire s'approche de l'extrémité latérale de la voie de manoeuvre. L'effet d'appel de la berge est un effet hydrodynamique similaire à celui de l'enfoncement vertical. La pression des vagues sur la proue oblige l'avant du navire à s'éloigner de la berge, mais l'effet d'appel à la poupe fera en sorte que cette dernière sera attirée vers la berge d'un chenal. L'intensité de la force est liée à la vitesse du navire et à la configuration du chenal. L'effet est moindre dans un chenal du type "ouvert" et est à son maximum dans un chenal à "berges surhaussées".
  
- 5) La zone de transition se situe aux abords extérieurs du chenal ou une plus grande largeur est accordée. Cet élargissement réduit l'impact des variations soudaines des influences hydrodynamiques, et donne au pilote et au timonier une zone d'ajustement dans laquelle ils peuvent s'adapter aux nouvelles influences extérieures et à la nouvelle capacité de manoeuvre du navire.
  
- 6) Le bassin de manoeuvre est dessiné afin de permettre au navire de s'arrêter au centre de la zone et d'être tourné à l'aide d'un remorqueur. En eaux calmes, on estime que le diamètre minimum requis d'un cercle de virage est égal à  $1,75 \times$  la longueur de référence d'un navire. Dans des conditions de vent et de courant, ce diamètre devrait être augmenté.
  
- 7) La zone de manoeuvre accordée dans l'aire des postes de mouillage a été conçue de façon à permettre le passage des navires de haute mer en remorque, près des navires déjà au mouillage. Les vitesses dans cette section seront faibles, ce qui réduira l'effet d'enfoncement.



Tableau 5.1 - Cont.  
LARGEURS DU CHENAL (en mètres)

	Section Intérieure			
	<u>Section Extérieure</u>	<u>Section Médiane</u>	<u>Bassin de ma- noeuvre</u>	<u>Zone des Postes de Mouillage</u>
Voie de manoeuvre	50	50	390	100
Tolérance de la dérive due au cour- ant, au vent et embarquée	20	15	-	-
Précision du bali- sage	20	15	-	20
Distance de la sécurité par rap- port à la berge	40	50	-	25
Dégagement des postes de mouillage	-	-	-	50
	-----			
Sous-total	130			
Transition (1:5)	100			
	-----	-----	-----	-----
Largeur du chenal	230/130	130	390	195
	=====	=====	=====	=====

Un sommaire des largeurs et profondeurs de référence pour les navires de référence considérés est présenté dans le tableau 5.2.

Tableau 5.2  
PARAMETRE DE DESIGN DU CHENAL D'ACCES  
(en mètres)

port en lourd, tonnes		<u>10 000/15 000</u>	<u>15 000/20 000</u>	<u>25 000</u>	<u>35 000</u>
Caractéristiques des navires	Longueur	155,0	160,0	172,00	200,00
	Largeur	21,0	23,0	25,00	30,00
	Tirant d'eau	8,2	9,0	10,00	11,00
Profondeur du chenal (IGN)	Extérieure	13,0	14,0	15,25	16,50
	Médiane	12,0	13,0	14,25	15,50
	Bassin de manoeuvre	10,5	11,5	12,50	13,75
	Poste de Mouillage	10,5	11,5	12,50	13,75
Largeur de la section	Extérieure	115,0	120,0	130,00	150,00
	Médiane	110,0	120,0	130,00	150,00
	Bassin de manoeuvre	350,0	360,0	390,00	450,00
	Poste de Mouillage	175,0	180,0	195,00	220,00
Largeur de la section de transition	Extérieure	175,0	200,0	230,00	250,00

Alignement et emplacement du chenal

Dans le cadre de l'évaluation de l'alignement du chenal, des abords côté mer jusqu'à la zone des postes de mouillage, il faut prendre en considération les éléments suivants:

- a) les influences de l'environnement décrites dans les paragraphes précédents.
- b) l'impact de l'alignement du chenal sur le coût en capital requis pour le dragage.
- c) l'impact des travaux futurs d'approfondissement et/ou d'élargissement du chenal pour admettre des bateaux plus larges ou pour établir un chenal à deux voies.
- d) lorsque cela est pratique, la prise de dispositions nécessaires pour assurer une approche directe qui minimise le nombre et la difficulté des manoeuvres requises par le navire.

L'emplacement du chenal d'accès, tel que présenté dans le rapport SNC de février 1972, et indiqué dans le Plan 3, "Alternative Portuaire T2/T3" de ce même rapport, est dans l'ensemble considéré comme étant adéquat, en ce sens qu'il permet un accès au sud de la zone proposée des postes de mouillage. Toutefois, l'analyse présentée dans le paragraphe 5.4 du présent rapport indique que la profondeur de la partie extérieure du chenal pourra se situer entre -13,0 m et -16,0 m IGN. Pour adapter le chenal à ces profondeurs, sa partie extérieure devra être considérablement rallongée vers le large, beaucoup plus que l'indique le rapport SNC, qui définissait un chenal profond de -10m IGN\*. Les données disponibles concernant les sondages indiquent des profondeurs d'eau plus importantes et par conséquent des besoins en dragage moindres pour un emplacement se situant approximativement à 650 m au nord de l'emplacement du chenal proposé par SNC. Le

\* Rapport SNC, volume I, page 6-1.

déplacement du chenal d'accès vers le nord réduit également la distance entre le bassin de manoeuvre et les quais proposés, ce qui réduit à nouveau les quantités de dragage. Ce déplacement entraînera des économies significatives sur les coûts de dragage de l'ordre de 8 millions de dollars en ce qui concerne les estimations de coûts de dragage optimiste et 24 millions de dollars pour les estimations pessimistes.

La partie du rivage de la Langue de Barbarie se situant entre le port de pêche existant et le chenal proposé par SNC est actuellement utilisée comme plage récréative, à la fois par les résidents locaux et par les touristes. De plus, cet endroit est réservé pour le développement futur d'hôtels touristiques, bien qu'il apparaisse qu'aucune proposition définitive ne soit actuellement considérée. Le déplacement du chenal d'accès vers le nord rétrécit la longueur de plage disponible, pour un tel développement, de 1,9 km à 1,2 km. Un tel rétrécissement sera compensé par le développement naturel d'une nouvelle plage résultant du dépôt de sable dans la zone au nord du brise-lames nord.

Nous supposons que l'OMVS discutera de ces implications avec les organismes de planification compétents à St-Louis. Dans le but de ce rapport et sur la base de considérations uniquement techniques, nous avons considéré que l'on tirerait avantage des économies du coût de dragage et que le chenal sera déplacé de 650 m au nord de l'emplacement proposé par SNC.

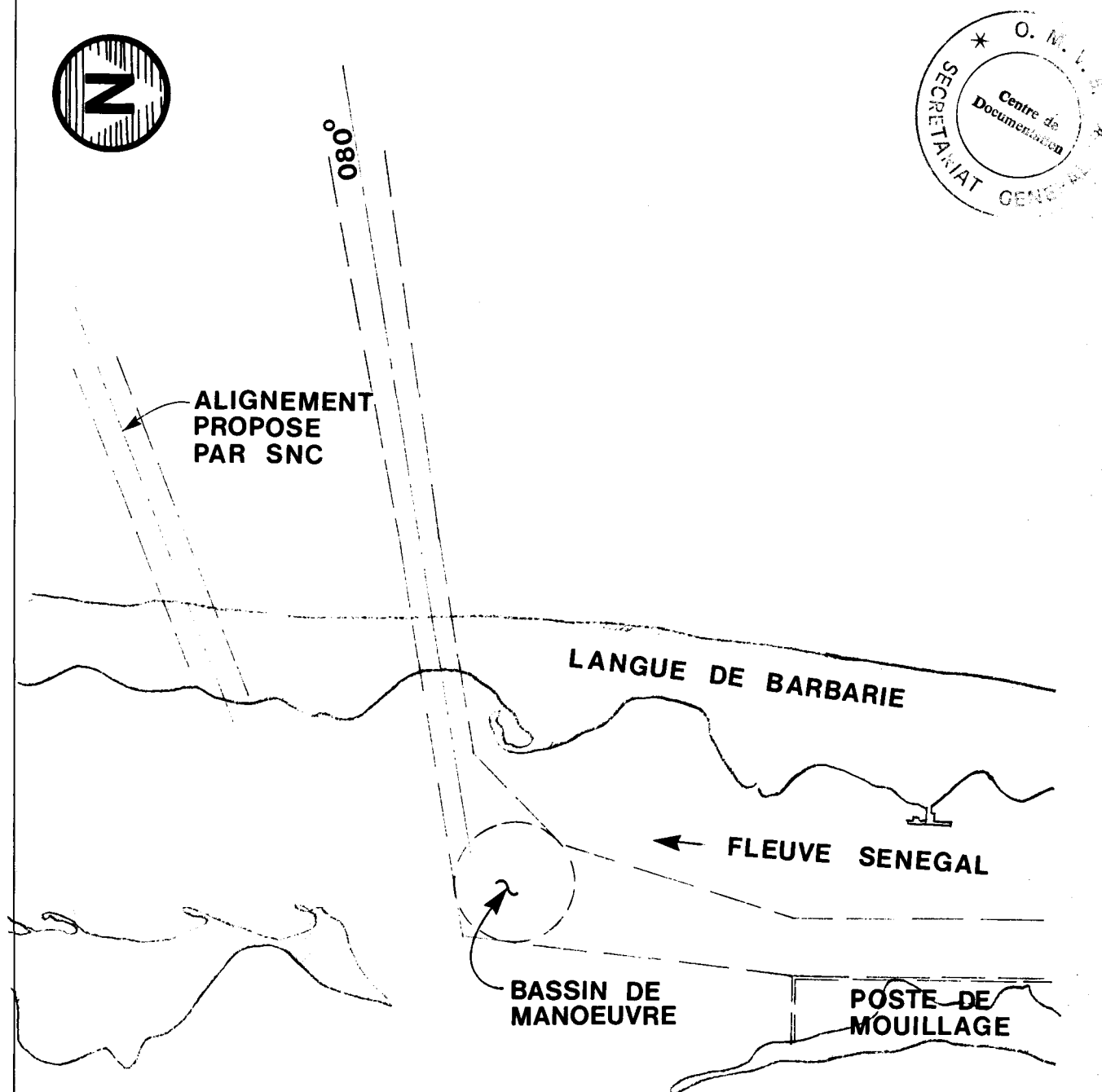
Nous recommandons qu'un alignement de 80° soit adopté dans les sections extérieure et médiane du chenal. Ceci implique un angle de déflexion de 80° lors du virage nécessaire dans le bassin de manoeuvre au lieu des 70° proposés par SNC. Le degré de difficulté de manoeuvre imposé aux navires est comparable pour les deux dispositions.

