

4237

ILLACO

Rapport de Recollement

partie 2 (Hydro)

partie 3 (Général)

H 23
E

République du Sénégal
Ministère du Développement Rural
et de l'Hydraulique
Direction Générale de l'Hydraulique
et de l'Équipement Rural

Budget d'équipement 1974/1975
chap. 2/821 - Art. 4103-1

**ACTUALISATION ET REPRODUCTION DES DOSSIERS ILACO 1963/66
RELATIFS AUX VALLEES ET BARRAGES
DE NIASSA ET DE GUIDEL EN CASAMANCE**

RAPPORT DE RECOLLEMENT

PARTIE 2

**ACTUALISATION DES ETUDES HYDROLOGIQUES
ET DE L'ETUDE DE L'ECOULEMENT DES CRUES TRES FORTES**

PARTIE 3

**ETUDES DES DISPOSITIFS COMPLEMENTAIRES DE GENIE CIVIL
AUX OUVRAGES DANS LES VALLEES DE NIASSA ET DE GUIDEL**

République du Sénégal
Ministère du Développement Rural
et de l'Hydraulique
Direction Générale de l'Hydraulique
et de l'Équipement Rural

Budget d'équipement 1974/1975
chap. 2/821 - Art. 4103-1

ACTUALISATION ET REPRODUCTION DES DOSSIERS ILACO 1963/66

RELATIFS AUX VALLEES ET BARRAGES

DE NIASSA ET DE GUIDEL EN CASAMANCE

RAPPORT DE RECOLLEMENT

PARTIE 2: Actualisation des études hydrologiques et de
l'étude de l'écoulement des crues très fortes

PARTIE 3: Etude des dispositifs complémentaires de Génie
Civil aux ouvrages dans les vallées de Niassa
et de Guidel

ILACO
Arnhem, Pays-Bas

Décembre 1975

TABLE DE MATIERE

<u>PARTIE 2</u>		<u>Page</u>
1	- INTRODUCTION	1
2	- GEOGRAPHIE	1
3	- GEOLOGIE ET SOLS	3
4	- PLUVIOMETRIE	3
5	- HYDROLOGIE	6
	5.1 - Débits de base	6
	5.2 - Débits de crue	9
6	- LES MAREES	18
7	- CONCLUSION	29

PARTIE 3

1	INTRODUCTION	1
2	DESCRIPTION DES OUVRAGES	1
	2.1 Barrages	1
	2.2 Dignes de raccordement	2
	2.3 Canaux	2
	2.4 Ecluses	2
	2.4.1 Portes automatiques	2
	2.4.2 Vannes glissantes	3
	2.5 Digue-route de Niaguiss et pont sur le marigot de Guidel	3
	2.6 Vérification des cotes	3
3	DISPOSITIFS EVENTUELS POUR L'ECOULEMENT DES CRUES TRES FORTES	9
4	DISPOSITIFS DE REGLAGE POUR LES VANNES	15
5	ADAPTATIONS AUX CRITERES TECHNIQUES PLUS RECENTS	15
	5.1 Fouilles pour les écluses	15
	5.2 Barrages dans les marigots	16
	5.3 Palplanches métalliques	16
	5.4 Armature	17
	5.5 Peinture	17
6	FONCTIONNEMENT DES ECLUSES	18

FIGURES

	<u>PARTIE 2</u>	<u>Page</u>
FIGURE 1	- Situation et isohyètes moyennes annuelles	2
2	- Hauteurs de pluie journalières ponctuelles de diverses récurrences	5
3	- Hydrogramme unitaire à Médina, Vallée de Niassa	10
4	- Hydrogramme unitaire à Niaguiss, Vallée de Guidel	11
5a	- Variation de niveau d'eau relative à la largeur de l'écluse et au débit Médina	13
5b	- Variation de niveau d'eau relative à la largeur de l'écluse et au débit Médina	14
6	- Variation de niveau d'eau relative à la largeur de l'écluse et au débit Niaguiss	15
7	- Marée annuelle et semi-mensuelle	21
8	- Amplitudes diverses des marées	22
9	- Amplitudes maximales, moyennes et minimales	25
10	- Amplitudes journalières moyennes	27
11	- Niveaux d'eau des marées relatives aux niveaux d'eau en amont des écluses	30

PARTIE 3

FIGURE 1	- Débit évacué par vanne à Niassa	5
2	- Débit évacué par vanne à Guidel	7
3	- Digue fusible	11
4	- Détail digue fusible	13

LISTE DES PLANS

- PLAN N 1 - Plan général avec situation des ouvrages à Niassa, profils et coupes
- G 1 - Plan général avec situation des ouvrages à Guidel, profils et coupes
- N 3 - Plan général de l'écluse à Niassa
- G 3 - Plan général de l'écluse à Guidel

LISTE DES RAPPORTS UTILISES

- Aménagements hydro-agricoles en Casamance et Haute Gambie
Note Synthèse, tome 5, Avril 1963
- Note concernant le développement agricole en Basse Casamance,
Octobre 1973
- Aménagements hydro-agricoles en Casamance - maritime
Rapport Hydrologique sur les vallées de Niassa et de Guidel
ILACO, Mai 1965
- Etudes hydrologiques en Casamance
ORSTOM, Novembre 1967
- **Etudes hydrologiques en Casamance**
Rapport définitif, ORSTOM, 1970
- Note Complémentaire au Rapport Hydrologique Casamance Maritime 1965,
ILACO, Novembre 1966

République du Sénégal
Ministère du Développement Rural
et de l'Hydraulique
Direction Générale de l'Hydraulique
et de l'Équipement Rural

Budget d'équipement 1974/1975
chap. 2/821 - Art. 4103-1

ACTUALISATION ET REPRODUCTION DES DOSSIERS ILACO 1963/66

RELATIFS AUX VALLEES ET BARRAGES

DE NIIASSA ET DE GUIDEL EN CASAMANCE

RAPPORT DE RECOLLEMENT

PARTIE 2

ACTUALISATION DES ETUDES HYDROLOGIQUES

ET DE L'ETUDE DE L'ECOULEMENT DES CRUES TRES FORTES

ILACO
Arnhem, Pays-Bas

Décembre 1975

1 INTRODUCTION

Dans ce rapport il est donnée une actualisation des rapports hydrologique 1965 et général 1966 de l'ILACO relatifs aux observations et mesurages complémentaires et aux rapports mis à la disposition après 1966.

Cette actualisation fait partie d'un marché que le Gouvernement de la République du Sénégal a commissionné à la Société ILACO, et dans lequel aussi la reproduction des rapports précédents inchangés est prévue. L'actualisation concerne trois aspects, l'agro-socio-économie, l'hydrologie et le Génie civil, aspects qui seront présentés en trois parties d'un Rapport de Recollement. Ce rapport-ci est la partie 2.

Le rapport hydrologique 1965 de l'ILACO est un rapport encore très utilisable, parce qu'il contient les seules données spécifiques sur les marigots propres, à savoir les niveaux d'eau, l'influence des débits fluviaux et des crues sur les marées, bilan hydraulique, etc.

Les mesurages après 1966 concernent, à une échelle limitée, le climat et les niveaux des marées et la salinité du fleuve Casamance. Ces données additionnelles sont fournies par deux rapports de l'ORSTOM, 1967 et 1970.

Les résultats des études statistiques du climat ne changent pas par les quelques observations additionnelles. Egalement les circonstances ne sont guère changées à l'égard de la situation de 1965. Seulement à Guidel dans le Niaguiss un nouveau pont sur six supports a été construit. Toutefois le profil est plus de deux fois celui du barrage et on ne doit pas s'attendre à un rehaussement du niveau d'eau de plus de quelques centimètres dans des cas extrêmes (Q₁₀₀).

2 GEOGRAPHIE

Les vallées de Niassa et de Guidel sont situées en Basse Casamance, au Sud-Ouest du Sénégal; celle de Niassa au Sud-Ouest et celle de Guidel au Sud-Est de la ville de Ziguinchor. La vallée de Niassa est connectée indirectement avec le fleuve Casamance, le marigot de Kamobeul étant l'intermédiaire. L'influence des marées est ainsi plus faible au site du barrage près du village de Médina. La vallée de Guidel débouche à peu près directement dans le fleuve Casamance (voir figure 1).

CASAMANCE

SITUATION ET ISOHYETES MOYENNES ANNUELLES

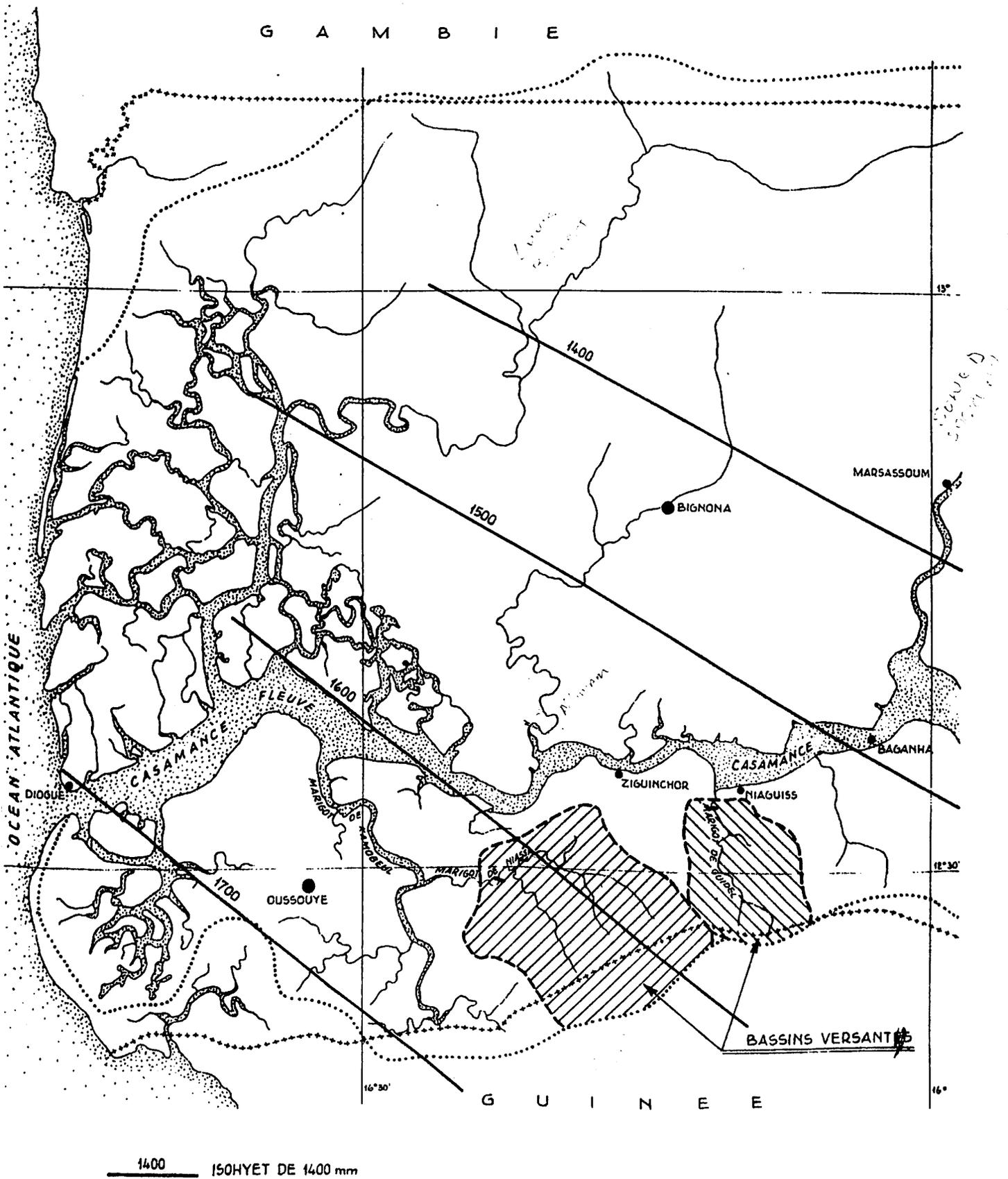


FIG 1

3 GEOLOGIE ET SOLS

Dans la région des deux vallées les formations géologiques présentent des faciès très homogènes. Ce sont des dépôts continentaux provenant de l'érosion des hautes-bassins au cours du Miocène. On les rencontre à quelques dizaines de mètres au-dessus de la mer. Dans l'ensemble ce sont des sables argileux bariolés à grains de quartz de tailles diverses. Des bancs de sable, des argiles sableuses, ou des grès ferrugineux en prolongement des cuirasses s'intercalent dans ces formations. *ibz.*

Le continental terminal est bordé par un estuaire de sédiments marins. Les marigots de cet estuaire pénètrent largement dans le continental. Les vallées de ces marigots sont remplies en amont et le long des rives de matériaux colluviaux issus du continental terminal; ailleurs, elles sont comblées par des dépôts marins.

En général les bassins versants sont divisés en deux parties: la superficie des vallées et celle des terres hautes:

Bassin versant de Niassa:	vallées	- 27%
	terres hautes	- 73%
Bassin versant de Guidel:	vallées	- 26%
	terres hautes	- 74%

Les terres hautes jouent un rôle vital dans le rechargement des nappes. Chaque année l'eau des pluies s'infiltré dans le sol bien perméable rechargeant ainsi les réserves d'eau douce souterraine qui produisent le débit de base des vallées.

4 PLUVIOMETRIE

De la climatologie c'est particulièrement la pluviométrie qui nous intéresse.

Pour les deux bassins versants, les chiffres de Ziguinchor sont applicables. Pour la vallée de Niassa il faut augmenter les valeurs de 3% (voir figure 1, isohyètes moyennes annuelles). La valeur moyenne de la précipitation à Ziguinchor est de 1513 mm (20 ans d'observations). Pratiquement toute la pluie (98%) tombe aux mois de Juin, Juillet, Août, Septembre et Octobre, Août étant le mois le plus pluvieux.

Le tableau (page suivante) donne une idée des valeurs en mm et de la répartition mensuelle de la précipitation.

La précipitation journalière extrême en fonction de la pluviométrie moyenne annuelle est déterminée par ORSTOM. Les résultats sont donnés dans la figure 2.

La précipitation ponctuelle journalière d'une probabilité d'une fois en 100 ans est extrapolée de ces résultats et est fixée à 240 mm.

Ce dernier chiffre est utilisé pour les calculs des débits de crues extrêmes, c'est-à-dire d'une probabilité d'une fois en 100 ans.