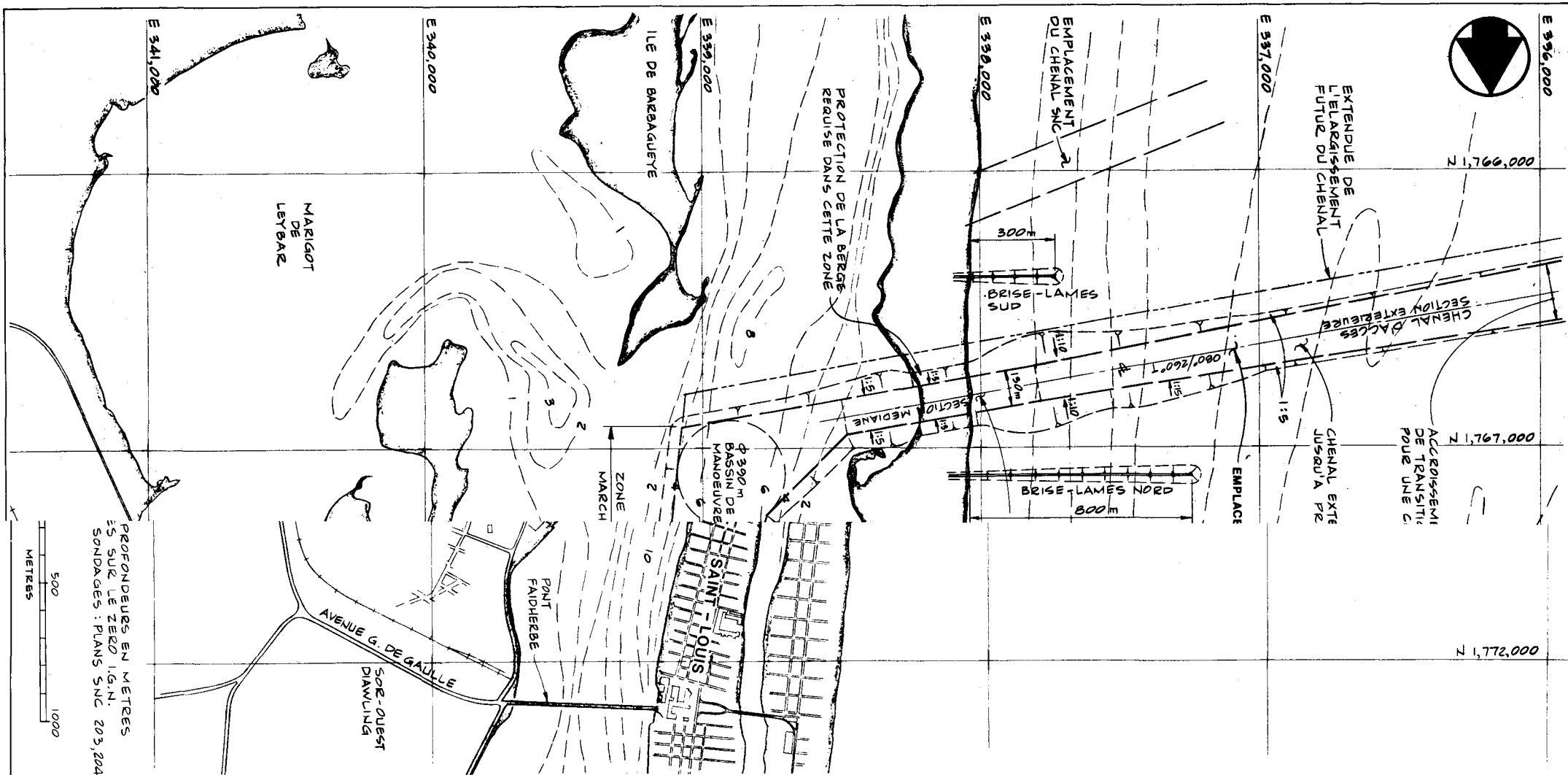
Un bassin de manoeuvre est prévu au point de changement de direction, à la fin de la zone d'approche du chenal d'accès, dans la partie profonde du fleuve. Les petits navires très maniables devraient pouvoir effectuer ce virage sans l'aide d'un remorqueur (qui interviendrait toutefois si cette manoeuvre se déroulait trop lentement). Les navires plus importants peuvent être amenés au centre du bassin de manoeuvre et remorqués de ce point au poste de mouillage. Aménager le bassin à cet endroit, plutôt que près des postes de mouillage, diminue les besoins en dragage dans l'aire des postes de mouillage par rapport à ce qui était proposé dans le rapport SNC. Toutefois, ceci implique que les navires doivent être manoeuvrés en marche arrière dans la section fluviale du chenal entre le bassin de manoeuvre et les postes de mouillage.

L'alignement du chenal, dans la section fluviale adjacente aux postes de mouillage proposés, est nord/sud. La largeur est régie par la distance minimale de sécurité nécessaire lors du dépassement des navires aux postes à quai et par la largeur de la voie de manoeuvre pour les navires en remorque. Dans cette zone, la largeur totale du fleuve dépasse 500 m, ce qui permettra un élargissement futur dans le but de permettre de tourner les navires en face des postes à quai, ou d'aménager des mouillages fluviaux si cela était nécessaire.

Nous considérons que l'emplacement et l'alignement proposés du chenal d'accès, tels qu'indiqués en figures 5.3 et 5.4 représentent l'option la moins coûteuse, procurent une sécurité pour la manoeuvre des navires et offrent un potentiel d'expansion future du chenal.

**FIGURE 5.3**  
**EMPLACEMENT ET ALIGNEMENT DU CHENAL**





AGENCE CANADIENNE DE DÉVELOPPEMENT INTERNATIONAL (ACDI)  
ORGANISATION POUR LA MISE EN VALEUR DU FLEUVE SÉNÉGAL (OMVS.)

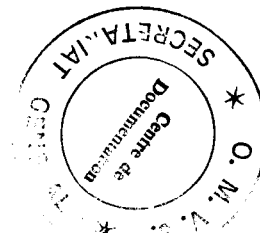
ÉTUDES DES PORTS ET ESCALES DU FLEUVE SÉNÉGAL

## PORT DE ST-LOUIS - CHENAL D'ACCES ET BASSIN PORTUAIRE



Beauchemin Beaton Lapointe - Swan Wooster  
(Entreprise en participation)  
Canada: Montréal, Vancouver / Sénégal: St-Louis, Dakar

Organisation pour la Mise en Valeur  
du Fleuve Sénégal (OMVS)  
Haut Commissariat  
Centre Régional de Documentation  
Saint-Louis



Organisation pour la Mise en Valeur  
du Fleuve Sénégal (OMVS)  
Haut Commissariat  
Centre Régional de Documentation

FIGURE 5.4

## 5.6 Aires d'ancrage et d'amarage

Le haut-fond côtier, adjacent au chenal d'accès proposé, fournit des profondeurs d'eau de 15 à 20 m à proximité du chenal, qui seraient adéquates pour l'ancrage si les conditions du fond sont convenables. La carte côtière et la revue 'African Pilot' indiquent que, dans cette zone, les conditions du fond varient entre sable et roches ou couches dures à découvert. Il est recommandé que des essais soient entrepris dans cette zone afin de déterminer le meilleur emplacement pour l'ancrage, soit au nord ou soit au sud des abords du chenal. Une distance minimum de 750 m devrait être prévue entre le centre du cercle d'ancrage et le bord du chenal.

Dans les phases initiales du développement portuaire, la prise de dispositions nécessaires pour assurer des amarres permanentes en eaux abritées, c'est-à-dire dans le fleuve, n'est pas justifiée. De telles installations pourraient être fournies sous réserve qu'il y en ait la demande dans la section fluviale opposée aux postes de mouillage. Il sera nécessaire de draguer des cuvettes de mouillage, suffisamment éloignées des zones d'approches, et d'y installer des bouées d'amarrage afin que les navires puissent être amarés à la proue et à la poupe, dans le sens du courant fluvial. Il faut noter qu'un tel alignement exposerait la largeur du navire perpendiculairement aux vents forts qui existent lors des grains alignés. De telles installations devraient donc être conçues en fonction de ces conditions extrêmes.

## 5.7 Configurations du brise-lames

### 5.7.1 Généralités

Le but principal du brise-lames est de:



- protéger le chenal de navigation contre le dépôt de matériaux venant principalement du nord, ce dernier étant dû au transport littoral orienté habituellement vers le sud.
- guider le courant de flot et de jusant à travers la zone des brisants créant ainsi des vitesses de courant suffisantes de façon à entretenir naturellement le chenal dragué et à prévenir le transport des sédiments en suspension de la zone des brisants dans le chenal.
- fournir, aux navires traversant le chenal, un abri contre les vagues et les forces du courant.

La méthode la plus efficace et économique de protéger le chenal de navigation contre la sédimentation est de créer un réservoir au nord de l'entrée en construisant un brise-lames du rivage vers la mer. L'effet d'un tel réservoir sera de bloquer la plupart du sable qui se déplace continuellement en provenance du nord. Toutefois, au fur et à mesure que le réservoir se remplit, la quantité de sable qui se déplace aux alentours de l'extrémité du brise-lames va s'accroître jusqu'à ce qu'elle atteigne finalement l'amplitude qui existait avant la construction du brise-lames.

A ce stade, deux différentes approches pourront être adoptées afin d'accroître la capacité de rétention de sable par le brise-lames. La première est d'augmenter graduellement la capacité du réservoir en prolongeant le brise-lames vers la mer à des intervalles réguliers. Ce système entraînerait un accroissement important de la quantité de sable au nord du chenal et une érosion significative le long de la côte au sud du chenal. Une autre approche serait de créer un système permettant aux matériaux d'utiliser une voie de contournement du chenal. Le réservoir de sable servirait alors de butoir pour la dérive littorale, d'où les matériaux seraient dragués et refoulés vers le rivage au sud du chenal.

Avec une estimation annuelle d'une dérive littorale de l'ordre de 900 000 m<sup>3</sup>, la capacité du système de contournement devra être assez importante. Si l'on considère 3000-4000 heures de travail par an, la capacité moyenne de dragage et de pompage requise est d'environ 250 m<sup>3</sup>/h.

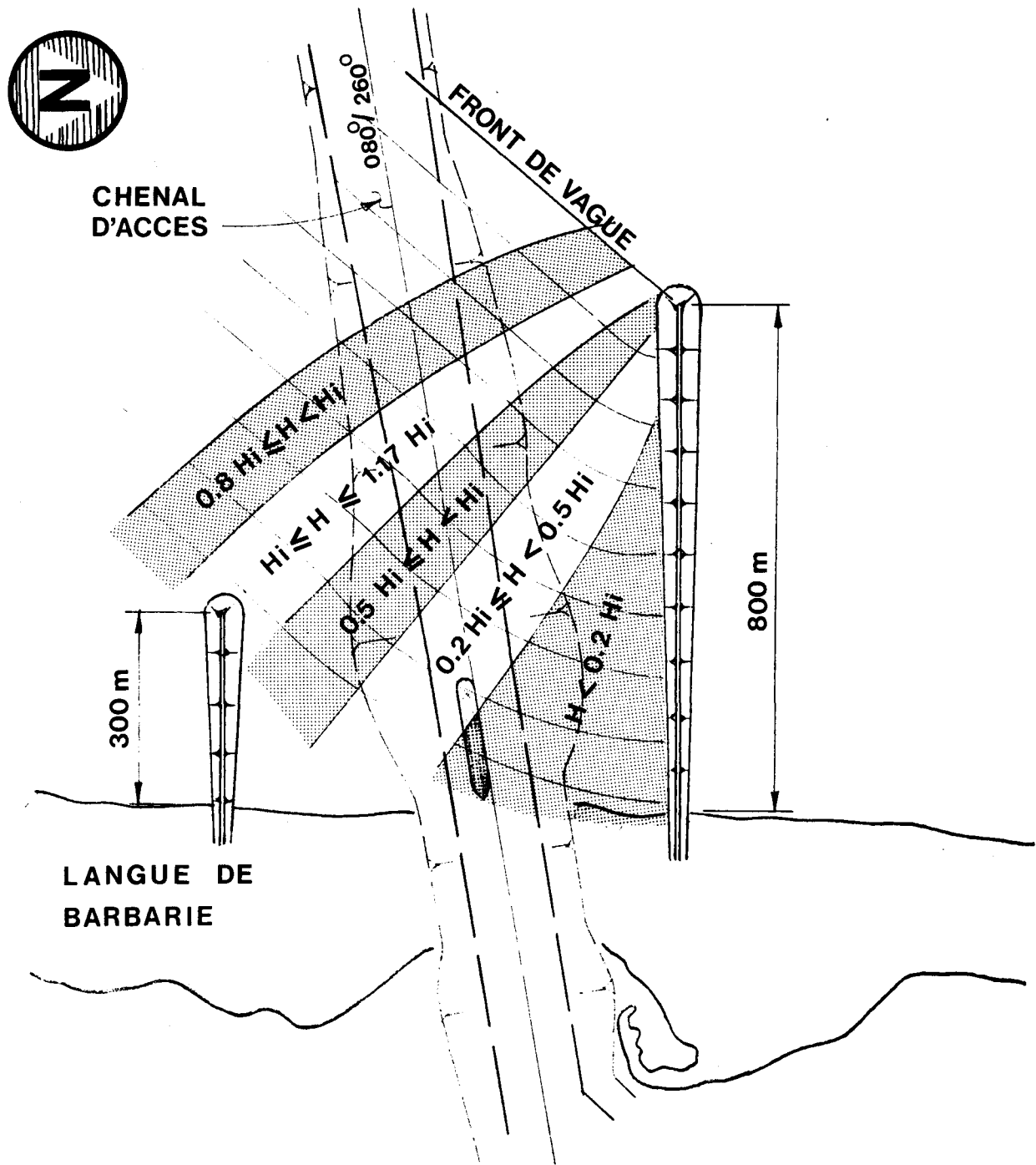
Afin de guider le courant dans le chenal au travers de la zone des brisants, des brise-lames sont requis au nord et également au sud du chenal. Ces structures devraient se prolonger vers le large au-delà de la zone des brisants afin de prévenir la forte concentration de sédiments en suspension due aux vagues déferlantes et transportées dans le chenal par le courant de flot. Si l'on se base sur les conditions des vagues telles que décrites dans le rapport SNC, on constate que les brise-lames devraient être prolongés jusqu'à une profondeur minimale de 4   5 m.

#### 5.7.2 Alignement et emplacement du brise-lames

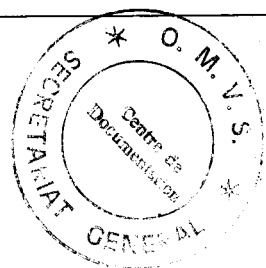
La capacité du réservoir, qui est le volume de sable pouvant être retenu dans ce réservoir au nord du chenal, est déterminée par la longueur et l'alignement du brise-lames situé au nord. La capacité maximale du réservoir pour une longueur de brise-lames donnée est obtenue à partir d'un alignement du brise-lames de 290    300  azimut, c'est-à-dire 10    20  au nord de la ligne côtière normale. Sur cette base, un alignement d'environ 295  du brise-lames nord semble être optimal afin de maximiser la capacité du réservoir.

La direction générale des vagues en eau profonde est en provenance de nord-nord-ouest. Cette direction est modifiée vers le sud par un effet de réfraction lorsque les vagues approchent le rivage et se déplacent dans des eaux peu profondes. Pour une profondeur d'eau de 12 m, la direction des vagues est pratiquement vers le nord-ouest. Un bon abri contre l'action des vagues dans le chenal peut donc être obtenu en construisant un brise-lames relativement long au nord du chenal. Un abri maximal est obtenu lorsque le brise-lames est situé près du chenal, voir figures 5.5 et 5.6.

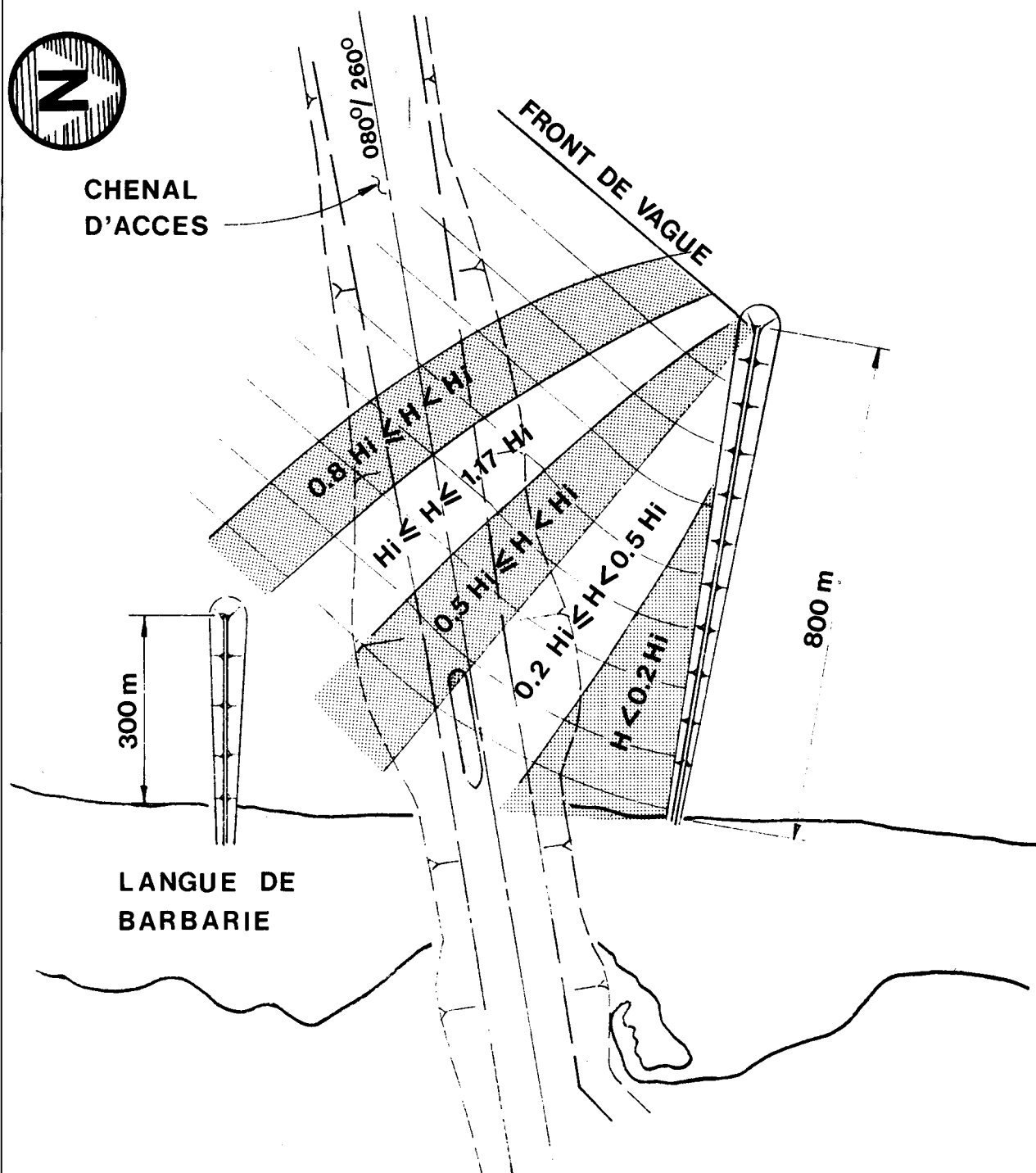
**FIGURE 5.5**  
**DIFFRACTION DES VAGUES**  
(LA REFRACTION N'EST PAS COMPRISE)