Année	Mois												Total	Proba- bilité (%)	Observa- tion			
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D						
1931-1960					10	125	363	532								1.580	65	
1950-1964					9	143	351	528	394	149	15					1.513	50	
1953-1972																2.007	95	
1967																883	0,7	
1968																1.461	48	
1969																1.398	37	
1970					14	73	388	581	246	60						1.198	13	
1971					-	72	260	345	330	93						904	1	
1972					1	84	213	334	223	49						1.295	27	
1973					-	89	309	594	255	48						1.241	21	
1974					1	30	374	547	258	31								
1975					0,5	33	364	455										

HAUTEURS PONCTUELLES JOURNALIERES DE DIVERSES RECURRENCES

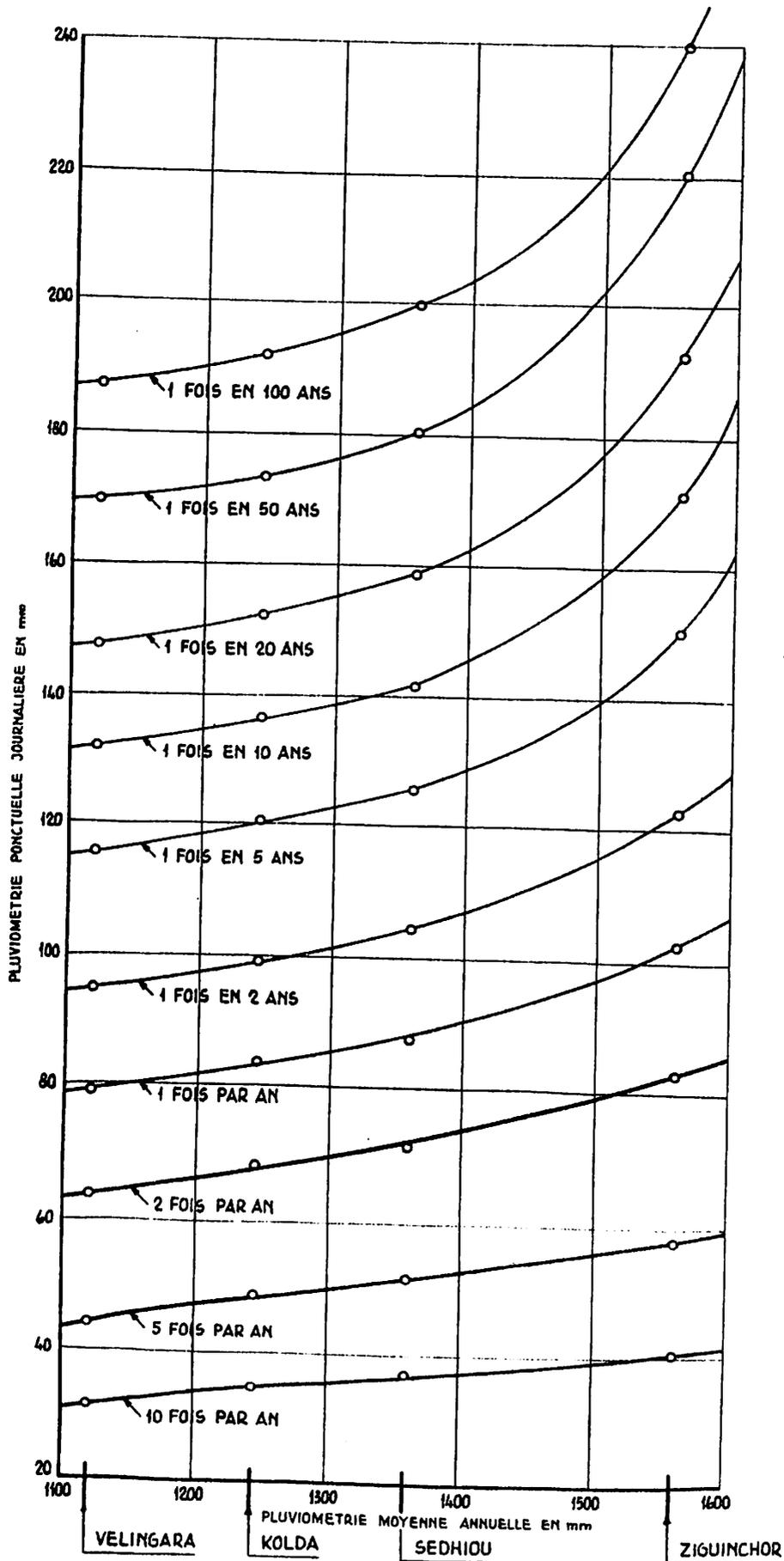


FIG. 2

5 HYDROLOGIE

5.1 Débits de base

Au point de vue géologique la région de Casamance est très homogène. Les sols des mangroves et des plaines alluviales des grands marigots sont imperméables (sols hydromorphes argileux). Le reste, la plus grande partie, est recouvert de formations du continental terminal. Ces formations se composent surtout de sables argileux et l'ensemble est très perméable.

La répartition de la superficie des deux bassins de Niassa et de Guidel est comme suit.

	<u>Niassa</u>	<u>Guidel</u>
Bassin versant total	26.200 ha	13.200 ha
Bassin versant situé au Sénégal	19.300 ha	12.300 ha
Superficie totale Continental Terminal	21.195 ha	11.550 ha
Superficie totale Continental Terminal au Sénégal	14.295 ha	10.650 ha
Superficie totale des terres de la vallée	5.005 ha	1.650 ha
Terres douces de la vallée	3.350 ha	500 ha
Terres salées de la vallée	1.655 ha	1.150 ha
Terres salées mangrove	945 ha	755 ha
Terres salées non-mangrove	710 ha	395 ha
Sols bas	7.100 ha	3.400 ha
Sols élevés	19.100 ha	9.800 ha

La perméabilité provoque un débit de base assez constant des terres hautes (Continental Terminal). Ce débit de base est déterminé à 1 m³/s par 6.200 ha pour les deux vallées, et se manifeste encore quelques mois après la dernière précipitation, la durée étant dépendante de la hauteur des pluies de la saison précédente.

L'établissement d'un bilan d'eau des terres hautes pour la totalité de l'année est donc extrêmement compliqué et les résultats ne doivent être exploités qu'avec grande prudence.

Ce qui précède étant pris en considération, l'élaboration doit être faite en adoptant tout d'abord quelques principes de base.

- a. Au début de la saison des pluies, il ne se produit plus aucun écoulement souterrain des eaux stockées dans les terres hautes en direction des terres basses.
- b. L'écoulement provenant du réservoir d'eau souterraine est proportionnel à la montée du niveau phréatique.
- c. Aucun chiffre pour l'évaporation de l'eau phréatique sur les terres hautes n'étant connu, les chiffres d'évaporation utilisés sont ceux qui ont été enregistrés à Ziguinchor. En fait, les chiffres provenant de Ziguinchor seront trop élevés. La conséquence est que pour un bilan d'eau tel qu'il est établi au tableau 1, l'apport restera excédentaire plus longtemps que jusqu'à la fin de septembre.

- d. La proportion entre les surfaces des terres hautes et celles des terres basses est supposée être constante, et correspond à celle qui a été déterminée au mois d'août. Lors d'observations à Taubakouta en août 1963 il a été mesuré un écoulement de $1 \text{ m}^3/\text{s}$ par 6.200 ha. Ce débit a été pris comme débit de base dans le bilan de l'eau. Tous les chiffres dans le tableau ci-dessous sont exprimés en mm.

Bilan d'eau des terres hautes en mm, par stockage illimité

Mois	Précipitations	Évaporation	Écoulement	Apport excédentaire	Stockage
Juin	143	110	1	32	0
Juillet	347	64	16	267	32
Août	528	47	42 ^x	439	299
Septembre	388	53	78	257	738
Octobre	149	65	85	- 1	995
Novembre	-	98	81	- 179	994
Décembre	-	137	65	- 202	815
Janvier	-	168	45	- 213	613
Février	-	165	27	- 192	400
Mars	-	199	9	- 208	208
					0

1106

Si le phénomène se déroule comme il est supposé dans le tableau précédent, l'écoulement se prolongera un peu plus longtemps car l'évaporation diminue lorsque le niveau phréatique baisse dans le réservoir.

Ainsi qu'il apparaît, presque 1.000 mm d'eaux de pluie doivent être stockés. Ceci n'a en réalité rien d'impossible. La différence entre le plus haut et le plus bas niveau d'eau mesuré dans un puits près de BRIN se monte à 6 m, ce qui, en supposant un volume des pores de 20%, correspond à un stockage de 1.200 mm; la possibilité de stockage doit donc être plus que suffisante.

quand ?

Le résultat du bilan d'eau, dans cette hypothèse, est que l'écoulement retardé d'eau douce en provenance des terres hautes cessera à la fin de mars.

Il est intéressant de savoir maintenant à quel moment l'évaporation dans les marigots et sur les terres basses sera supérieure à l'écoulement retardé provenant des terres hautes.

Les chiffres consignés au tableau donnent des informations à ce sujet.

1106

98

Comparaison entre l'évaporation des terres hautes et des marigots, et l'écoulement provenant des terres hautes, avec des chiffres d'évaporation égaux

Mois	Evaporation totale sur les terres basses, en 1.000 m ³		Ecoulement total provenant des terres hautes, en 1.000 m ³	
	Vallée de Niassa 7.100 ha	Vallée de Guidel 3.400 ha	Vallée de Niassa 19.100 ha	Vallée de Guidel 9.800 ha
Novembre	6.958	3.332	15.471	7.938
Décembre	9.727	4.658	12.415	6.370
Janvier	11.928	5.712	8.595	4.410

Il ressort clairement de ce qui précède que le moment où la situation se renverse, c'est-à-dire où l'évaporation sera supérieure à l'écoulement, doit être attendu vers le 15 janvier. A partir de cette date, et par écluse fermée, le plan d'eau dans la vallée s'abaissera peu à peu et il se produira un début de salinisation. On se rapproche probablement plus encore de la réalité si on évalue l'évaporation sur les terres hautes non pas égale, mais plus faible que l'évaporation sur les terres basses.

En supposant qu'on applique aux chiffres pour l'évaporation sur les terres hautes le facteur 0,8 et que les chiffres de l'écoulement augmentent en proportion, on peut alors établir l'hypothèse représentée dans le tableau ci-dessous.

Comparaison entre l'évaporation des terres basses et des marigots, et l'écoulement provenant des terres hautes, avec des chiffres d'évaporation non égaux

Mois	Evaporation totale sur les terres basses, en 1.000 m ³		Ecoulement total provenant des terres hautes, en 1.000 m ³	
	Vallée de Niassa 7.100 ha	Vallée de Guidel 3.400 ha	Vallée de Niassa 19.100 ha	Vallée de Guidel 9.800 ha
Novembre	6.958	3.332	17.381	8.918
Décembre	9.727	4.658	17.572	9.016
Janvier	11.928	5.712	15.971	7.938
Février	11.715	5.610	11.460	5.880
Mars	14.129	6.766	9.359	4.802

Le tableau ci-dessus montre que le renversement de la situation doit se produire à la fin de février dans la vallée de Niassa et un peu plus tard dans la vallée de Guidel.

Il va de soi que ces résultats peuvent varier d'année en année et sont sous une extrême dépendance des précipitations totales et de l'intensité des fortes averses.

La conclusion provisoire qui peut être liée à ce qui précède est que, dans une année de pluviométrie minimale, le renversement de la situation se produira dans le courant de la première moitié de février.

5.2 Débits de crue

La précipitation tombant sur la partie haute des bassins versants s'infiltré pratiquement en totalité et parvient aux marigots sous forme d'écoulement souterrain. Le stockage ici est très grand.

La précipitation sur les régions basses doit être évacuée directement parce que le stockage dans les marigots est très faible, les sols étant peu perméables et les surfaces des marigots limitées.

La pluie provoque ainsi un rapide accroissement du débit. Cette onde de crue est cependant terminée après quelques jours.

ILACO, dans son rapport Tome 4, Volume 2 et rapport hydrologique a établi pour les deux bassins versants des hydrogrammes unitaires en fonction d'une précipitation de 24 heures. Ils sont contenus dans les figures 3 et 4. Afin de déterminer les hauteurs maximales des crues, les données des figures 2, 3 et 4 sont utilisées. Les résultats sont pour la vallée de Niassa.

Pluie 24 heures $H_1 = 104$ mm
 $H_{10} = 172$ mm
 $H_{50} = 221$ mm
 $H_{100} = 240$ mm

Les chiffres 1, 10, 50 et 100 donnent la période de récurrence en années.

Le débit maximal est déterminé selon la formule:

$$Q_x = 30,5 \cdot \frac{H_x}{100} \text{ m}^3/\text{s} \quad (x \text{ étant la fréquence}), \text{ donnant}$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 31,7 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q_{10} &= 52,5 \text{ " } \\ Q_{50} &= 67,5 \text{ " } \\ Q_{100} &= 73,0 \text{ " } \end{aligned}$$

L'influence des débits fluviaux a été déterminée par ILACO, dans son rapport hydrologique, pour les niveaux de haute mer et de basse mer. Pour les débits de $65 \text{ m}^3/\text{s}$ et $35 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivement, ces niveaux ne changent pas pour la vallée de Niassa et pour une largeur de l'écluse égale à la moitié de celle du marigot. Pour la vallée de Guidel ces débits sont plus élevés que le débit centenaire.