$H_i$  - HAUTEUR DES VAGUES QUI ENTRENT  
 $H$  - HAUTEUR DES VAGUES DANS L'AIRE DU CHENAL



**FIGURE 5.6**  
**DIFFRACTION DES VAGUES**  
( LA REFRACTION N'EST PAS COMPRISE )



$H_i$  - HAUTEUR DES VAGUES QUI ENTRENT  
 $H$  - HAUTEUR DES VAGUES DANS L'AIRE DU CHENAL

FIGURE 5.7  
CAPACITE DU RESERVOIR  
VERSUS  
LONGUEUR DU BRISE-LAMES

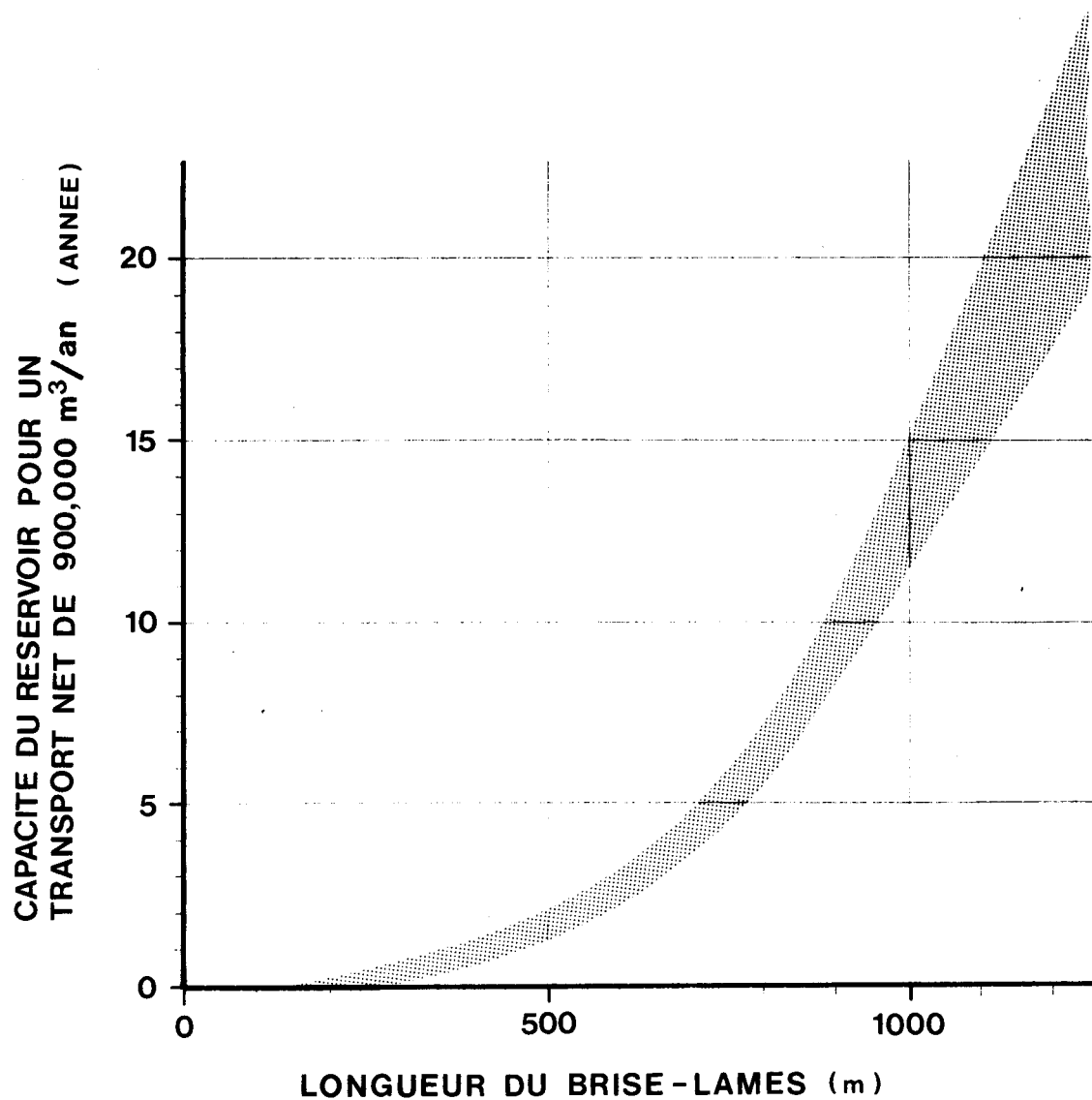
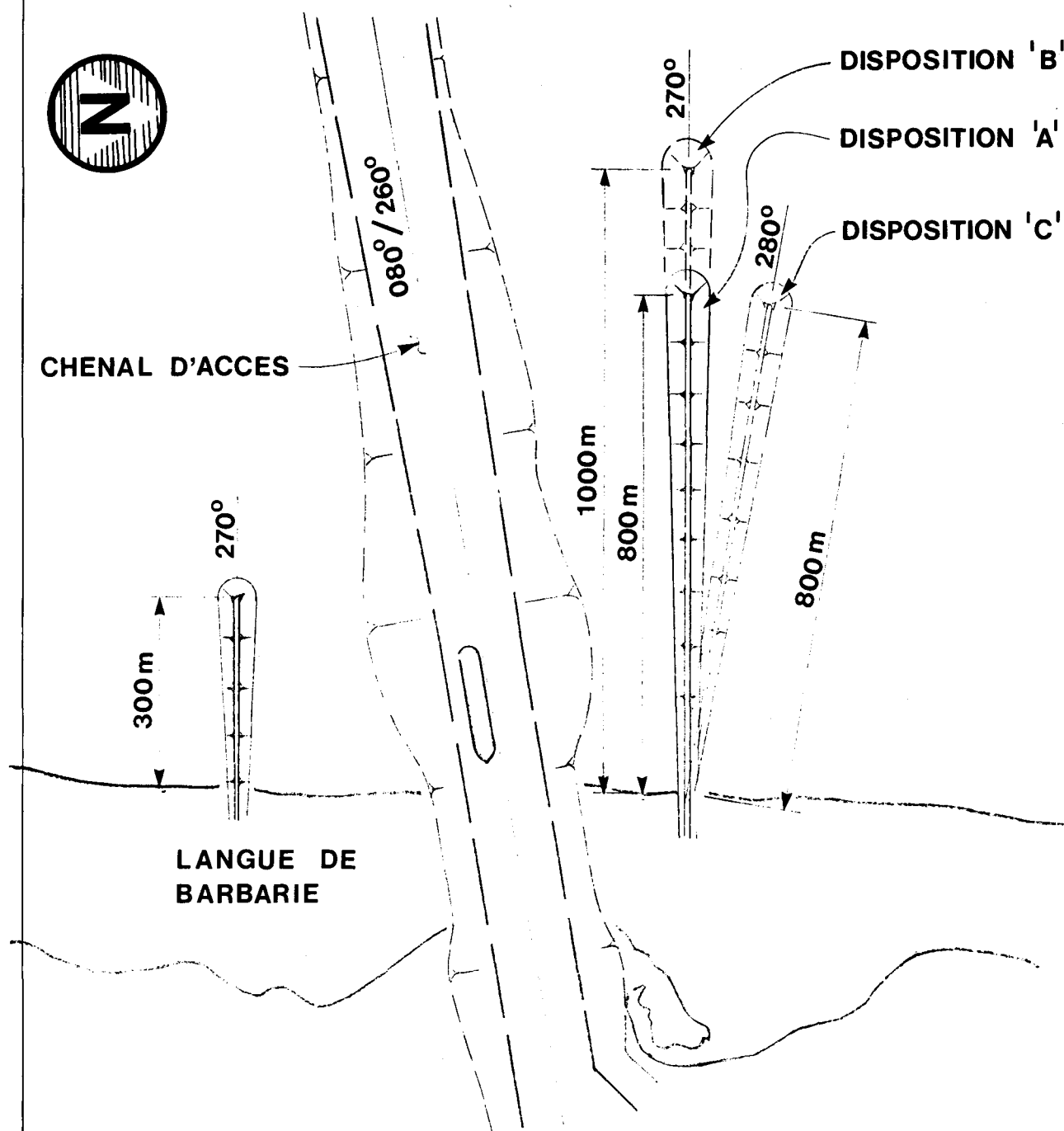


FIGURE 5.8

CONFIGURATIONS DES BRISE - LAMES



## 5.8 Estimations préliminaires du coût du dragage

Les estimations du coût du dragage sont effectuées afin de répondre aux besoins du chenal en fonction de la flotte commerciale typique des navires de la côte ouest africaine. Les estimations sont basées sur des prix de 1982 et aucune provision n'a été faite pour l'inflation.

Ces estimations de coût sont seulement basées sur la composante du coût de dragage du chenal et ont été effectuées uniquement afin de permettre une analyse économique de la profondeur de référence du chenal pour le port de St-Louis.

En ce qui concerne St-Louis, les informations disponibles sur les sols indiquent une couche de sédiments durs à une profondeur d'environ -13,5 IGN.

Pour l'estimation du coût de dragage du chenal, nous avons considéré que le fond était constitué de sable au-dessus de -13,5 m IGN, et de matériaux durs au-dessous de ce niveau. L'importance de cette dernière couche et le coût exact du dragage pourront être déterminés à partir de la réalisation du programme de reconnaissance des sols en cours. De ce fait, les estimations de coût effectuées apparaissent comme suit:

- 1) Une estimation de coût "optimiste", basée sur l'hypothèse que le matériau dur peut être dragué à l'aide d'une unité suceuse à désagregateur.
- 2) Une estimation de coût "pessimiste", basée sur l'hypothèse que le matériau dur doit être foré et dynamité avant le dragage.

- 3) En ce qui concerne le dragage du bassin portuaire nous avons estimé que la longueur du quai devait rester la même que celle proposée par SNC, soit 1200 m. L'emplacement du quai pourrait être au nord de celui proposé dans le rapport SNC, cela permettrait de réserver un emplacement pour les futurs terminaux de phosphate, et, éventuellement de fer et d'alumine en vrac au sud des quais de marchandises générales. On s'attend à ce que les terminaux soient utilisés par des navires plus importants possédant des tirants d'eau plus profonds que les navires de marchandises générales, et par conséquent les terminaux devraient se situer à l'emplacement qui minimisera les coûts de dragage.

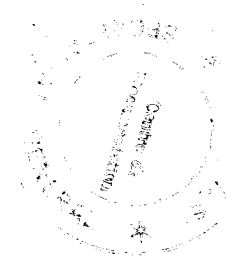
Les estimations préliminaires du coût du dragage sont présentées dans le tableau 5.3. Le déplacement proposé vers le nord du chenal SNC, dans le cas d'un chenal à une voie et d'une profondeur d'eau limitant les navires possédant un tirant d'eau jusqu'à 10 m, résulte en une réduction de 1 700 000 m<sup>3</sup> des quantités draguées dont 1 500 000 m<sup>3</sup> sont des matériaux lâches et 200 000 m<sup>3</sup> sont des matériaux durs. Si l'on considère l'estimation optimiste, les économies du coût de dragage seront de l'ordre de 8 millions de dollars; dans le cas de l'estimation pessimiste elles pourraient atteindre 24 millions de dollars.



Tableau 5.3  
ESTIMATIONS PRELIMINAIRES DU COUT DE DRAGAGE DU CHENAL

Critère de design du chenal	Volumes dragués (x 1000 m <sup>3</sup> )		Coût unitaire en \$/m <sup>3</sup>			Coût total estimé en \$ x 1000	
	Matériaux lâches	Matériaux durs	Dragage matériaux lâches	Dragage matériaux durs	Forage, dynamitage et dragage	Coût optimiste	Coût pessimiste
1) Pour un tirant d'eau de navire de 7,0 m	5 200	--	4,0	--	--	21 000	21 000
2) Pour un tirant d'eau de navire de 8,0 m	6 500	--	3,9	--	--	25 000	25 000
3) Pour un tirant d'eau de navire de 9,0 m	7 900	200	3,8	15,0	100	33 000	50 000
4) Pour un tirant d'eau de navire de 10,0 m	9 600	770	3,7	12,5	90	45 000	105 000
5) Pour un tirant d'eau de navire de 11,0 m	12 500	1 650	3,6	12,5	90	65 000	194 000
6) Pour 10,0 m à deux voies	12 200	1 020	3,6	12,5	90	57 000	136 000
7) Pour 11,0 m à deux voies	14 000	2 600	3,5	11,0	85	78 000	270 000

N.B.: les coûts sont arrondis



## 6.0 EVALUATION ECONOMIQUE DE LA PROFONDEUR DU CHENAL D'ACCES

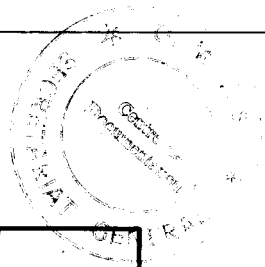
### 6.1 Introduction et méthodologie

Le but de cette analyse est de déterminer la profondeur du chenal la plus économique par rapport au coût total annuel nécessaire au trafic des volumes de marchandises prévus pour le port de St-Louis. Ces coûts totaux annuels, qui sont appelés coûts totaux annuels du système de transport dans les paragraphes suivants, sont le résultat de deux composantes: les coûts annuels de transport maritime et les coûts annuels du chenal d'accès.

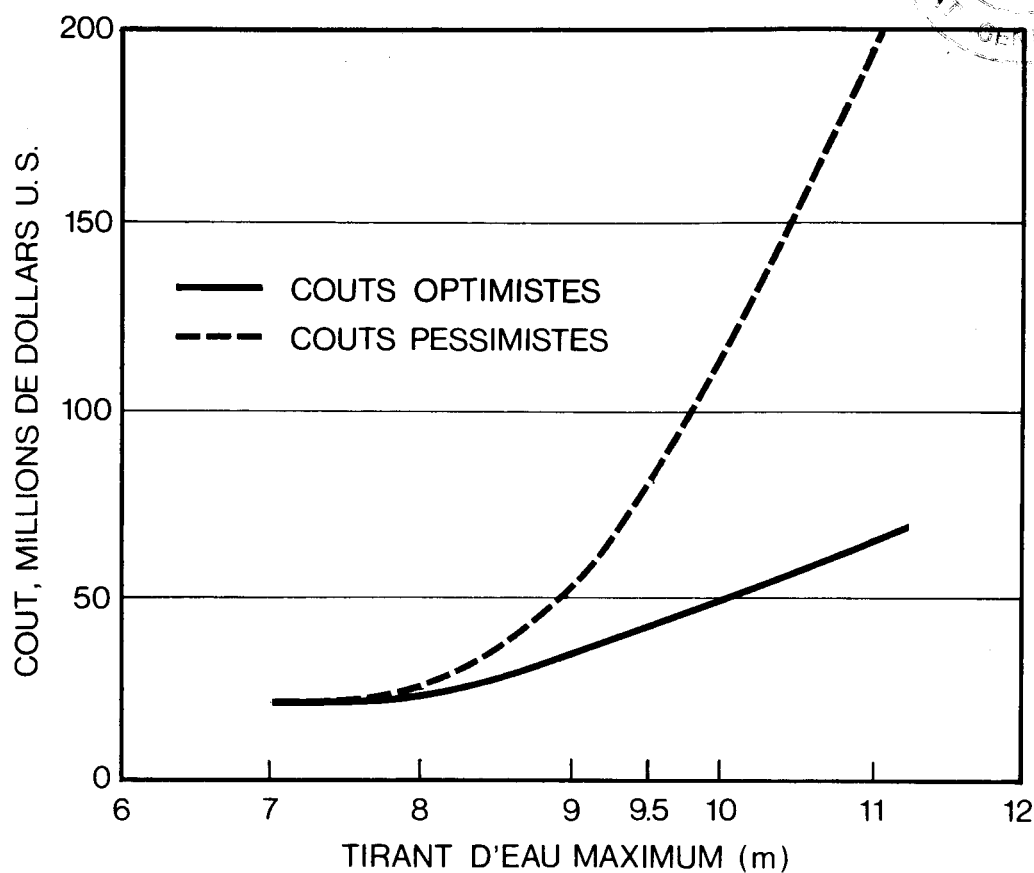
Dans cette étude, les coûts déterminants sont ceux des éléments reliés à la profondeur du chenal d'accès et du port. Tous les autres éléments entrant dans le cadre de cette étude, c'est-à-dire le port, l'hinterland et les coûts dans les ports d'outre-mer, ne seront pas affectés par la profondeur du chenal. L'évaluation économique a été effectuée en deux étapes. La première fut l'établissement des coûts totaux annuels du système de transport afin d'établir la profondeur qui minimise ces coûts. La seconde, fut de tester la sensibilité de ces résultats par rapport aux variations de plusieurs facteurs. Les pays de l'OMVS ne vont pas retirer tous les bénéfices résultant d'un chenal d'accès plus profond. Seulement une partie de ces bénéfices sera "capturée" par les pays de l'OMVS. La sensibilité de la profondeur optimale à cette "capture" a été examinée. Les autres analyses de sensibilité effectuées sont les suivantes: sensibilité aux taux de rendement du capital investi dans le chenal, à la part du marché des navires CONRO et à la jauge moyenne des navires.

## 6.2 Coûts du chenal d'accès

La répartition annuelle des coûts en capital et les coûts de dragage d'entretien relatifs à la profondeur du chenal d'accès ont été déterminés en fonction de la limitation de tirant d'eau considérée. Deux estimations de coût en capital (coûts optimiste et pessimiste) ont été utilisées pour les calculs, du fait des incertitudes relatives à l'étendue du dragage des matériaux durs nécessaire pour établir la profondeur de chenal requise. La répartition annuelle en capital ou coût en capital, est présentée, pour les estimations optimiste et pessimiste, en figure 6.1. La figure 6.2 montre une estimation des coûts annuels de dragage d'entretien qui sont utilisés pour cette évaluation économique.



**FIGURE 6.1**  
**COUTS DE DRAGAGE, CAPITAL**



**FIGURE 6.2**  
**COUTS DE DRAGAGE, ENTRETIEN ANNUEL**

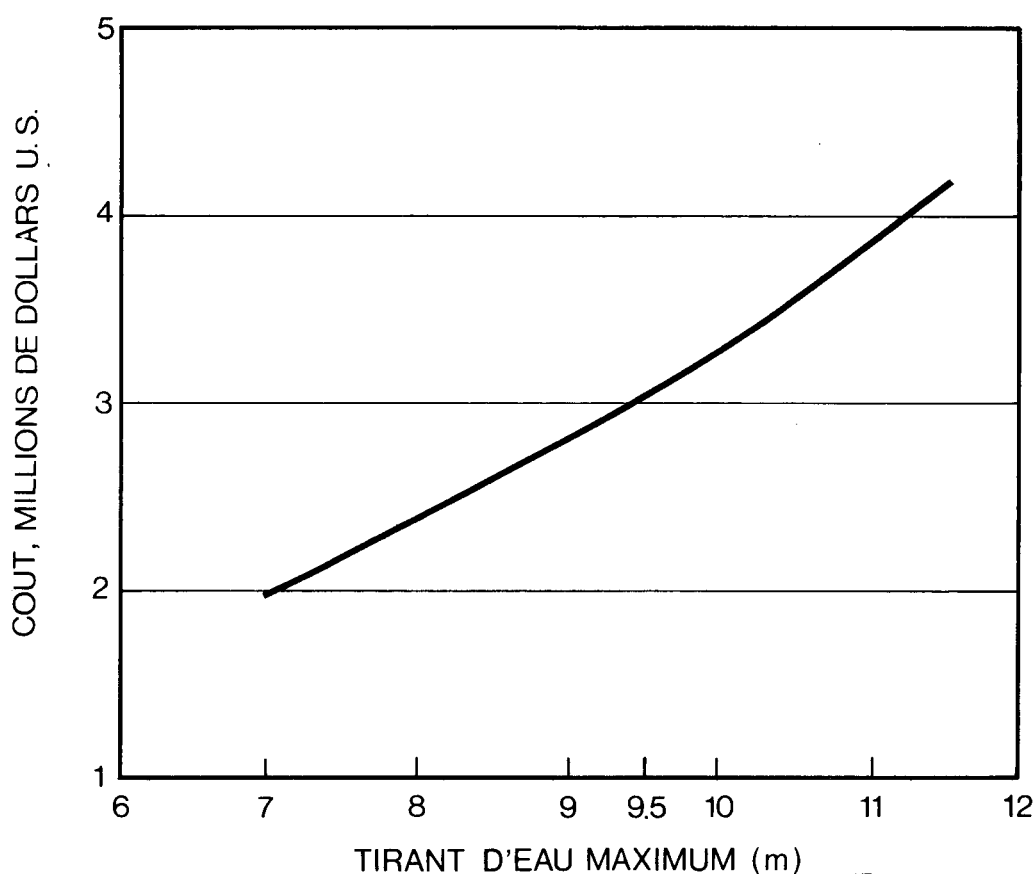
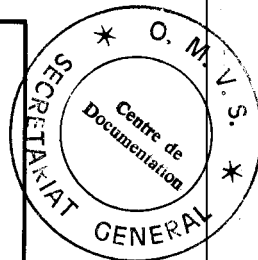
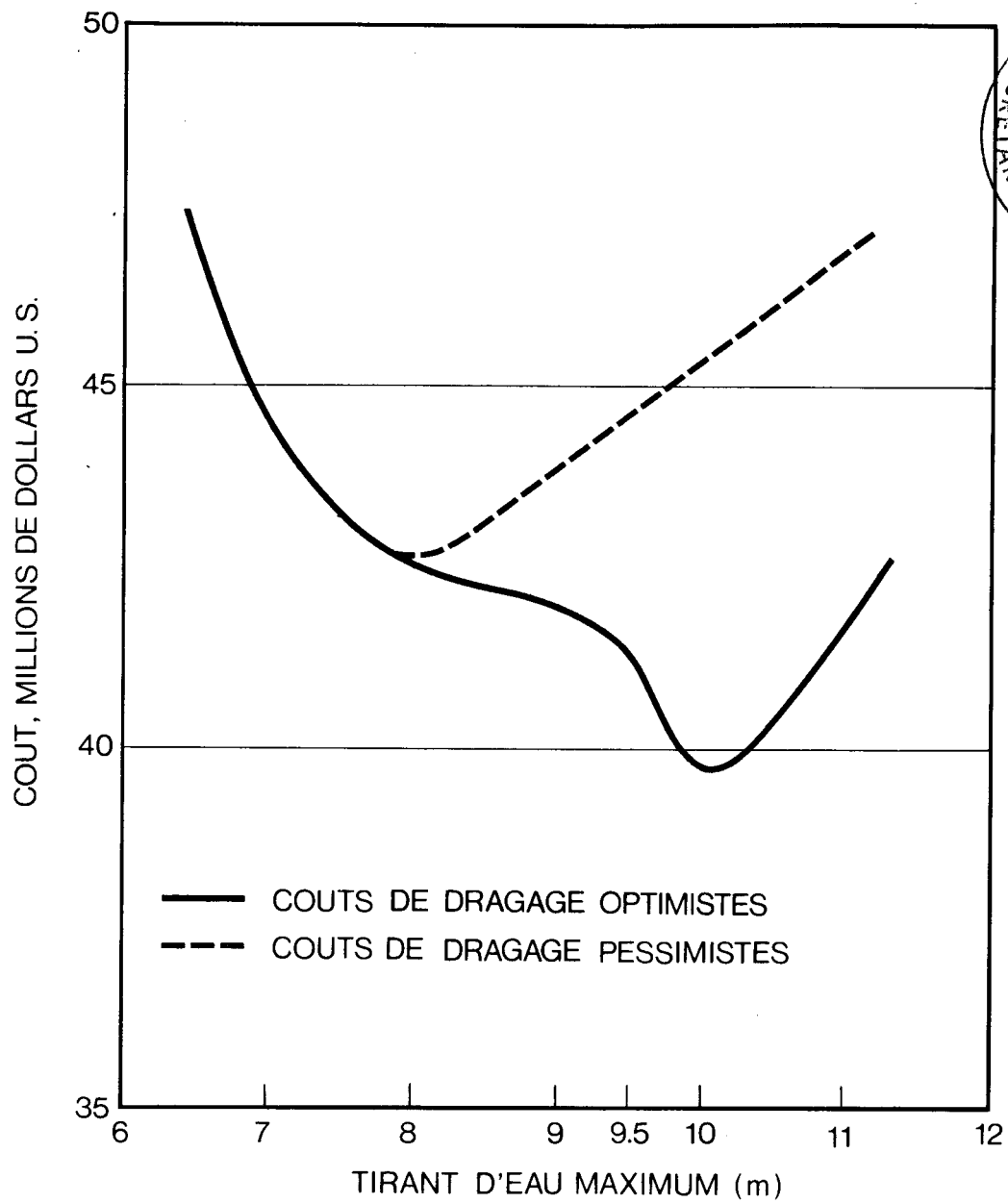