VALLEE DE NIIASSA

HYDROGRAMME UNITAIRE A MEDINA D'UNE PLUIE DE 100 mm EN 24 HEURES

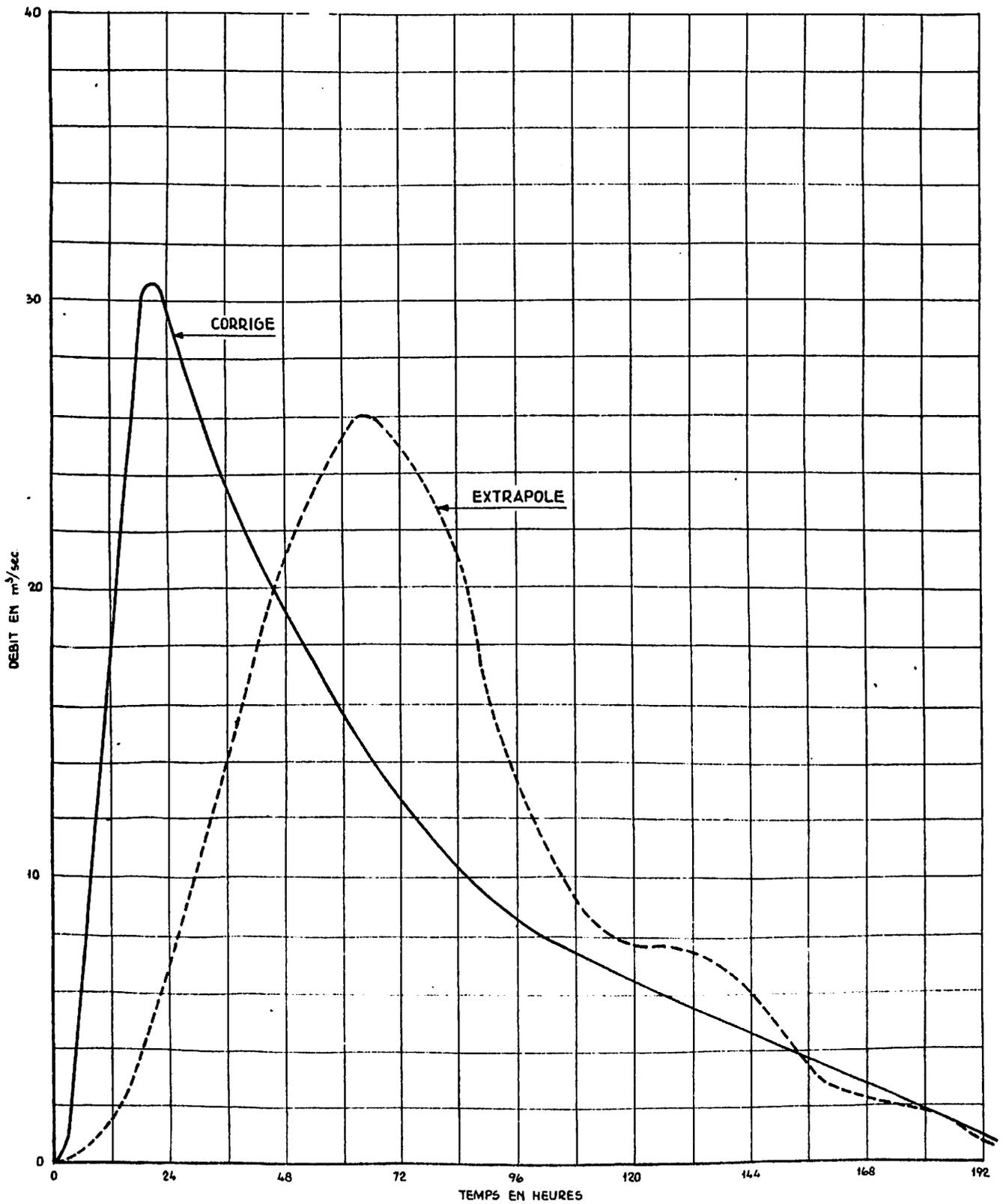


FIG 3

VALLÉE DE GUIDEL
HYDROGRAMME UNITAIRE A NIAGUISS D'UNE PLUIE DE 100 mm EN 24 HEURES

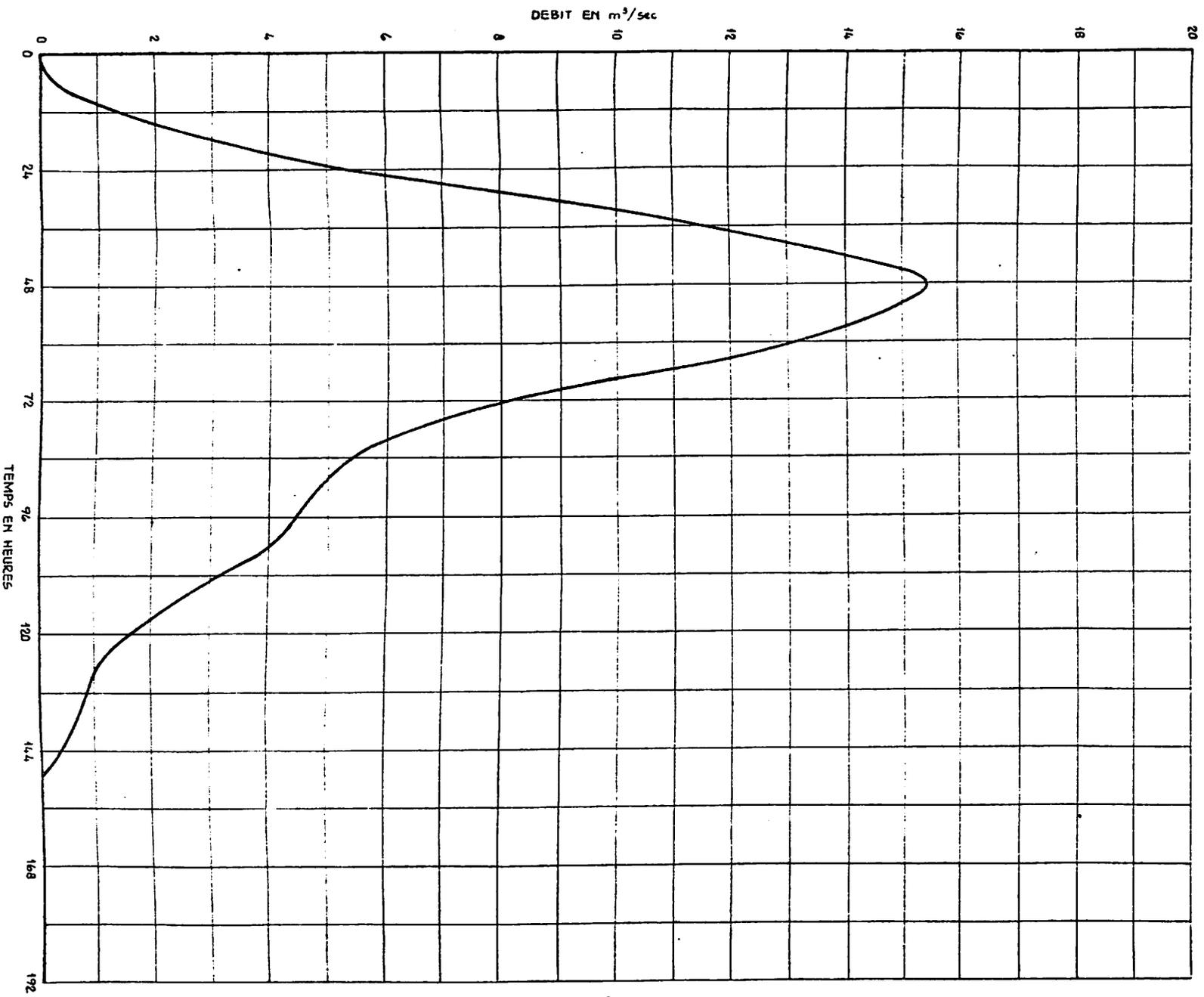


FIG. 4

Pour la vallée de Guidel les débits de diverses fréquences

$$\text{sont } (Q_x = 15,4 \times \frac{H_x}{100} \text{ m}^3/\text{s})$$

$$Q_1 = 16 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{10} = 26,5 \text{ "}$$

$$Q_{50} = 34 \text{ "}$$

$$Q_{100} = 37 \text{ "}$$

Les influences de divers débits fluviaux sur le niveau d'eau dans les marigots sont données dans les figures 5a, 5b et 6, et le tableau suivant.

Niveau d'eau le plus élevé et niveau d'eau qui se trouve dépassé pendant 3 jours consécutifs (en m + M.P.P.) pour une largeur des écluses égale à la moitié des marigots

Site	Fréquence	Niveau d'eau le plus élevé	Niveau d'eau qui se trouve dépassé pendant 3 jours consécutifs
Niassa (medina)	1 x en 100 ans	1,79	1,59 1,52 1,44
	1 x en 50 ans	1,77	
	1 x en 10 ans	1,74	
	1 x en 5 ans	1,66	
	1 x en 3 ans	1,56	
Guidel (Niaguiss)	1 x en 100 ans	1,68	1,46 1,37 1,30
	1 x en 50 ans	1,67	
	1 x en 10 ans	1,61	
	1 x en 5 ans	1,56	
	1 x en 3 ans	1,49	

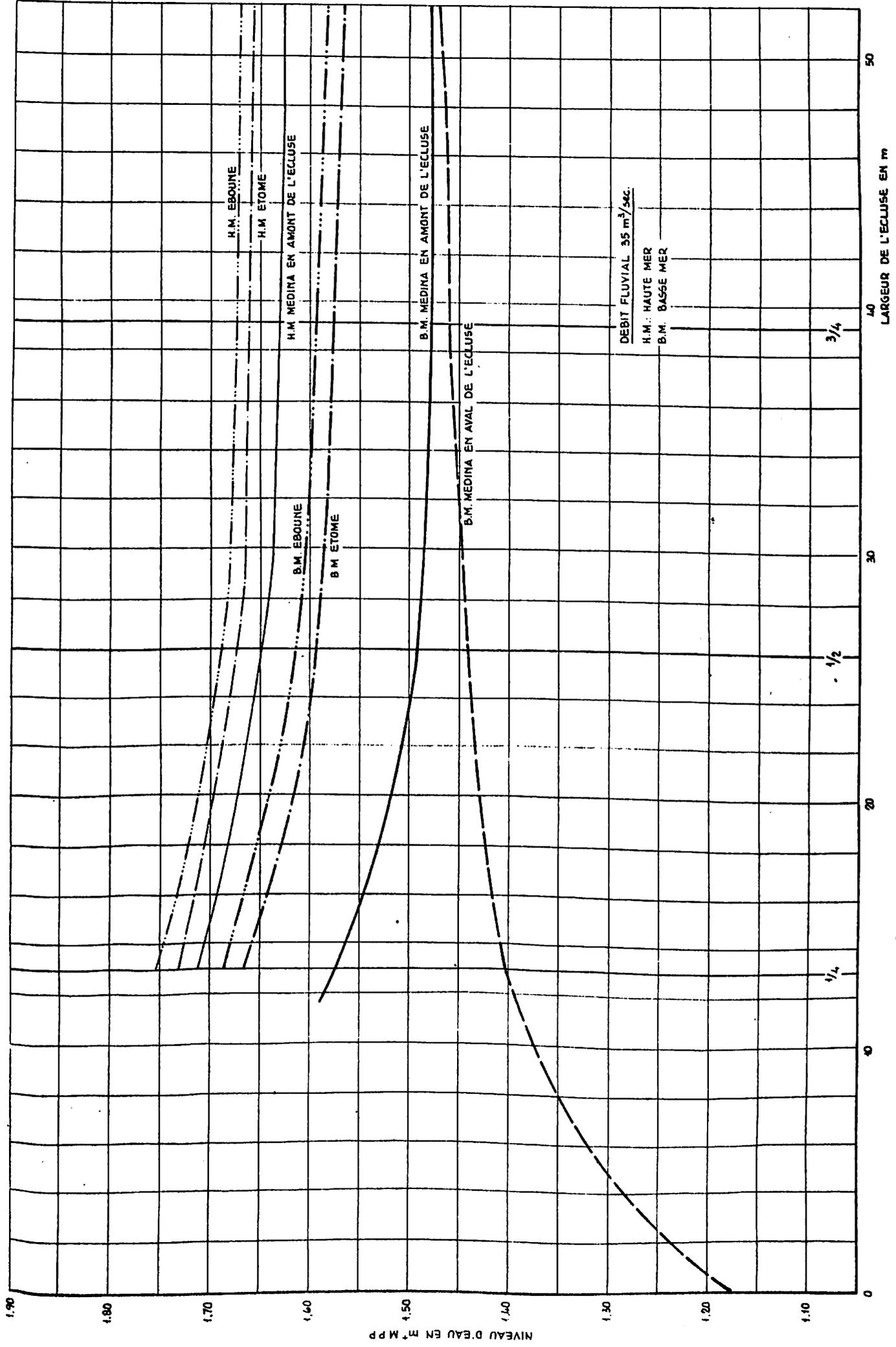


FIG. 5a

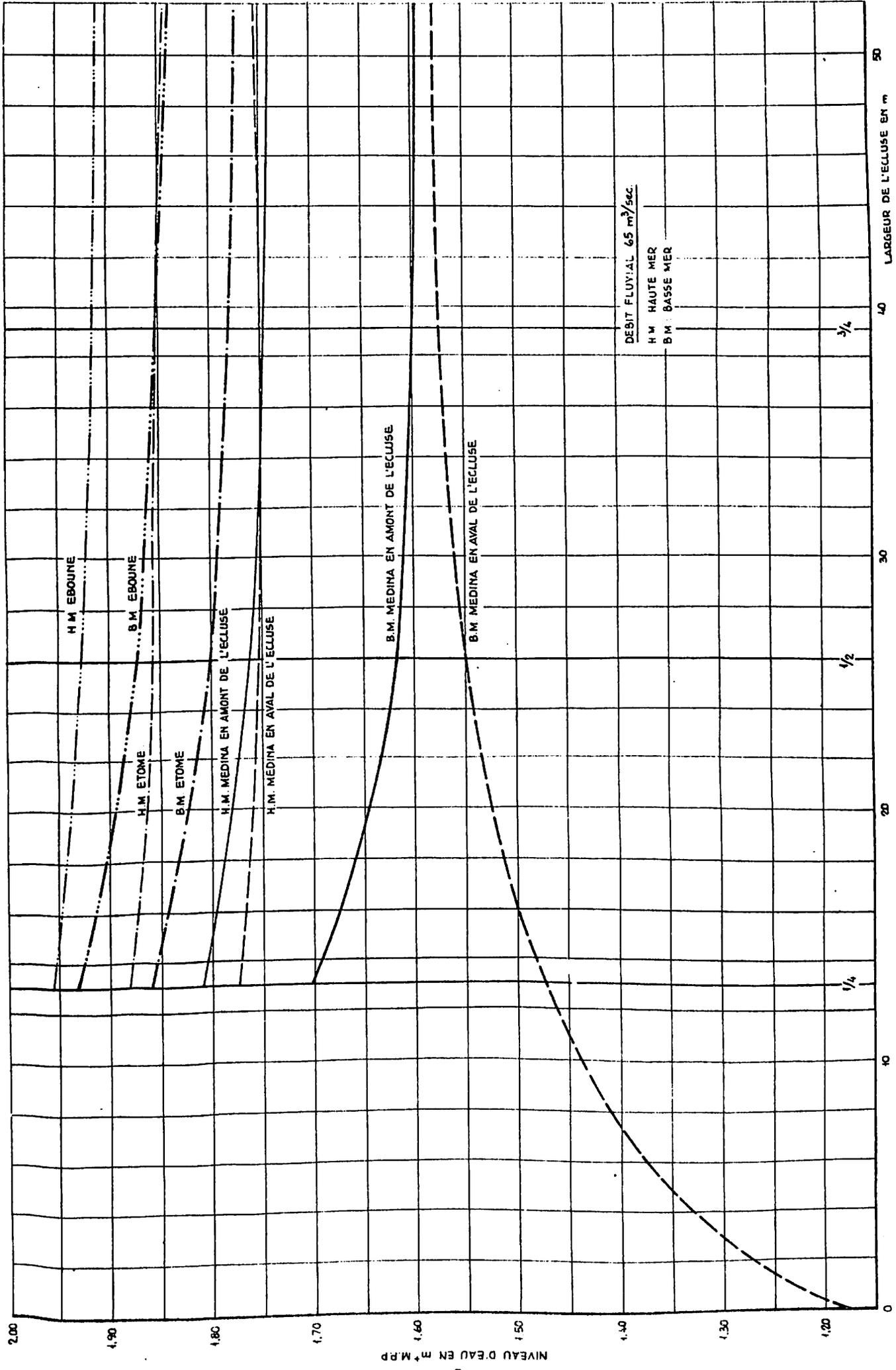


FIG 5b

NIVEAU D'EAU EN M.P.P.

LARGEUR DE L'ECLUSE EN M

DEBIT FLUYIAL 65 m³/sec.
 H.M. HAUTE MER
 B.M. BASSE MER

H.M. EBOUNE

B.M. EBOUNE

H.M. ETOME

B.M. ETOME

H.M. MEDINA EN AMONT DE L'ECLUSE

B.M. MEDINA EN AMONT DE L'ECLUSE

B.M. MEDINA EN AMONT DE L'ECLUSE

B.M. MEDINA EN AVAL DE L'ECLUSE

1/6

1/2

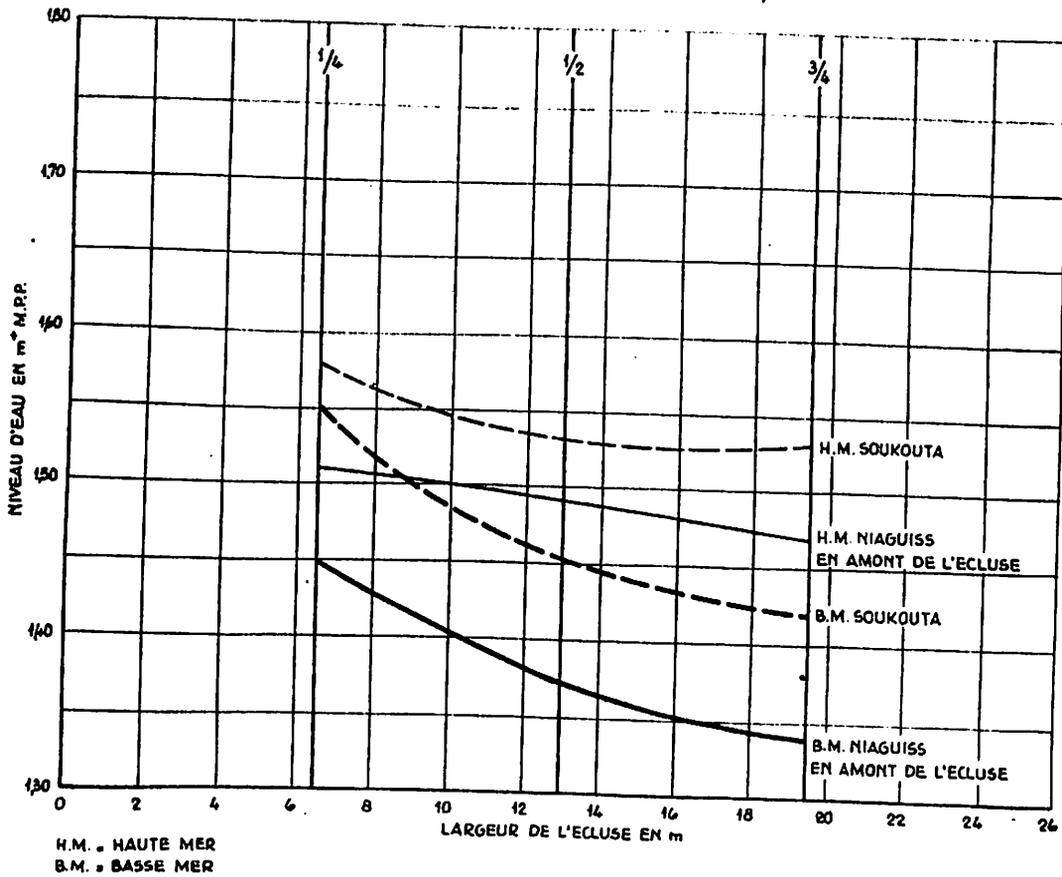
1/4

50 40 30 20 10 0

2.00 1.90 1.80 1.70 1.60 1.50 1.40 1.30 1.20

VALLEE DE GUIDEL
VARIATION DE NIVEAU D'EAU, RELATIVE A LA LARGEUR DE L'ECLUSE
POUR DES DEBITS FLUVIAUX CONSTANTS A NIAGUISS DE 15 ET 35 m³/sec.

DEBIT FLUVIAL 15 m³/sec.



DEBIT FLUVIAL 35 m³/sec.

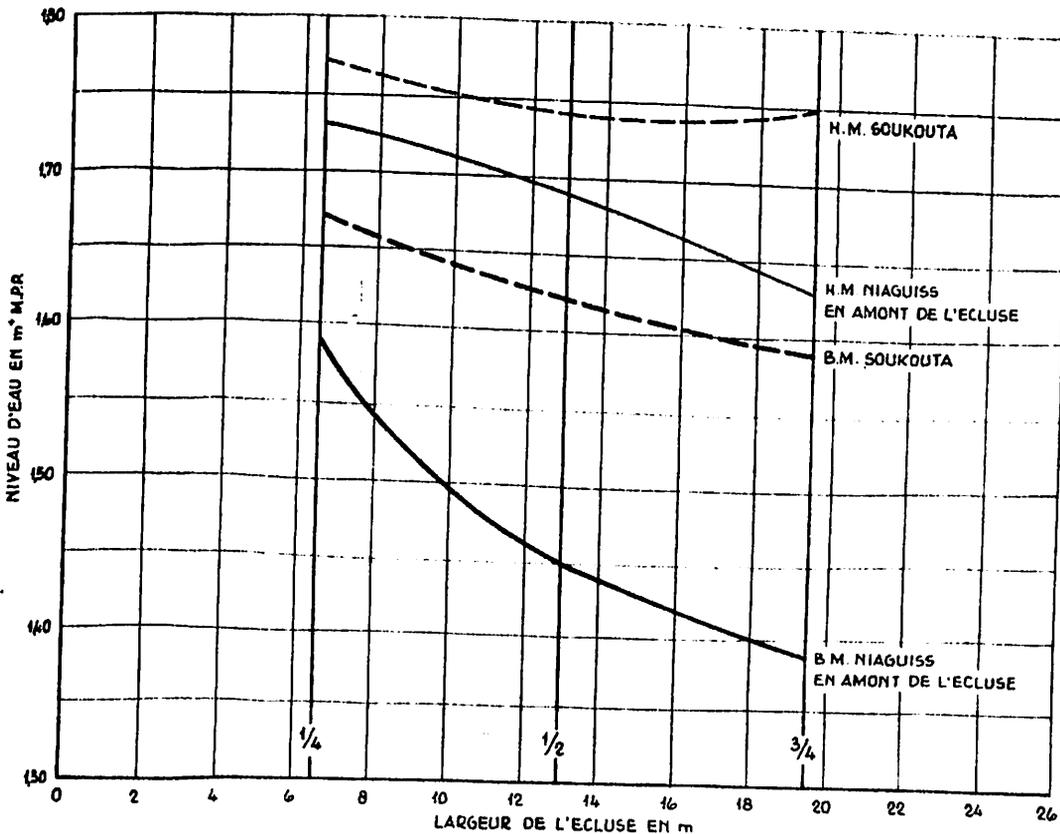


FIG. 6

Néanmoins, la situation à Médina dans la vallée de Niassa n'est pas la même qu'à Niaguiss dans la vallée de Guidel.

Médina est lié indirectement au fleuve Casamance par les marigots de Niassa et de Kamobeul.

Le site du barrage dans le Guidel se trouve très près de l'embouchure du Guidel dans le fleuve Casamance. Les débits fluviaux dans le Niassa rehaussent plus les niveaux dans ce marigot que ceux du Guidel dans le Guidel.

Les niveaux à Niaguiss se conforment à peu près à ceux du fleuve Casamance, tandis que les niveaux à Médina sont plus indépendants de ceux dans le Casamance, par raison de la longue et indirecte connexion (voir aussi le tableau précédent).

Pour illustrer le stockage dans les marigots relatif aux volumes des débits de crue et de base, nous avons établi le tableau suivant.

o Le volume de crue est déterminé par onde de crue simplifié triangulaire, d'une durée de 6 jours pour Niassa et de 5 jours pour Guidel.

Le volume de la précipitation est déterminé pour le bassin versant bas (7.100 et 3.400 ha respectivement).

De ce qu'il a été mentionné en pages 7 et 8 concernant le bilan hydraulique, il paraît que l'apport de débit de base dans une année normale est égal à l'évaporation à la fin du mois de février.

En supposant une année normale et le fait que le stockage de l'eau douce commence le 15 décembre après la récolte, les volumes maximaux à stocker seront comme suit:

Période	Volume en 10^6 m^3				Site
	apports	évaporation	stockage	stockage cumulatif	
15 - 31 déc.	8,8	5,0	+ 3,8	+ 3,8	Niassa
janvier	16,0	12,0	+ 4,0	+ 7,8	
février	11,5	11,7	- 0,2	+ 7,6	
mars	9,4	14,1	- 3,7	+ 3,9	
15 - 31 déc.	4,5	2,3	+ 2,2	+ 2,2	Guidel
janvier	8,0	5,7	+ 2,3	+ 4,5	
février	5,9	5,6	+ 0,3	+ 4,8	
mars	4,8	6,8	- 2,0	+ 2,8	

Le volume à stocker sera actuellement plus faible par l'évaporation augmentée de vastes plans d'eau.

o Arrondies, les valeurs sont à peu près 7 et 4,5 fois 10^6 m^3 . Au maximum, les vallées seront remplies de l'eau douce jusqu'aux niveaux de 1,90 et 1,80 + MPP environ. Les vannes glissantes ont leur crête à 2,50 + MPP ce qui est suffisamment élevé pour retenir toute l'eau douce. En admettant une évaporation du plan d'eau de 4 mm par jour, l'eau douce peut être conservée pour environ quatre (trois) mois jusqu'au niveau de 1,40 + MPP.

Vallée	Fréquence (ans)	Précipitation 24 hrs (mm)	Débits (m ³ /s) ***		crue	débit de base	total	Précipitation**	Volume (10 ⁶ m ³)			
			max.	de base*					1,40+ - 1,50+	Stockage entre (réf. MPP)	1,60+ - 1,70+	1,70+ - 1,80+ ****
Niassa	1	104	31,7	2,5	8,3	1,3	9,6	7,4	0,6	1,1	1,6	1,8
	10	172	52,5	3,1*	13,6	1,6	15,2	12,2	0,6	1,1	1,6	1,8
	50	221	67,5	3,5	17,5	1,8	19,3	15,7	0,6	1,1	1,6	1,8
	100	240	73,5	4,0	19,0	2,1	21,1	17,0	0,6	1,1	1,6	1,8
Guidel	1	104	16,0	0,8	3,5	0,35	3,85	3,5	0,7	1,1	1,2	1,2
	10	172	26,5	1,2	5,7	0,52	6,22	5,8	0,7	1,1	1,2	1,2
	50	221	34,0	1,6*	7,4	0,7	8,1	7,5	0,7	1,1	1,2	1,2
	100	240	37,0	2,0	8,0	0,9	8,9	8,2	0,7	1,1	1,2	1,2

* Pas relié à la fréquence; débits de base moyens de 6 jours (5 jours). Norme 1 m³/s par 6.200 ha. Superficies respectives 19.100 ha et 9.800 ha.

** Précipitation journalière sur 7.100 ha et 3.400 ha respectivement.

*** Débit moyen en août avec précipitation de 528 mm est égal à 15 m³/s pour le Niassa et 7 m³/s pour le Guidel (0, respectivement 31,7 et 16 m³/s).

Les débits constants à évacuer pendant des périodes assez longues, y compris les débits de base, peuvent être fixés à 20 et à 10 m³/s respectivement. L'évacuation sera effectuée par un nombre de vannes glissantes levées; les portes annexes fonctionnent automatiquement.

**** Stockage par tranche de 10 cm augmente relativement peu.

6 LES MAREES

Dans l'étude précédente de l'ILACO l'accent a été mis sur la relation entre précipitation, écoulement et mouvement de marée dans les marigots propres. Cette relation a été mesurée pendant la partie la plus humide de la saison de pluie, quand les plus gros problèmes d'évacuation se présentent.

ILACO a choisi une marée défavorable à Kamobeul, Piroque et à Niassa, et déterminé l'influence d'une forte précipitation et sur cette base a fixé les dimensions des écluses (largeur la moitié de celle des marigots).

Les résultats des niveaux sont donnés dans le tableau à page 12. La marée utilisée par ILACO est celle du 10-11 août de 1963.

Entre-temps, l'OSTROM a mesuré pendant trois ans les mouvements des marées dans le fleuve Casamance, et on a constaté une fluctuation interannuelle, mensuelle et journalière des marées moyennes à diverses stations le long du fleuve Casamance.

Pour obtenir une bonne notion des marées dans le fleuve Casamance, nous citons ce qui suit:

Généralités théoriques

Le phénomène des marées est dû au principe de la gravitation universelle: la cause des marées réside dans l'attraction exercée sur les molécules d'eau des océans par la lune et par le soleil, seuls astres à considérer en raison de leur proximité ou de leur masse. Les périodicités que l'on trouve dans les marées proviennent des mouvements apparents de la lune et du soleil par rapport à la terre.

Les composantes de l'onde marée en un point d'une côte océanique ont donc des périodes bien définies par l'astronomie, qui sont les mêmes pour tous les points du globe terrestre, mais les amplitudes de chacune de ces composantes dépendent d'une part de la latitude du point considéré, d'autre part des configurations des fonds marins au voisinage du point.

On distingue:

- une onde annuelle et une onde semi-annuelle, dues au mouvement du soleil en déclinaison;
- des ondes mensuelles, ou à peu près mensuelles, et des ondes semi-mensuelles, ou à peu près, dues aux mouvements en déclinaison et en phase de la lune;
- des ondes diurnes, ou à peu près journalières, et des ondes semi-diurnes, dues à la rotation de la terre sur elle-même. Dans le cas de propagation par faibles profondeurs, ces ondes entraînent l'apparition de leurs harmoniques tiers-diurne, quart-diurne, etc.