FIGURE 6.3

**COUTS TOTAUX DU SYSTEME DE TRANSPORT  
PREVISIONS DU TRAFIC POUR 1983**



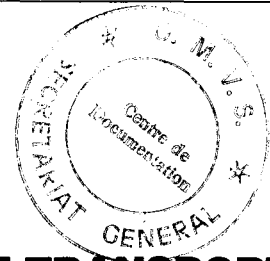
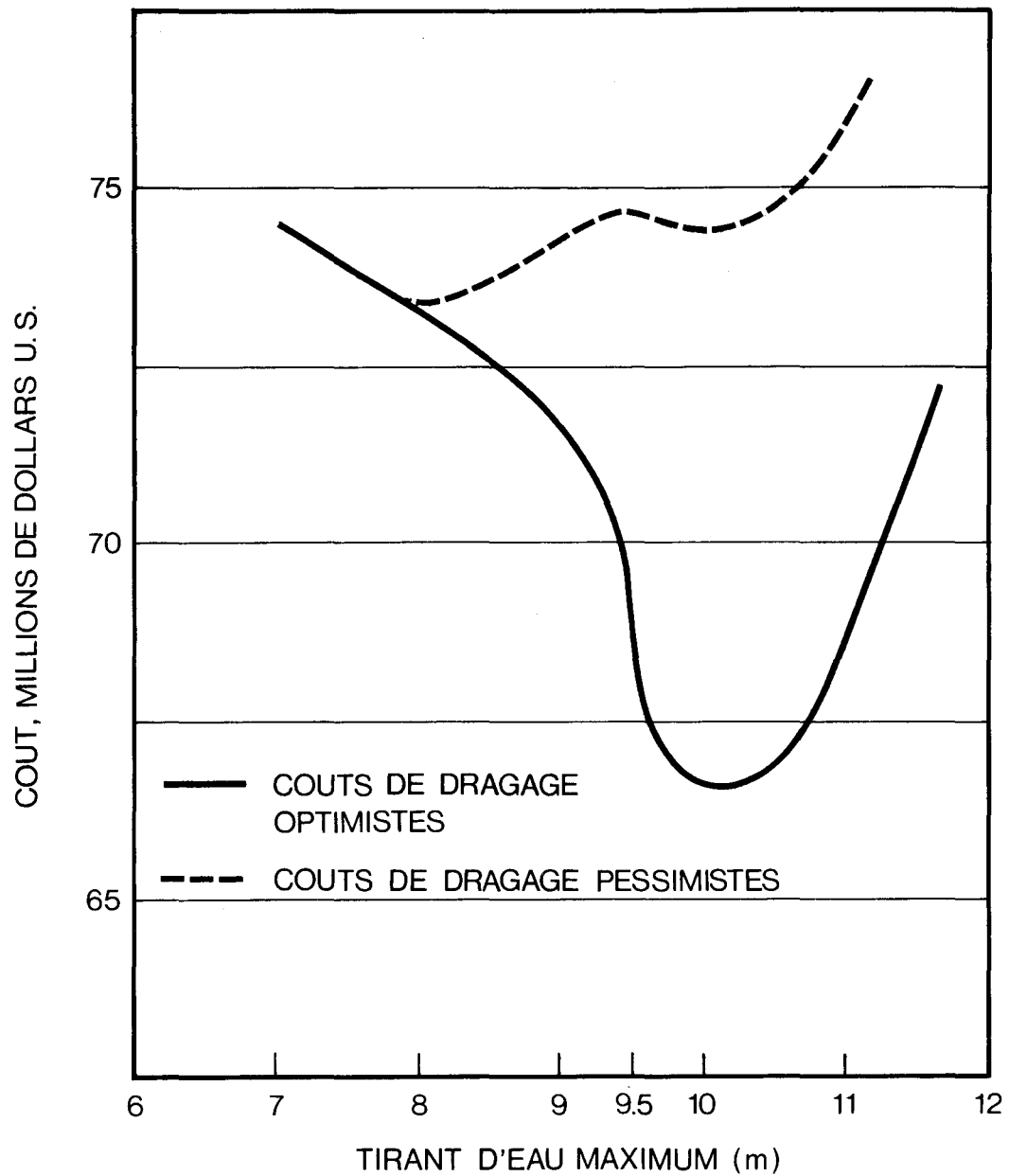


FIGURE 6.4

# **COUTS TOTAUX DU SYSTEME DE TRANSPORT PREVISIONS DU TRAFIC POUR 1990**



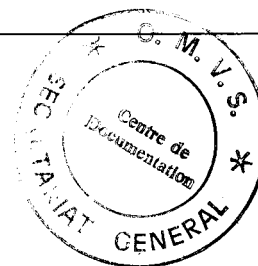


FIGURE 6.5

**COUTS TOTAUX DU SYSTEME DE TRANSPORT  
PREVISIONS DU TRAFIC POUR L'AN 2000**

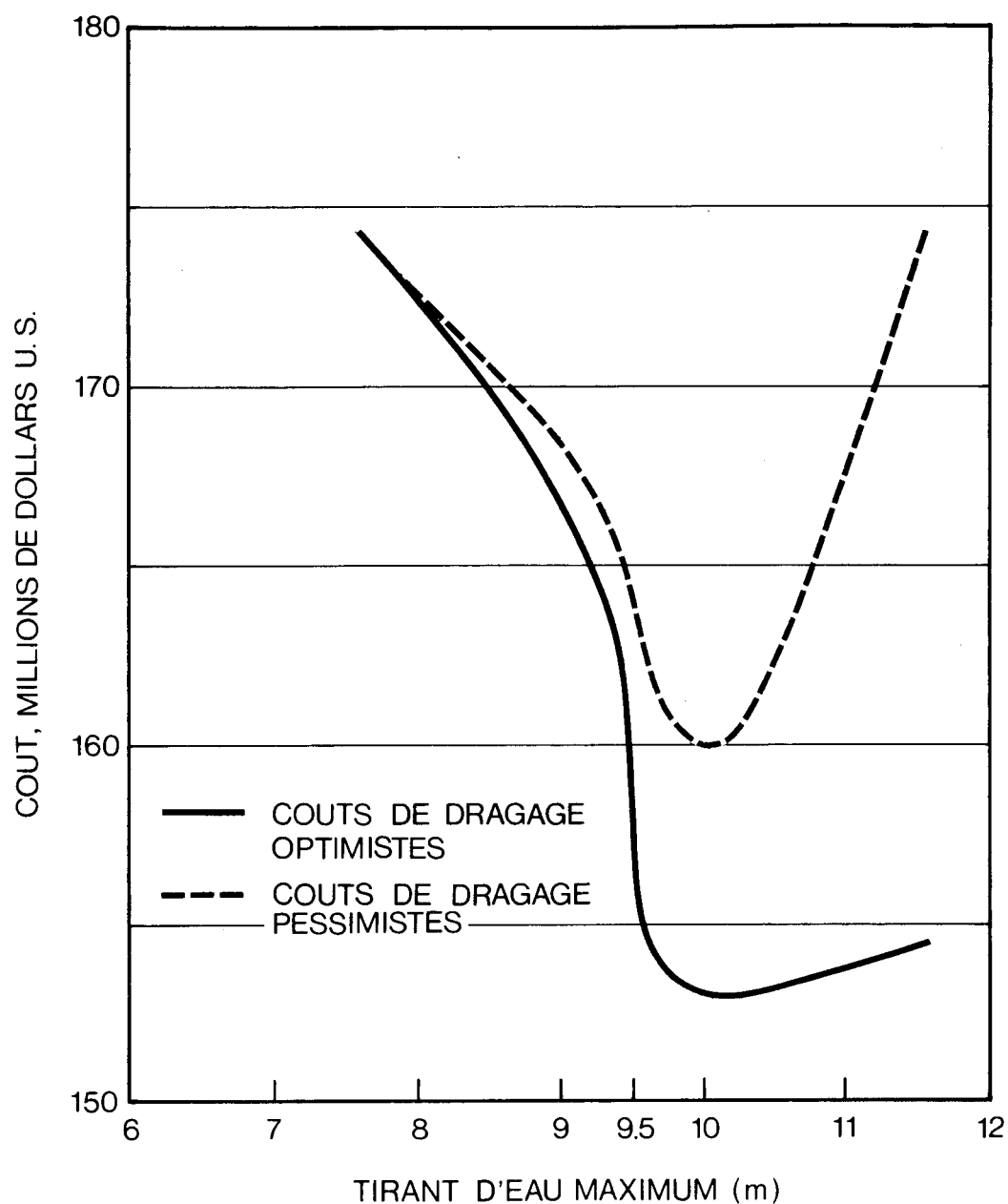
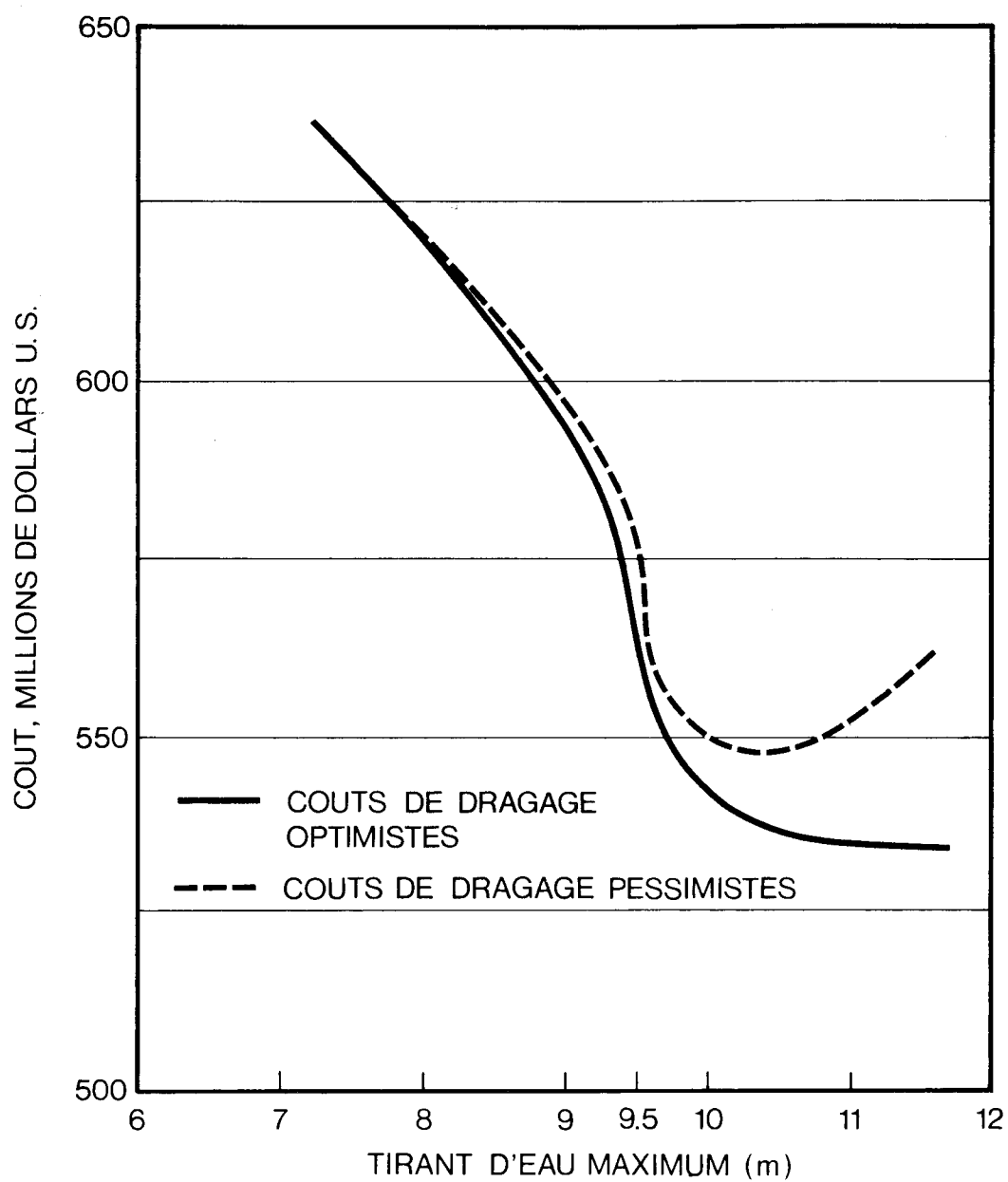