On considère aussi l'existence d'ondes extra-astronomiques dues aux conditions météorologiques: dans le cas de la côte de CASAMANCE il existe probablement une onde annuelle due aux déplacements à peu près réguliers des grandes zones cycloniques et anti-cycloniques d'AFRIQUE et de l'Océan Atlantique.

A ces variations régulières du niveau de la mer, qui peuvent faire l'objet d'une prédiction précise pour une pression barométrique de 1 015 mb, s'ajoutent des variations accidentelles dues aux variations de la pression atmosphérique (une hausse de pression de 10 mb provoque une baisse du niveau de la mer de 10 cm, une baisse de pression provoque une hausse du niveau) et aux violents coups de vents de durées assez longues (qui peuvent provoquer des variations de niveau de plusieurs décimètres, et même supérieures au mètre, sur quelques marées successives).

Partie maritime d'un fleuve

L'onde marée qui se produit devant l'embouchure d'un fleuve donne naissance à une onde dérivée qui remonte le fleuve vers l'amont. Il s'agit alors d'un phénomène hydraulique beaucoup plus complexe que celui de la marée qui est à son origine, car le débit fluvial, la pente et la forme du lit interviennent.

On appelle partie maritime d'un fleuve celle qui s'étend de l'embouchure jusqu'au point où les plus fortes marées, pendant les périodes d'étiage du débit fluvial, cessent de se faire sentir.

L'amplitude de la marée diminue en principe lorsque l'onde remonte vers l'amont: car cette amplitude est proportionnelle à la racine carrée de l'énergie que possède l'onde et qui diminue par frottement pendant sa translation. Cependant un resserrement des rives peut provoquer localement des amplitudes de marées supérieures à celles qui s'observent dans le bassin élargi à l'aval.

• Comme nous connaissions à priori l'existence d'ondes de moyenne et de longue durée, plus ou moins masquées sur les enregistrements par les ondes semi-diurnes, nous avons cherché à les déterminer en éliminant les ondes de périodes inférieures à celles du groupe étudié.

Quelques enregistrements en temps de rotation de 32 heures ont été effectués à toutes les stations (sauf DIOGUE). Nous les avons planimétrés entre marées basses consécutives (les heures des marées basses sont relativement plus faciles à déterminer) et avons vérifié qu'en moyenne, à chaque station, au centimètre près par défaut ou par excès suivant les jours, le niveau moyen journalier (plus exactement le niveau moyen compris entre trois marées basses consécutives, ce qui correspond à un laps de temps moyen de 24 h 50 mn, double de la période de l'onde semi-diurne lunaire qui est l'onde d'amplitude prépondérante) pouvait s'écrire:

$\frac{1}{2}$ ($\frac{1}{2}$ hauteur première marée basse + hauteur marée haute suivante + hauteur marée basse suivante + hauteur marée haute suivante + $\frac{1}{2}$ hauteur marée basse suivante).

Pour simplifier, nous avons choisi comme niveau moyen journalier, éliminant les composantes diurnes, semi-diurnes et leurs harmoniques, la valeur moyenne des quatre hauteurs de marées du jour calendaire, en prenant la première marée du jour suivant pour compléter dans le cas où il n'y a que trois marées dans le jour calendaire.

• Pour éliminer les composantes mensuelles et semi-mensuelles nous avons établi les moyennes mobiles de 29 jours consécutifs (une lunaison) centrées sur les 4, 15 et 25 de chaque mois.

Marée annuelle et semi-annuelle

Les ondes de périodes inférieures ou égales au mois ayant été éliminées comme expliqué ci-dessus, il apparaît une forte marée annuelle à toutes les stations. Elle doit aussi exister à DIOGUE, mais nous ne pouvons l'y déterminer faute d'enregistrements assez longs.

Cette marée a la même allure pour toutes les stations et sur la figure 7 nous avons représenté les variations des moyennes mobiles de 29 jours des stations de ZIGUINCHOR, BAGANHA, KAOUR, HAMDALAYE, SEFA, MARSASSOUM et BONA, car même à SEFA et à BONA les débits fluviaux sont relativement très faibles par rapport aux débits de marée.

Elle est très dissymétrique: minimum en janvier-février, maximum en septembre-octobre et résulte de la combinaison de l'onde solaire annuelle et de l'onde météorologique annuelle avec une onde solaire semi-annuelle d'amplitude moins importante, compliquée de quelques variations aléatoires.

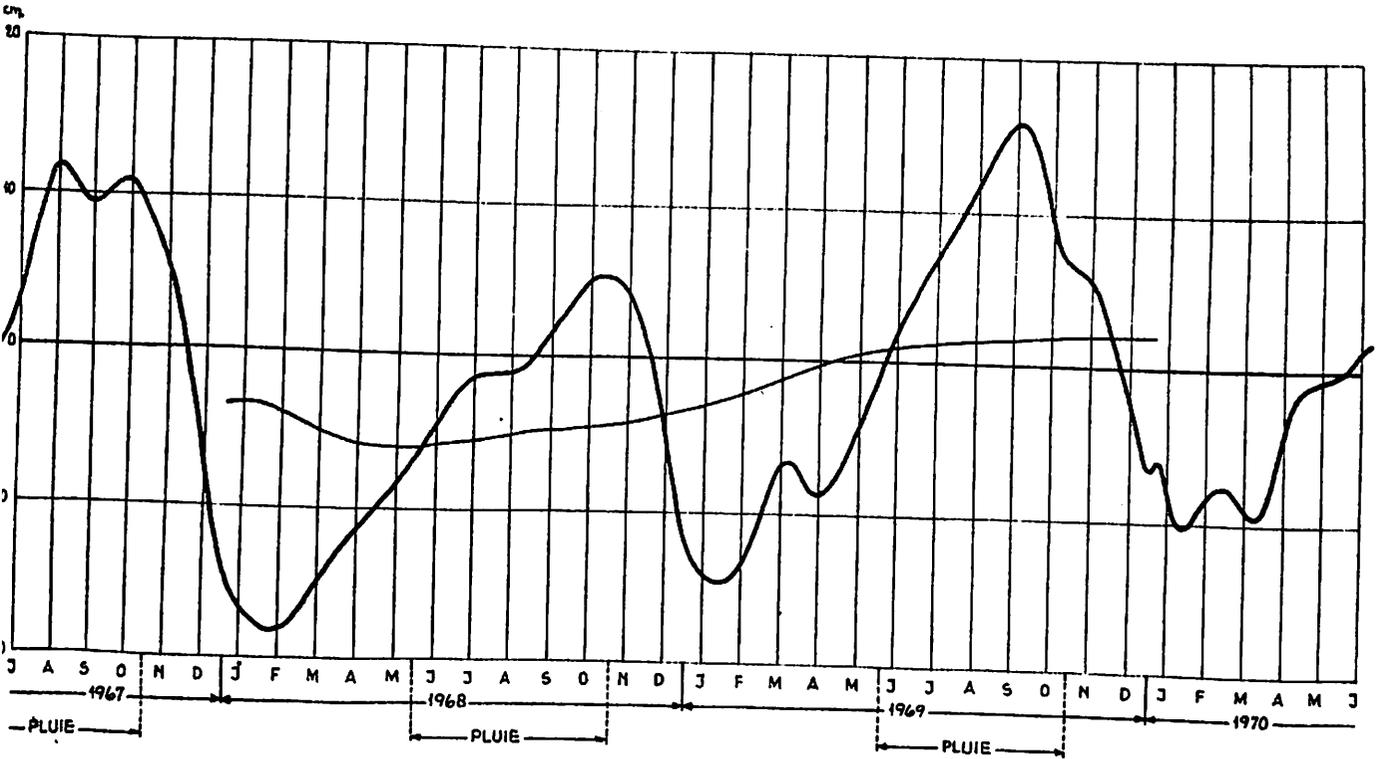
L'amplitude de la marée annuelle résultante varie relativement peu. La figure 8 montre les variations de cette amplitude en 1968 et en 1969 (amplitude annuelle des moyennes mensuelles) en fonction de la distance à ZIGUINCHOR.

Niveau moyen

On peut définir un niveau moyen annuel comme moyenne des niveaux moyens journaliers de 365 jours consécutifs ou comme moyenne des niveaux moyens mensuels de 12 mois consécutifs; c'est ce que nous avons fait sur la figure 7 où nous avons reporté la moyenne mobile de 12 mois consécutifs.

En fait le niveau moyen ainsi défini montre les mêmes variations concomitantes et de mêmes amplitudes à toutes les stations, l'amplitude étant de 6 cm. Nous pensons que ces variations interannuelles du niveau moyen sont d'un caractère surtout aléatoire, car on rencontre des variations du même type et du même ordre de grandeur sur toutes les mers du globe. Seule une faible part de ces variations pourrait s'expliquer par des ondes astronomiques de longues périodes: révolution du périégée lunaire (8,86 ans) du noeud ascendant lunaire (18,6 ans voisine du saros de 18,03 ans).

MAREE ANNUELLE



MAREE SEMI-MENSUELLE

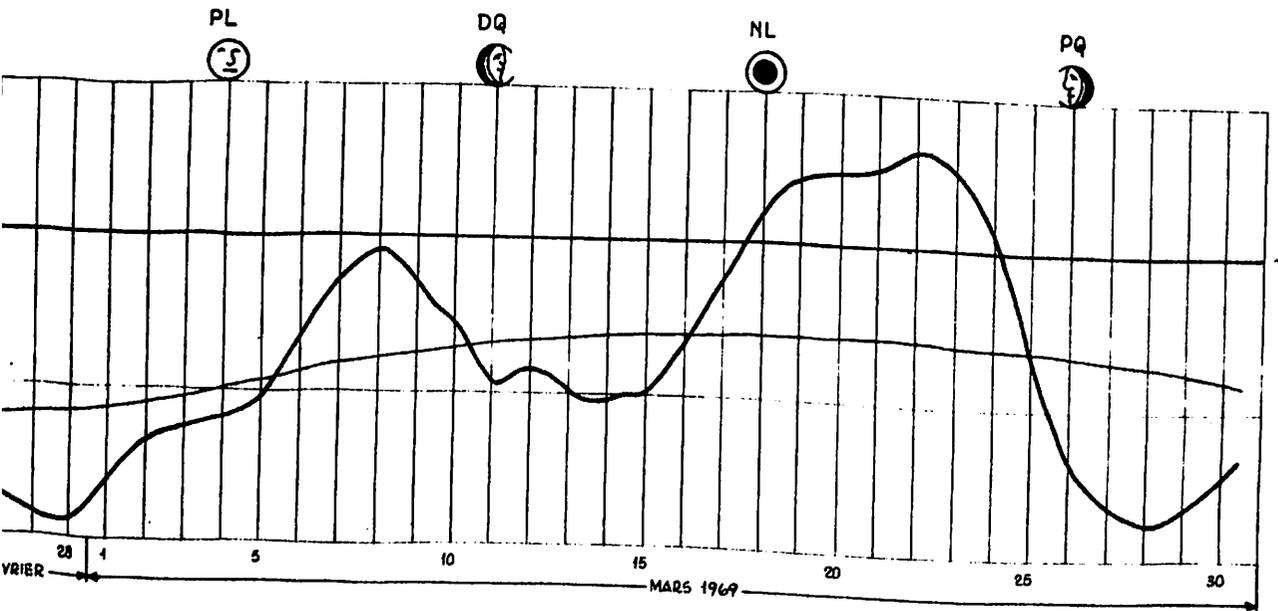


FIG. 7

AMPLITUDES DIVERSES DES MAREES

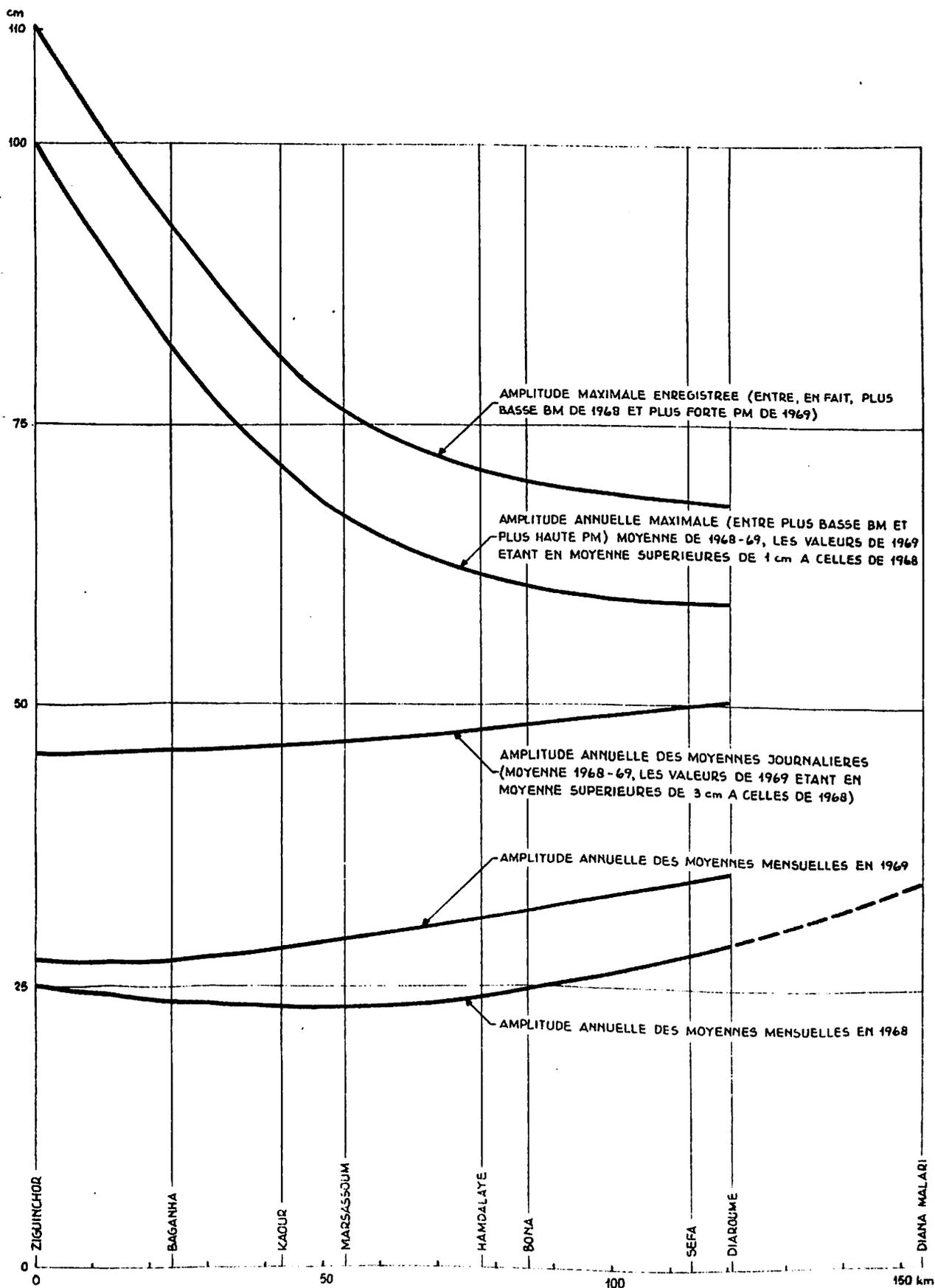


FIG. 8

Quoi qu'il en soit, le niveau moyen pour deux ans d'observations s'établit comme suit aux stations.