FIGURE 6.6

**COUTS TOTAUX DU SYSTEME DE TRANSPORT  
PREVISIONS DU TRAFIC POUR 2025**







## 6.4 Analyse de sensibilité

### 6.4.1 Analyse de la sensibilité à la "capture" des bénéfices nets du transport maritime

Dans cette analyse, on a évalué à 7 mètres le tirant d'eau minimum à considérer. A partir de cette donnée, les coûts de construction d'un chenal plus profond ont été comparés avec les économies sur le coût de transport maritime réalisées grâce à une profondeur accrue, ce qui a permis de déterminer la profondeur minimisant les coûts annuels totaux du système de transport. Si toutes les économies réalisées sur les coûts de transport devaient revenir aux pays de l'OMVS, la profondeur du chenal serait alors optimale. En fait, ces économies seront partagées entre tous les groupes impliqués dans la production, le transport et la consommation des marchandises qui passeront par le port de St-Louis.

Puisque les pays de l'OMVS sont les promoteurs du projet du port de St-Louis, leurs intérêts reposent sur les bénéfices qu'ils retireront de ce projet. L'analyse qui suit traite des bénéfices par les divers groupes impliqués, et une analyse du rapport bénéfice/coût est effectuée afin d'évaluer l'impact de la "capture" des bénéfices sur le choix de la profondeur du chenal d'accès.

Trois facteurs limitent la part des bénéfices du transport maritime qui seront acquis par les pays de l'OMVS et ils se définissent comme suit:

- 1) Une partie des navires faisant escale à St-Louis seront étrangers. Les pays de l'OMVS ne bénéficieront donc pas des économies réalisées sur le transport par les sociétés exploitant ces navires. Les économies réalisées par les compagnies maritimes des pays de l'OMVS représentent un bénéfice pour les économies nationales de ces pays.

- 2) Beaucoup de navires transportant des marchandises générales opèreront pour le compte de cartels ou de conférences de transport maritime. Bien qu'un transport plus efficace dans un chenal plus profond exercera une pression sur les conférences maritimes afin qu'elles baissent leurs tarifs de transport, cette diminution de tarif sera certainement plus faible que les économies réalisées.
- 3) Enfin, le degré auquel les tarifs de transport plus bas bénéficie aux exportateurs des pays de l'OMVS par le biais de prix à l'exportation plus compétitifs et aux consommateurs locaux du fait de tarifs d'importation plus bas, dépend de la nature des marchandises commercialisées. Dans la plupart des cas, les bénéfices réalisés grâce à des tarifs de transport plus bas seront partagés entre les groupes étrangers et ceux de l'OMVS impliqués dans le commerce de chaque marchandise.

La quantification des facteurs ci-dessus mentionnés requiert une quantité considérable de données et risque de se révéler peu pratique dans la plupart des cas. Toutefois, des études antérieures montrent que les bénéfices du pays investisseurs résultant des améliorations de l'efficacité du transport, tendent à se situer entre 60 et 80% des économies réalisées sur le transport maritime. Si les variations à l'intérieur de cet intervalle n'affectent pas les résultats de cette étude, ils peuvent être jugés comme insensibles à la "capture" des bénéfices par les pays de l'OMVS.

Les paragraphes suivants sont une analyse du rapport bénéfice/côût pour des limitations diverses de tirant d'eau en fonction du niveau de "capture" et montrent que les résultats de l'analyse économique présentée dans le paragraphe 6.3, sont insensibles aux variations de "capture".

Les estimations de coûts en capital optimiste et pessimiste du chenal ont été analysées séparément afin de déterminer la profondeur de référence du chenal pour la phase initiale. Le développement des futures phases d'approfondissement du chenal, en fonction de l'accroissement du trafic des marchandises, a également été estimé. Les rapports bénéfice/coût qui ont été utilisés pour les deux estimations sont présentés aux figures 6.7 et 6.8.

Les rapports bénéfice/coût relatifs à l'estimation de coût optimiste peuvent être analysés comme suit (voir figure 6.7):

- . En ce qui concerne les volumes de trafic pour 1983, l'augmentation de la limitation du tirant d'eau de 7 m à 8 m a un rapport bénéfice/coût favorable lorsque la "capture" est supérieure à 32%. Lorsque l'on augmente la limitation du tirant d'eau de 8 m à 10 m, ce seuil atteint 57%.

L'intervalle de "capture" de 60 à 80% dépasse ces deux seuils. Par conséquent, la limitation de tirant d'eau de 10 m apparaît être optimale pour 1983. Après 1983, les courbes du coût annuel total du système de transport (figures 6.3 à 6.6) indiquent que la profondeur ne devrait pas être accrue avant 2025. Pour l'année 2025, le rapport bénéfice / coût reste favorable jusqu'à 27% de "capture" lorsque la limitation du tirant d'eau est augmentée de 10 à 11 m, ce qui indique que 11 m est optimal.