	Ziguinchor	Baganha	Kaour	Hamdalaye	Sefa	Diana Malari	Marsassoum	Bona	Diaroume
Cote IGN du zéro de l'échelle (m)	0,600	0,397	0,589	0,780	0,011	0,240		0,944	0,873
Niveau moyen en hauteur échelle (m)	0,57	0,56	0,45	0,36	1,15	0,86	0,52	0,37	0,52
Niveau moyen en cote IGN (m)	1,17	0,96	1,04	1,14	1,16	1,20		1,31	1,39

Le niveau moyen à DIANA MALARI n'est pas très précis, car il est basé sur des comparaisons, avec les autres stations, des niveaux moyens de Décembre à Juillet, la crue fluviale modifiant trop les niveaux du mois d'Août à Novembre.

Le niveau moyen à DIAROUME n'est pas très précis à cause des incidents de fonctionnement de l'enregistreur en 1969.

o La cote IGN du niveau moyen à ZIGUINCHOR nous a vite semblé extraordinaire par rapport aux cotes des niveaux moyens aux autres stations, si bien que allers et retours de rattachement des échelles aux bornes IGN ont été multipliés en 1967, 1968 et 1969 à ZIGUINCHOR, HAMDALAYE et DIANA MALARI (seules stations pour lesquelles le macaron IGN est à moins de 10 km de l'échelle) à titre de vérification.

9 Nous n'osons rien conclure sur l'évolution de la cote du niveau moyen en fonction de la distance à ZIGUINCHOR, où les plus basses marées basses enregistrées sont à la cote 0,60 m IGN, alors que les plus hautes marées hautes à DIOGUE, les mêmes jours, ne semblent pas atteindre une hauteur de 0,6 m au-dessus du niveau moyen interannuel de la mer (ce niveau moyen étant la définition du zéro du nivellement IGN). Il semblerait que le nivellement homologué par l'IGN pour la CASAMANCE comporte des erreurs qui expliqueraient les anomalies constatées.

Marée mensuelle et semi-mensuelle

Un simple regard sur les enregistrements hebdomadaires montre l'existence d'une forte marée semi-mensuelle. Elle se produit de la même façon à toutes les stations, et se manifeste aussi à DIOGUE où d'après les quatre mois d'enregistrements que nous avons, elle serait un peu plus forte qu'en amont.

Nous donnons en figure 7 un exemple de marée semi-mensuelle. Cette courbe a été établie en moyennant chaque jour l'ensemble des hauteurs journalières moyennes des stations de ZIGUINCHOR, BAGANHA, KAOUR, HAMDALAYE, SEFA, MARSASSOUM et BONA. Nous avons reporté sur ce graphique et à la même échelle, la variation du niveau moyen de 29 jours consécutifs déjà représenté sur la figure 7 aussi.

L'amplitude d'une marée semi-mensuelle varie relativement peu en remontant le fleuve. Sa vitesse de translation est difficile à mettre en évidence. Il semble qu'elle mette un jour pour aller de ZIGUINCHOR à DIANA MALARI.

Pour étudier l'amplitude de la marée semi-mensuelle nous avons tenu compte à chaque station de l'évolution de la marée annuelle, mais nous ne nous sommes intéressés qu'à la plus forte des deux marées de chaque mois.

La figure 9 résume nos conclusions d'étude de la marée semi-mensuelle et semi-diurne. Il est remarquable que les amplitudes maximales de la marée semi-mensuelle soient, de ZIGUINCHOR à SEFA ou à DIAROUME, presque identiques aux amplitudes de la marée annuelle en 1969 et que l'amplitude minimale de la plus forte marée semi-mensuelle de chaque mois soit de 10 cm à toutes les stations.

En 1968 et en 1969 les amplitudes maximales de la marée semi-mensuelle se sont produites pendant la marée basse de l'onde annuelle.

Nous représentons aussi sur cette figure, en fonction de la distance à ZIGUINCHOR, les amplitudes maximales constatées de la marée semi-diurne, son amplitude moyenne et son amplitude minimale constatée: ces trois amplitudes décroissent de ZIGUINCHOR vers l'amont.

En 1968 et en 1969 les amplitudes maximales de la marée semi-diurne se sont produites pendant la marée basse de l'onde annuelle.

Vives eaux et mortes eaux

Les jours de vives eaux sont ceux où les amplitudes des marées sont nettement supérieures à l'amplitude moyenne et adviennent en même temps que la nouvelle lune ou la pleine lune. Les jours de mortes eaux sont ceux où les amplitudes des marées sont nettement inférieures à l'amplitude moyenne, et correspondent au premier ou au dernier quartier.

Sur les côtes océaniques les différences entre les amplitudes de vives et de mortes eaux sont très importantes.

AMPLITUDE MAXIMALE, MOYENNE, MINIMALE

DE LA PLUS FORTE, PAR MOIS, DES DEUX MAREES SEMI-MENSUELLES

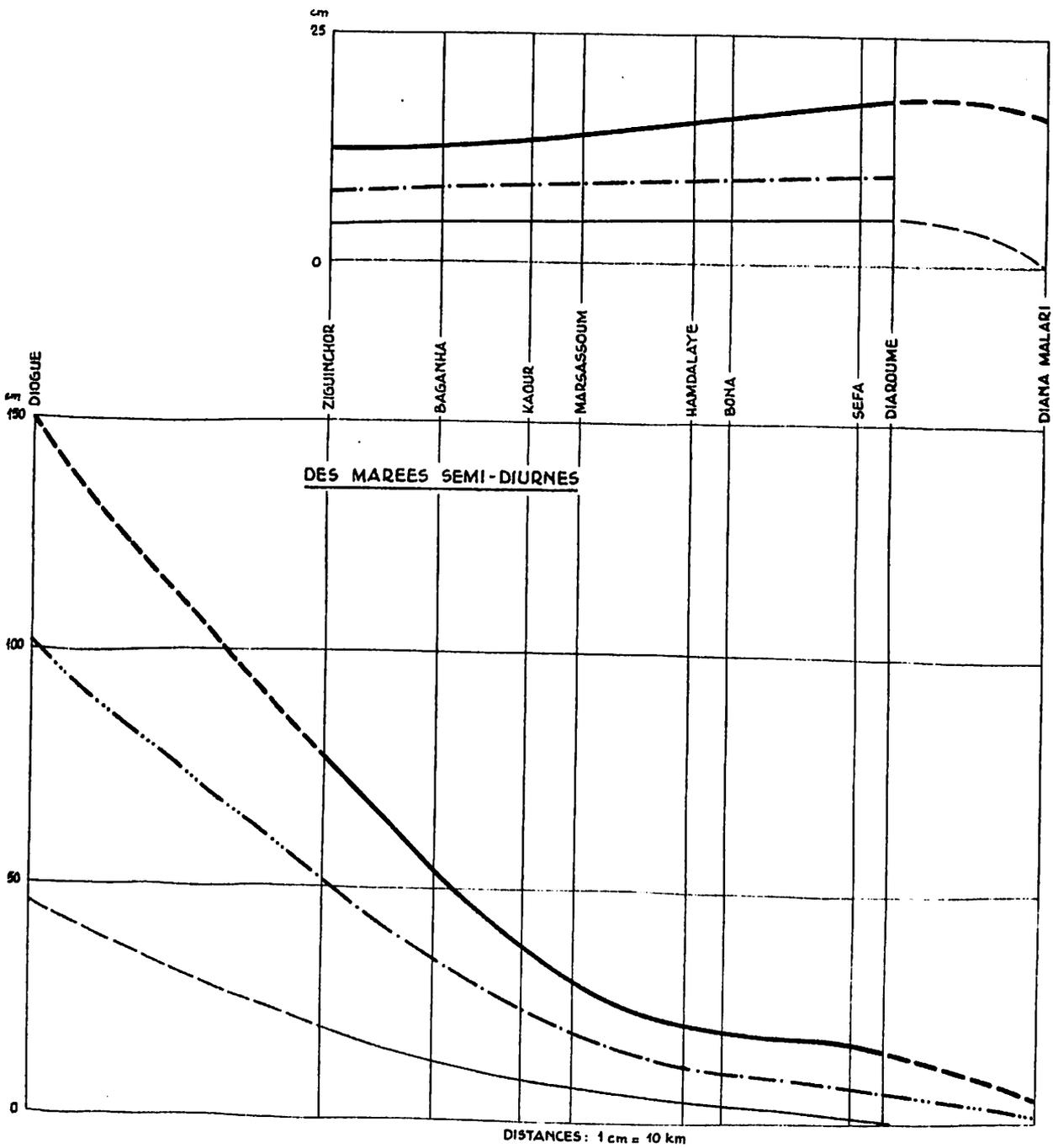


FIG. 9

Sur la figure 10 nous avons reporté quelques moyennes journalières d'amplitudes des marées à ZIGUINCHOR et à BAGANHA: on y voit bien les vives eaux de la pleine lune et les mortes eaux du premier quartier; les vives eaux de la nouvelle lune et les mortes eaux du dernier quartier sont moins bien marquées. La différence relative entre les amplitudes de mortes eaux et de vives eaux est presque aussi forte à ZIGUINCHOR qu'à DIOGUE. Elle est déjà bien atténuée à BAGANHA et diminue encore, surtout en valeur absolue, en allant vers l'amont.

Amplitudes maximales possibles de variation de niveau

Aucune des ondes marées composées que nous avons étudiées n'est réellement symétrique, mais leurs amplitudes totales se répartissent, à très peu près, également vers le haut et vers le bas du niveau moyen correspondant, ainsi:

- pour l'onde annuelle de 1968 (cf figure 7) niveau moyen de 1968 à -06 cm, minimum à -18,5 cm, soit 12,5 cm sous le niveau moyen, maximum à +05,5 cm soit 11,5 cm au-dessus du niveau moyen;
- pour l'onde semi-mensuelle de fin Mars 1969 (cf figure 7) niveau moyen mensuel (du 25 Mars) à -06,5 cm, maximum de la marée à +06,5 cm, soit 13 cm au-dessus du niveau moyen, minimum à -18,5 cm, soit 12 cm sous le niveau moyen.

Nous avons une collection suffisante de marées semi-diurnes à chaque station pour pouvoir penser que leurs amplitudes maximales possibles ne sont pas supérieures à 1,05 fois les valeurs maximales de la figure 9 (en amont de ZIGUINCHOR)..

Et nous avons une collection suffisante de marées semi-mensuelles pour penser que leurs amplitudes maximales possibles à chaque station ne peuvent dépasser 1,1 fois les valeurs maximales de la figure 9.

Mais la variation de l'amplitude de la marée annuelle semble relativement importante, ainsi que la variation du niveau moyen annuel, si bien que l'amplitude maximale entre le niveau de la plus basse marée basse possible et le niveau de la plus haute marée haute possible n'est pas connue. Ce fait est illustré par la figure 8 où nous avons reporté, d'une part, la moyenne des amplitudes maximales annuelles (de 1968 et de 1969), d'autre part, les amplitudes maximales relevées (entre la plus basse marée basse de 1968 et la plus haute marée haute de 1969), cette deuxième courbe étant 10 cm au-dessus de la première.

On peut penser que ces amplitudes maximales relevées ne seront qu'exceptionnellement dépassées, et de peu.

Le tableau à la page 28 donne en cotes IGN les cotes relevées des marées basses les plus basses (1968) et des marées hautes les plus hautes (1969). Ces cotes IGN ne forment pas un ensemble cohérent mais dépendent des cotes des macarons de rattachement des diverses stations:

AMPLITUDES JOURNALIERES MOYENNES

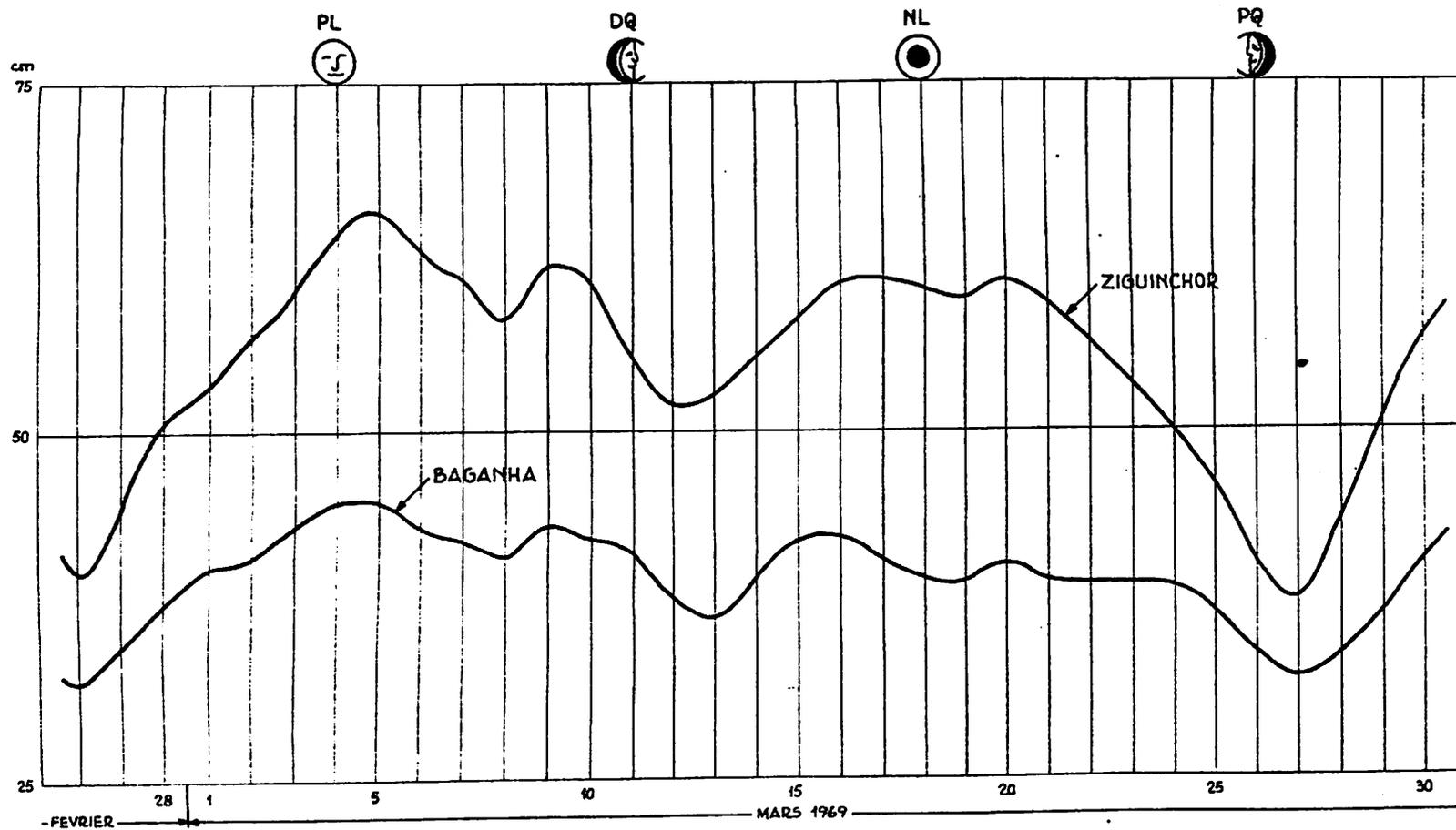


FIG. 10

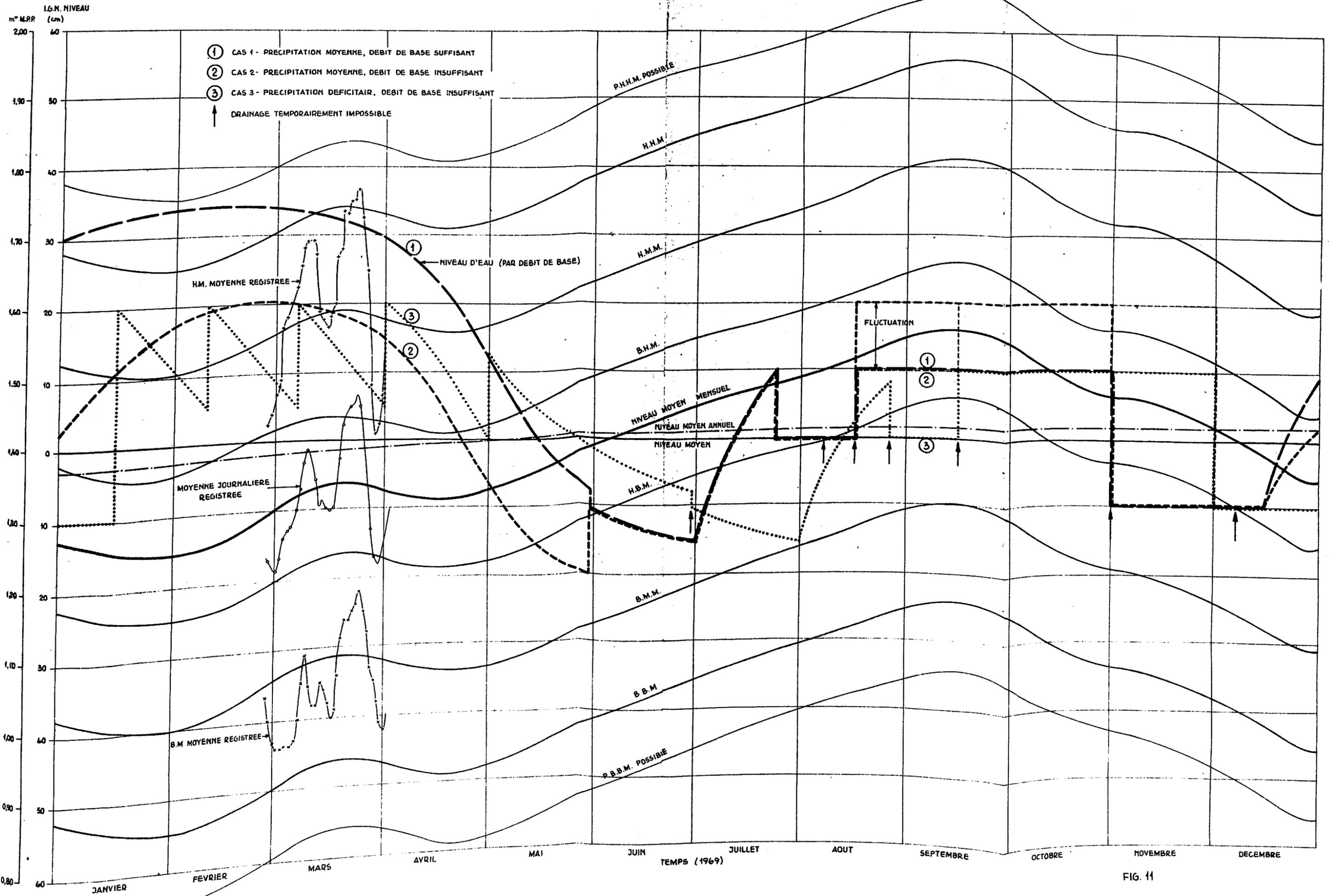


FIG. 11

Tableau des niveaux des marées extrêmes

Vallée	Site	Saison	Hautes mers			Basses mers			Hautes mers moyennes	
			rap. H tabl.5	tome 5	ORSTOM à l'emb.	rap. H tabl.5	tome 5	ORSTOM à l'emb.	tome 5	ORSTOM à l'emb.
<u>NIASSA</u>										
	Médina	sèche	1,44	-	-	0,82	-		1,44	
		pluie	1,80	-	-	1,60	-			
	Kamobeul	sèche	1,52	1,60	-	0,73	0,80		1,44	
		pluie	1,75	1,80	-	1,20	1,25			
<u>GUIDEL</u>										
	Niaguiss	sèche	1,32	1,40		0,85	0,90		1,32	
		pluie	1,70	1,66		1,35	1,26			
<u>CASAMANCE</u>										
	Ziguinchor	sèche			1,65		0,85			1,50
		pluie			1,96		1,15			1,82
	Baganha	sèche			1,52		0,99			1,42
		pluie			1,84		1,29			1,74

Niveaux d'ILACO déterminés au 10-11 d'Août 1963, y compris l'influence des débits fluviaux.

Niveaux d'ORSTOM déterminés au 1967-70, utilisée 1969 l'année la plus défavorable.

- La figure 11 représente les divers niveaux d'eau.

1. Les niveaux d'eau moyens mensuels des marées à Ziguinchor dans l'année 1969. A l'aide des amplitudes analysées nous avons construit des lignes couvrant les niveaux maximum, moyens et minimum des hautes mers et des basses mers et aussi les niveaux maximum et minimum extrêmes.
2. Les niveaux souhaitables en amont des écluses pour trois alternatives (1, 2 et 3).

De cette figure il paraît qu'il y a la possibilité qu'à certains moments le drainage jusqu'à un niveau souhaitable n'est pas possible pendant quelques jours. Ou en certains cas le remplissage n'est pas possible jusqu'à un niveau souhaitable.

Dans notre exemple le drainage sera limité:

pour le cas 1. dans la période 1 Nov.-5/10 Déc. ou 8 Août-18 Août
 " " " 2. " " " 1 " -5/10 " " 8 " -18 "
 " " " 3. " " " 1 Déc.-5/10 " " 23 " -20 Sept.
 (aussi le drainage incidentel à la fin de Juin peut être limité pour le cas 3.).

Le remplissage peut être gêné:

pour le cas 1. néant parce que le remplissage n'est pas nécessaire
 " " " 2. " "
 " " " 3. à la fin d'Avril (et après 15 Janvier dépendant du niveau souhaitable et du moment).

- Les limitations sont valables normalement pour des durées de quelques jours pendant les périodes des mortes eaux, c'est-à-dire pendant les périodes correspondant au premier et dernier quartiers.

Pendant les vives eaux, les amplitudes de la nouvelle et pleine lune sont plus grandes, ce qui implique que les hautes eaux sont plus hautes et les basses eaux plus basses, et à ces moments le drainage ou le remplissage peut être effectué.

Ces limitations donc sont passagères mais elles peuvent retarder les manipulations envisagées de quelques jours.

- Pendant une crue exceptionnelle (dans le Niassa $73 \text{ m}^3/\text{s}$ et dans le Guidel $37 \text{ m}^3/\text{s}$) les niveaux en amont et en aval des écluses ne changent plus que quelques centimètres que ceux déterminés par ILACO pour un débit de fréquence une fois dans 50 ans.

- Le nouveau pont construit dans le Guidel un peu plus en aval du pont ancien ne donne aucune difficulté, le marigot ayant une section nette de 170 m^2 à l'axe du pont.

- Le stockage de l'eau douce en saison sèche pour une année normale peut faire monter le plan d'eau jusqu'à $1,90 + \text{MPP}$ dans la vallée de Niassa et jusqu'à $1,80$ dans la vallée de Guidel (voir page 16). La crête des vannes est fixée à $2,50 + \text{MPP}$ afin d'être en état de stocker les apports extrêmement hauts de l'eau douce.

- Dans le fleuve Casamance le niveau d'eau extrême est fixé à 2,08 + MPP. La crête des portes automatiques est déterminée à 2,50 + MPP.

- Dans la saison des pluies le passage d'une crue centenaire pourrait influencer le niveau d'eau en amont de l'écluse, dépendant des situations suivantes:

Nous supposons:

- a) un niveau initial de 1,50 + MPP;
- b) les crues qui passent sont triangulaires avec un débit de pique de 73 et 37 m³/s et une base de 6 et 5 jours respectivement (fig. 3 et 4).
- c) les capacités des écluses (complètement ouvertes) sont:

charge 0,03 m.	débit Niassa	62 m ³ /s.,	débit Guidel	32 m ³ /s.
0,10	110	"	59	"
0,18	150	"	79	"
- d) le stockage sera effectué entièrement sur la superficie des vallées (les rizières incluses).
- e) pour le stockage voir tableau en page 17.
- f) quatre situations seront considérées:
 - I Fluctuations des marées en aval avec amplitude minimum 20 cm et niveau moyen élevé 1,55 + (Août/Septembre)
 - II Fluctuations selon marée maximale et niveau moyen élevé (1,55 +)
 - III Fluctuations selon marée moyenne et niveau moyen moyen (1,40 +)
 - IV Fluctuations selon marée maximale et niveau moyen (1,40 +).

Les marées d'une amplitude minimale et niveau moyen élevé ont pour effet que la période de drainage et la charge dans l'écluse sont limités. La capacité d'évacuation est donc faible. Le volume à stocker dans la période où le niveau en aval est plus élevé et relativement grand.

Deux fois par jour théoriquement un volume d'environ 0,6 x 10⁶ m³ à 1,8.10⁶ m³ (fin deuxième jour) doit être stocké.

Ce volume fait monter le niveau dans les vallées ce qui signifie alors que la période de drainage peut commencer plutôt et sera étendue. Car pour les faibles amplitudes, même pour un niveau moyen élevé, les niveaux hauts sont limités; les niveaux dans les marigots sont également limités.

Pour les cas I et III, les niveaux estimés dans les marigots ne monteront qu'à environ 1,60 + MPP.

Dans les cas d'une marée d'une amplitude maximale, la période de drainage restera limitée et les volumes à stocker sont plus grands. Les niveaux dans les marigots monteront d'avantage. Pour le cas II nous estimons jusqu'à 1,70 + MPP et pour le cas IV quelques centimètres au-dessus de 1,60 + MPP. Les chiffres donnés ici doivent être traités à titre indicatif.

- Les niveaux et les fluctuations de niveau qui se produiront en réalité ne peuvent pas être prévus mais par un fonctionnement et une commande propres des écluses les niveaux dans les marigots peuvent être dominés dans des limites bien acceptables pour la riziculture;

- dans la saison de culture 1,50-1,70 + MPP,
- dans la période de drainage jusqu'à 1,30 + ou 1,25 +,
- dans la période de stockage de l'eau douce jusqu'à 2,50 +.

République du Sénégal
Ministère du Développement Rural
et de l'Hydraulique
Direction Générale de l'Hydraulique
et de l'Équipement Rural

Budget d'équipement 1974/1975
chap. 2/821 - Art. 4103-1.

ACTUALISATION ET REPRODUCTION DES DOSSIERS ILACO 1963/66

RELATIFS AUX VALLEES ET BARRAGES

DE NIASSA ET DE GUIDEL EN CASAMANCE

RAPPORT DE RECOLLEMENT

PARTIE 3

Etude des dispositifs complémentaires du génie
civil aux ouvrages dans les vallées de

Niassa et de Guidel

1 INTRODUCTION

Ce rapport constitue la troisième et dernière partie du rapport de recollement.

Il s'agit de l'étude des dispositifs complémentaires de génie civil aux ouvrages dans les vallées de Niassa et de Guidel.

Les conclusions de la partie 2 du rapport de recollement ("Actualisation des études hydrologiques et de l'étude de l'écoulement des crues très fortes") ne montrent pas d'importantes modifications dans l'interprétation du régime hydrologique des vallées de Niassa et de Guidel.

Le rapport hydrologique de mai 1965 et le rapport général de mars 1966 restent donc la base pour la conception des ouvrages du génie civil.

Pendant l'étude de l'écoulement des crues très fortes a indiqué que l'effet de la construction d'une digue fusible dans le barrage de Niassa est à considérer.

En outre, plusieurs parties des ouvrages ont été complétées et adaptées aux critères techniques plus récents, comme par exemple:

- Les vannes peuvent être maniées électriquement et manuellement.
- Les écrans en béton sous le fond des écluses sont remplacés par des files de palplanches en acier.
- L'enrochement du fond des canaux à côté des écluses est alourdi.
- L'armature du béton est simplifiée.
- L'enceinte de palplanches autour des fouilles de construction pour les écluses est remplacée par des petites digues de protection.

2 DESCRIPTION DES OUVRAGES

Les ouvrages à Niassa et à Guidel consistent en principe en les éléments suivants:

- Barrage dans le marigot.
- Dignes de raccordement (partiellement route existante à Niaguiss).
- Canal pour détourner le marigot.
- Ecluse munie des portes et des vannes.

(Voir les plans N1, N3, G1 et G3).

2.1 Barrages

Les barrages dans les marigots doivent être construits en sable. Les talus seront protégés contre l'érosion par une couche d'argile de 50 cm d'épaisseur. En outre, la partie située entre les niveaux des basses-eaux et de très fréquentes hautes-eaux sera protégée contre la houle et contre les excavations par les crabes par une couche de sacs de sable.