FIGURE 6.7

# **SENSIBILITE A LA CAPTURE DES BENEFICES COUTS OPTIMISTES**

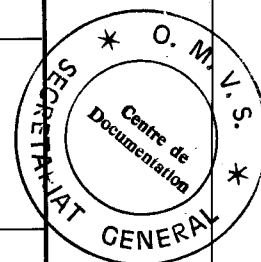
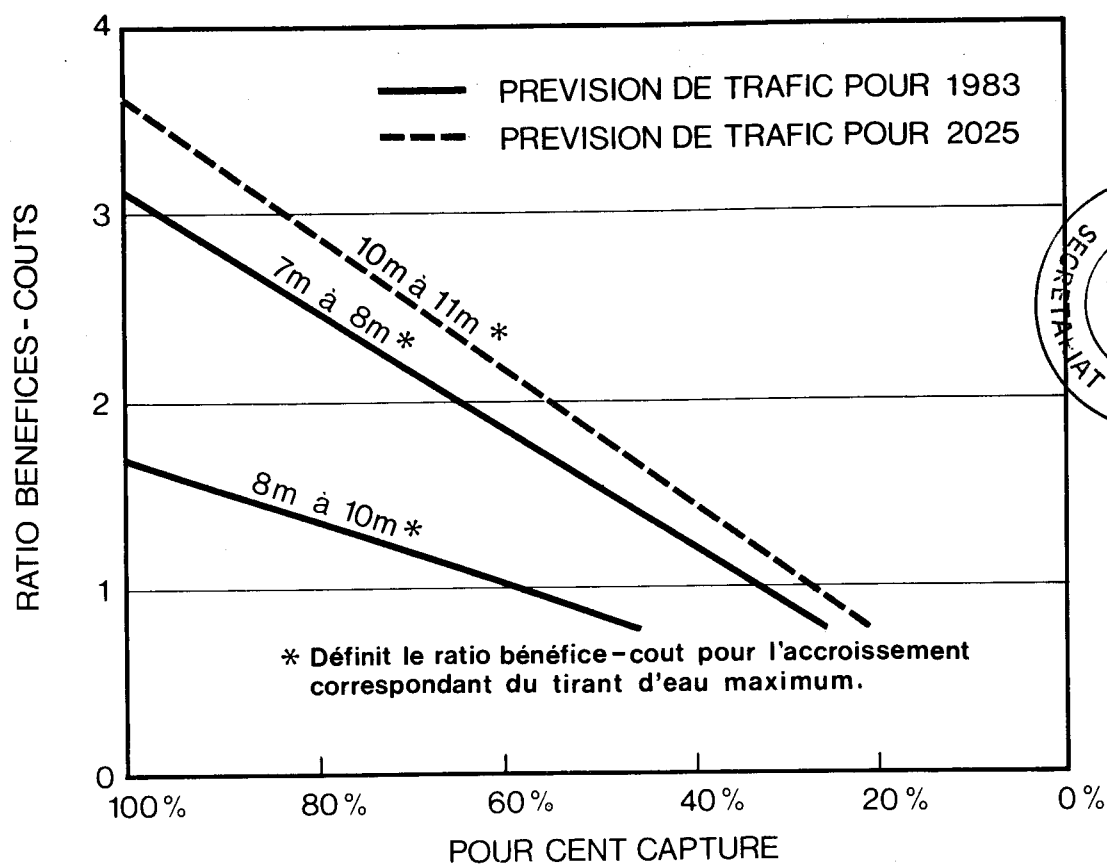
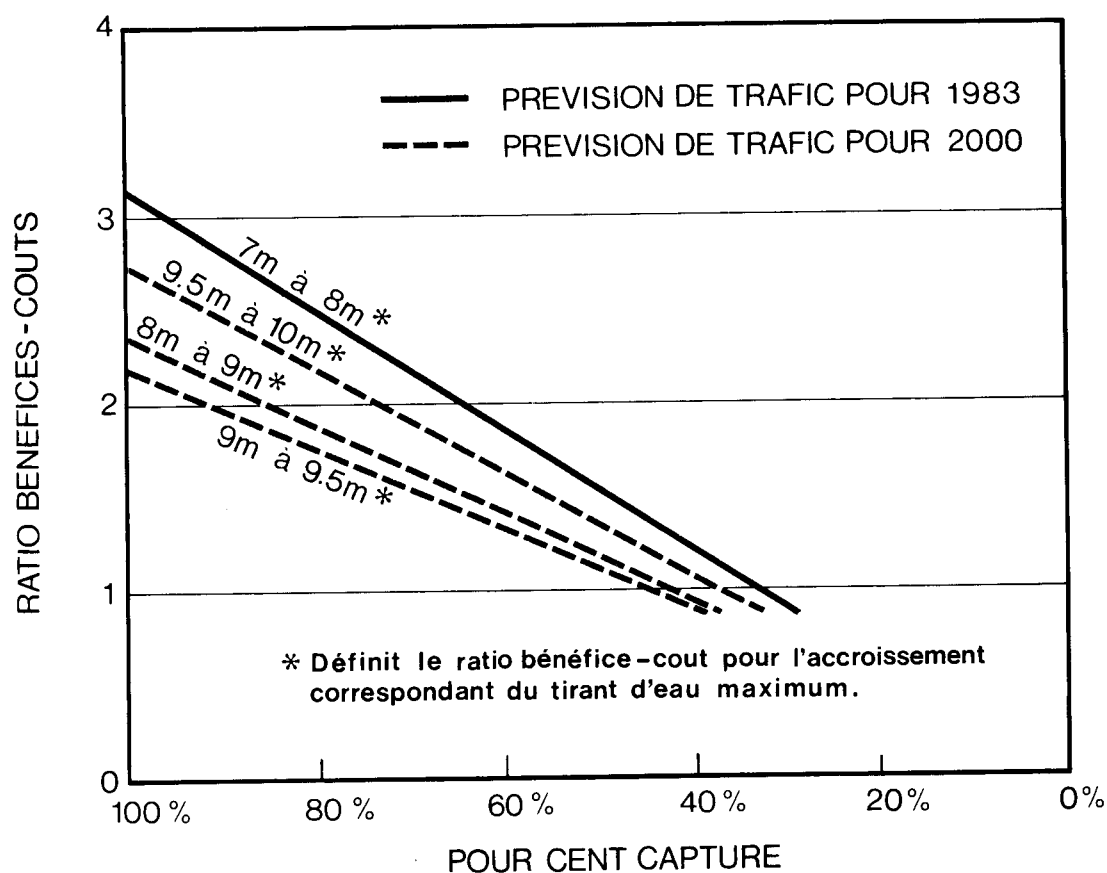


FIGURE 6.8

# **SENSIBILITE A LA CAPTURE DES BENEFICES COUTS PESSIMISTES**



#### 6.4.3 Sensibilité à l'accroissement de la part du marché des CONRO

Le rapport des parts de marché des CONRO/breakbulk estimée dans cette étude était de 55/45. Etant donné que les CONRO accroissent régulièrement leur part du marché, un test de sensibilité a été effectué avec un rapport de 60/40. Le tableau 6.2 indique que les coûts de transport maritime pour toutes les limitations de tirant d'eau sont réduits d'environ 2 millions de dollars par an. Par conséquent, l'effet sur la courbe des coûts totaux du système de transport se traduira par une translation vers le bas sans modification de l'abscisse du minimum, ce qui indique que la limitation du tirant d'eau optimale restera la même. La sélection de la profondeur du chenal ne sera donc pas affectée par un léger accroissement de la part du marché des CONRO.

Tableau 6.2

#### COÛTS DE TRANSPORT MARITIME, ANALYSE DE SENSIBILITÉ À L'ACCROISSEMENT DU TRAFIC DES CONRO

NIVEAU DE TRAFIC POUR L'AN 2000  
(coûts en millions de dollars)

Répartition CONRO/Breakbulk	Limitation de tirant d'eau (m)				
	8	9	9,5	10	11
55/45	167	160	153	145	142
60/40	165	158	151	143	140
Différence de coût	2	2	2	2	2

#### 6.4.4 Sensibilité à l'accroissement de la jauge moyenne des navires

Les tendances actuelles à court terme indiquent qu'il n'y aura pas d'augmentation significative de la jauge moyenne des navires de marchandises générales. Par conséquent, seulement les années 2000 et 2025 ont été considérées.

Le paragraphe 4.2.2 démontre que la jauge des navires rencontrés en Afrique de l'ouest est limitée par des contraintes d'ordre économique et par des contraintes de profondeur. La limitation du tirant d'eau de 11 m qui minimise les coûts totaux du système de transport pour 2025, accommodera la plupart des navires touchant l'Afrique de l'ouest ainsi que suggéré par le tableau des profondeurs d'eau des ports ouest africains (tableau 4.6) et celui de la distribution actuelle de la jauge des navires (tableau 4.2). Etant donné que le nombre d'escales par des navires plus grands est très limité en Afrique de l'ouest, un accroissement du tirant d'eau au-delà de 11 m serait peu économique pour un trafic de marchandises générales.

Pour l'an 2000, la limitation du tirant d'eau à 11 m pourrait être justifiée si environ 4% des coûts totaux d'expédition pouvaient être économisés en utilisant des navires dont le tirant d'eau d'été se situe dans l'intervalle de 10 à 11 m. Du fait des limitations de profondeurs dans les ports ouest africains, il est probable qu'un accroissement de la jauge moyenne des navires se fera principalement par une augmentation du nombre de navires dont le tirant d'eau se situe dans l'intervalle 9-10 m. Par conséquent, il est peu probable que les économies mentionnées ci-dessus se produisent, et il est également peu probable que le tirant d'eau de 11 m soit justifié pour l'an 2000, même si la jauge moyenne des navires augmente.

Les résultats de l'analyse économique présentée dans le paragraphe 6.0 de ce rapport, indiquent que les dimensions de design du chenal sont très sensibles au coût de dragage et également aux volumes de marchandises prévus. Ces résultats peuvent se résumer comme suit:

Pour les années 1983 à 1990:

Dans le cas où la reconnaissance des sols indiquerait que la couche de matériau dur est à la profondeur de -13,5 m IGN estimée dans ce rapport, et qu'un tel matériau doit être enlevé par excavation sous-marine des rochers par forage et dynamitage, la jauge de référence des navires serait alors de 10 000 tonnes de port en lourd pour les navires-citernes et les navires breakbulk et de 15 000 tonnes de port en lourd pour les navires du type CONRO ayant un tirant d'eau de 8,2 m. Les dimensions de base d'un chenal à une voie fréquenté par ces types de navires sont de 110 m de largeur dans la section médiane du chenal et de 350 m de diamètre pour le bassin de manoeuvre. La profondeur du chenal, au-dessous du Zéro IGN, varierait entre -13,0 m dans la section extérieure (vers la mer) et -10,5 m dans la section intérieure (bassin de manoeuvre et zone du poste de mouillage).

Alternativement, le programme d'analyse des sols pourrait indiquer que la couche dure peut être excavée à un coût relativement faible, au moyen d'une drague suceuse à désagrégateur. Dans ce cas, le tirant d'eau maximum serait de 10 m, ce qui implique des navires de référence de 25 000 tonnes pour les CONRO et les navires-citernes. Les dimensions de base d'un chenal à une voie fréquenté par ces types de navires sont de 130 m de largeur dans section médiane du chenal et de 390 m du diamètre pour le bassin de manoeuvre.



La profondeur du chenal, au-dessous du Zéro IGN, varierait entre -15,25 m dans la section extérieure et -12,5 m dans la section intérieure.

Pour l'an 2000:

Pour cette période, le navire type pour les évaluations optimiste et pessimiste, est de 25 000 tonnes de port en lourd pour les CONRO et les navires-citernes possédant un tirant d'eau de 10,0 m. Les dimensions permettant d'accepter ces genres de navires sont mentionnées ci-dessus.

Pour l'an 2025:

On prévoit que la densité du trafic va s'accroître de telle sorte qu'un chenal à deux voies sera justifié. Si les prévisions des volumes de marchandises se réalisent, on considère qu'un navire de référence de 35.000 tonnes de port en lourd pour les CONRO et les navires-citernes possédant un tirant d'eau de 11,0 m, sera viable, pourvu que le dragage puisse être effectué avec des dragues suceuses à désagrégateur. La largeur de base du chenal à deux voies permettant le passage de navires de 35.000 et 15.000 tonnes de port en lourd est de 250 m et les profondeurs de référence du chenal s'échelonneront de -16,5 m IGN, dans la section extérieure du chenal à -13,75 m IGN dans la section intérieure du chenal.

Dans le cas de l'estimation de coût pessimiste (dragage par forage et dynamitage), le tirant d'eau de référence resterait de 10 m. Le chenal à deux voies possédant une largeur de référence de base de 230 m, permettrait le passage de navires de 25 000 et 15 000 tonnes de port en lourd. Les profondeurs du chenal s'échelonneront de -15,25 m IGN, dans la section extérieure à -12,5 m IGN dans la section intérieure.





A l'heure actuelle, il est impossible d'évaluer quel serait l'impact sur les dimensions du chenal d'un changement dans les prévisions des volumes de marchandises dû à l'incorporation des expéditions de minerais en vrac passant par le port de St-Louis. Ainsi, les profondeurs de chenal proposées dans ce rapport représentent la condition minimale recommandée.