La fermeture des marigots sera exécutée suivant la méthode dite "seuil élevé". La hauteur définitive de la crête sera de 3 m + M.P.P.

2.2 Digues de raccordement

Les digues de raccordement doivent être construites en sable, avec un revêtement d'argile d'une épaisseur de 50 cm.

Les talus auront une pente de 1 : 3 et la largeur de crête sera de 3 m au minimum. La hauteur définitive de la crête sera de 2,75 m + M.P.P.

Pour la route existante de Niaguiss, voir par. 2.5.

2.3 Canaux

Les profils des canaux ont été déterminés de telle façon que les vitesses maximales ne dépasseront pas 0,5 m par seconde environ.

Les plus fortes vitesses se produiront aux écluses. Pour cette raison les talus et les fonds à ces endroits seront revêtus d'un fascinage en bois et d'un enrochement.

2.4 Ecluses

Les écluses consistent en une construction en béton armé munie des portes automatiques et des vannes glissantes en bois.

A Niassa, l'écluse aura 8 ouvertures, chacune d'une largeur de 4,45 m. L'écluse à Guidel sera munie de 4 ouvertures, chacune d'une largeur de 4,45 m.

Le seuil de l'écluse à Niassa est situé à 2,00 m - M.P.P. A Guidel le seuil est situé à 2,50 m - N.A.P. La maçonnerie des écluses atteint un niveau de 3,00 m + M.P.P. à Niassa aussi bien qu'à Guidel.

2.4.1 Portes automatiques

Les portes en bois pivotent sur un axe vertical sous la force hydraulique de l'eau.

Les portes s'ouvrent automatiquement quand le niveau d'eau en amont monte et elles se ferment automatiquement quand le niveau d'eau en aval devient plus élevé.

Par ce fonctionnement automatique l'entrée de l'eau salée est empêchée et l'évacuation de l'eau douce reste possible.

En principe, les portes arrêtent l'eau venant du côté du fleuve Casamance (les marées). Pour faire entrer l'eau de mer, les portes peuvent être bloquées en position ouverte.

Les portes sont munies de vannettes qui servent seulement pour rendre possible la manipulation des portes pendant la haute mer. Pendant la haute mer, les portes se trouvent fermées par la force hydraulique. Le niveau d'eau dans l'écluse, entre les portes et les vannes, reste plus bas qu'en aval de l'écluse. La dénivellation entre ces deux niveaux peut être redressée par l'ouverture des vannettes dans les portes. Au moment où le niveau d'eau des deux côtés des portes est en équilibre, les portes peuvent être ouvertes.

La cote supérieure des portes se trouve à 2,50 m + M.P.P.

2.4.2 Vannes glissantes

Les vannes peuvent être maniées électriquement ou manuellement et sont levées et baissées verticalement.

Bien que les vannes puissent arrêter l'eau des deux côtés de l'écluse, elles servent principalement à régler l'évacuation ou le stockage de l'eau douce de la vallée. En principe, elles arrêtent l'eau de l'amont.

Les vannes peuvent être ouvertes si la dénivellation entre le niveau d'eau des deux côtés ne dépasse pas les 50 cm.

La cote supérieure des vannes se trouve à 2,50 m + M.P.P.

Les débits qui sont évacués par une vanne, en fonction du degré d'ouverture et de la différence du niveau d'eau aux deux côtés de la vanne, sont indiqués dans les figures 1 et 2.

2.5 Digue-route de Niaguiss et pont sur le marigot de Guidel

La route existante de Niaguiss sera incorporée dans les ouvrages de fermeture de la vallée de Guidel.

Selon les informations disponibles le niveau de la nouvelle route se trouve à 3,05 m + M.P.P. (niveau de référence à vérifier). Ce niveau est plus élevé que la hauteur définitive de la crête des digues de raccordement (2,75 m + M.P.P.). Une inondation éventuelle sera alors concentrée sur les digues de raccordement. Cependant la fréquence d'inondation des digues à Guidel est négligeable (voir chapitre 3).

Le nouveau pont construit sur le Guidel ne donnera aucune difficulté, le marigot ayant une section de 170 m² à l'axe du pont, c'est-à-dire environ deux fois la section de l'écluse.

2.6 Vérification des cotes

Les cotes sont basées sur les plus hauts niveaux d'eau qui pourront se produire. Le niveau d'eau en aval pourrait monter, d'après la figure 11 du rapport de recollement partie 2, à 2,06 m + M.P.P. au maximum.

Le niveau d'eau en amont pourrait monter, d'après les figures 5b et 6 du rapport de recollement partie 2, à 1,76 m + M.P.P. à Niassa et à 1,69 m + M.P.P. à Guidel. Pendant une averse d'une fois par cent ans l'eau pourrait monter de quelques centimètres de plus.

Les cotes supérieures des portes et des vannes se trouvent à 2,50 m + M.P.P. La crête des digues de raccordement se trouve à 2,75 m + M.P.P. La réserve de sécurité dans les cotes des ouvrages est encore suffisante.

DEBIT EVACUE PAR VANNE A RIASSA

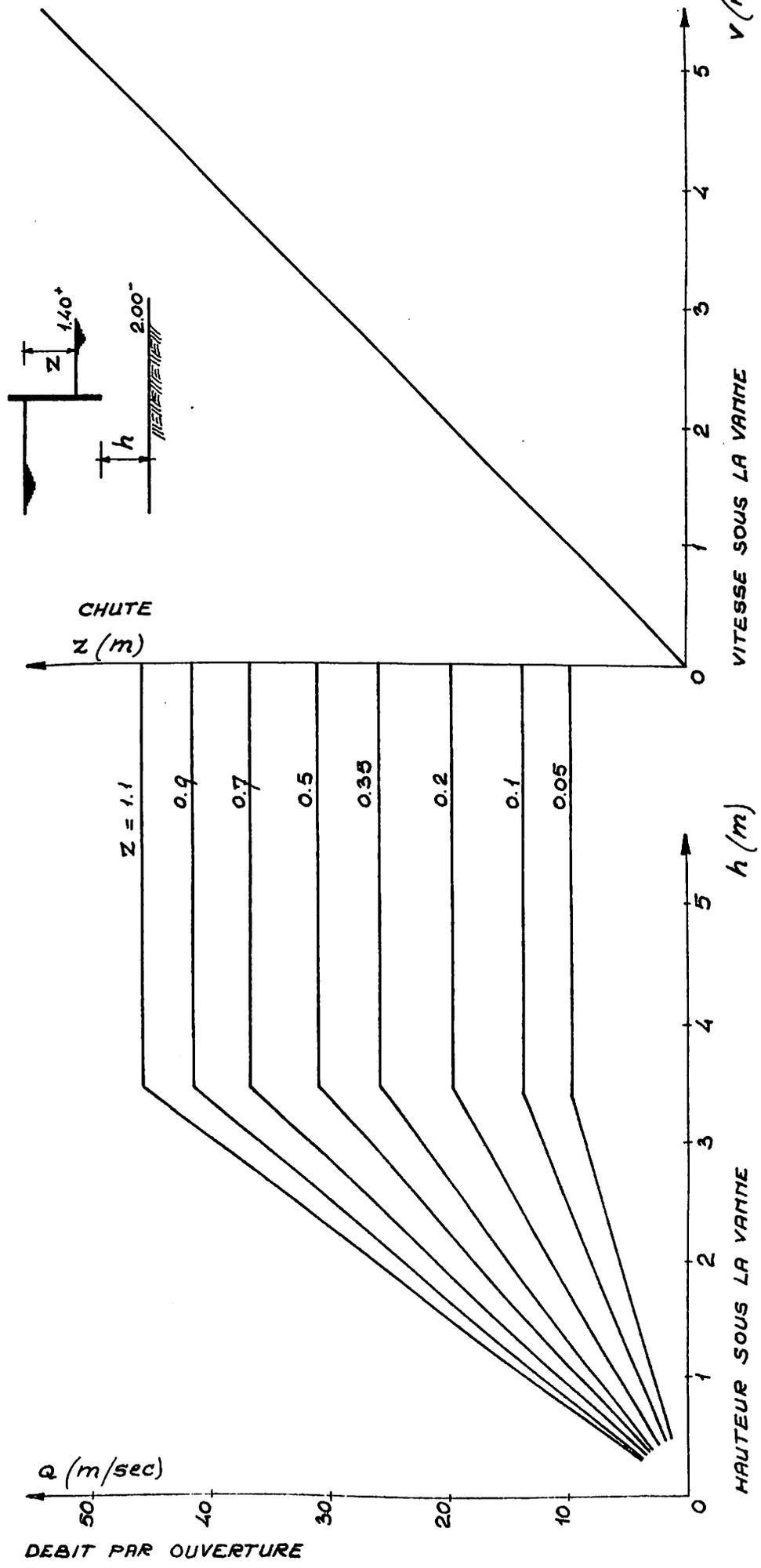


FIGURE 1

DEBIT EVACUE PAR VANNE A GUIDEL

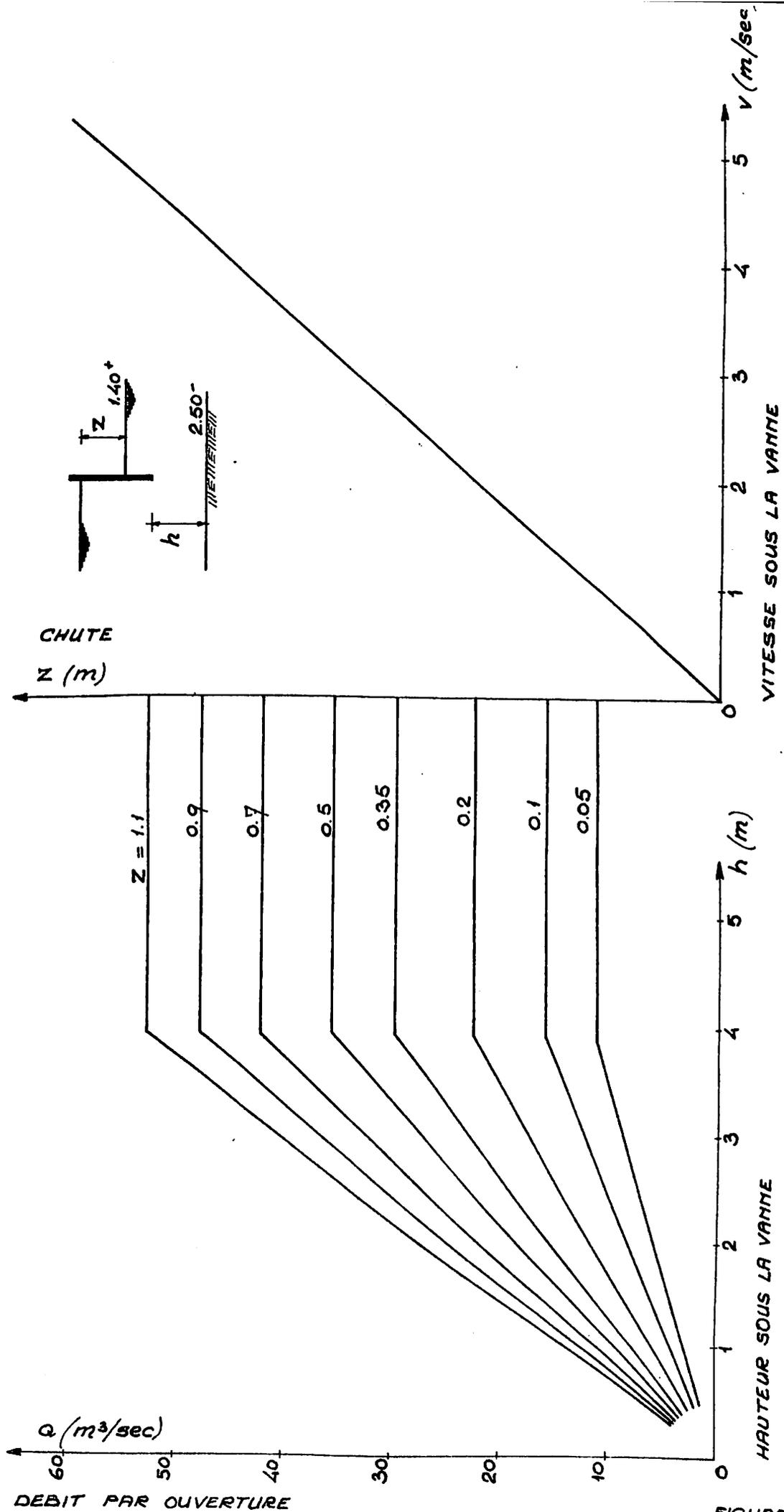


FIGURE 2

3 DISPOSITIFS EVENTUELS POUR L'ECOULEMENT DES CRUES TRES FORTES

L'effet de la construction des ouvrages est calculé pour l'évacuation d'un débit fluvial de $65 \text{ m}^3/\text{sec.}$ à Niassa et de $35 \text{ m}^3/\text{sec.}$ à Guidel; voir figures 5b et 6 de la partie 2 du rapport de recollement. Ces débits ont une période de récurrence d'environ 50 ans.

Les débits fluviaux d'une période de récurrence de 100 ans sont calculés à $73 \text{ m}^3/\text{sec.}$ et $37 \text{ m}^3/\text{sec.}$ respectivement. Ces débits provoqueront un relèvement du niveau d'eau de quelques centimètres et une augmentation des vitesses de quelques centimètres par seconde par rapport aux débits d'une fois par cinquante ans. Voir page 32 de la partie 2 du rapport de recollement.

Les dimensions et les cotes des ouvrages fixées en 1965 et basées sur les débits d'une période de récurrence de 50 ans, peuvent être maintenues, à l'exception de la cote supérieure de la protection des rives des canaux à Niassa, qui est fixée à $1,90 \text{ m} + \text{M.P.P.}$ au lieu de $1,70 \text{ m} + \text{M.P.P.}$ en 1965.

Si les vannes sont correctement réglées, il n'y aura aucun risque pour les ouvrages pendant une averse centennale de 240 mm.

Si au contraire les vannes ne sont pas ouvertes pendant une telle averse, l'eau en amont des écluses montera.

Supposant que le niveau d'eau en amont se trouve à $1,50 \text{ m} + \text{M.P.P.}$ au début de l'averse, l'eau montera à Niassa jusqu'au niveau de $2,50 \text{ m} + \text{M.P.P.}$, c'est-à-dire égal à la cote supérieure des vannes et même jusqu'au niveau de $2,75 \text{ m} + \text{M.P.P.}$, ce qui est égal à la crête des digues de raccordement.

A Guidel, par contre, l'eau n'atteindra pas la cote supérieure des vannes à cause du volume de stockage relativement plus élevé dans cette vallée.

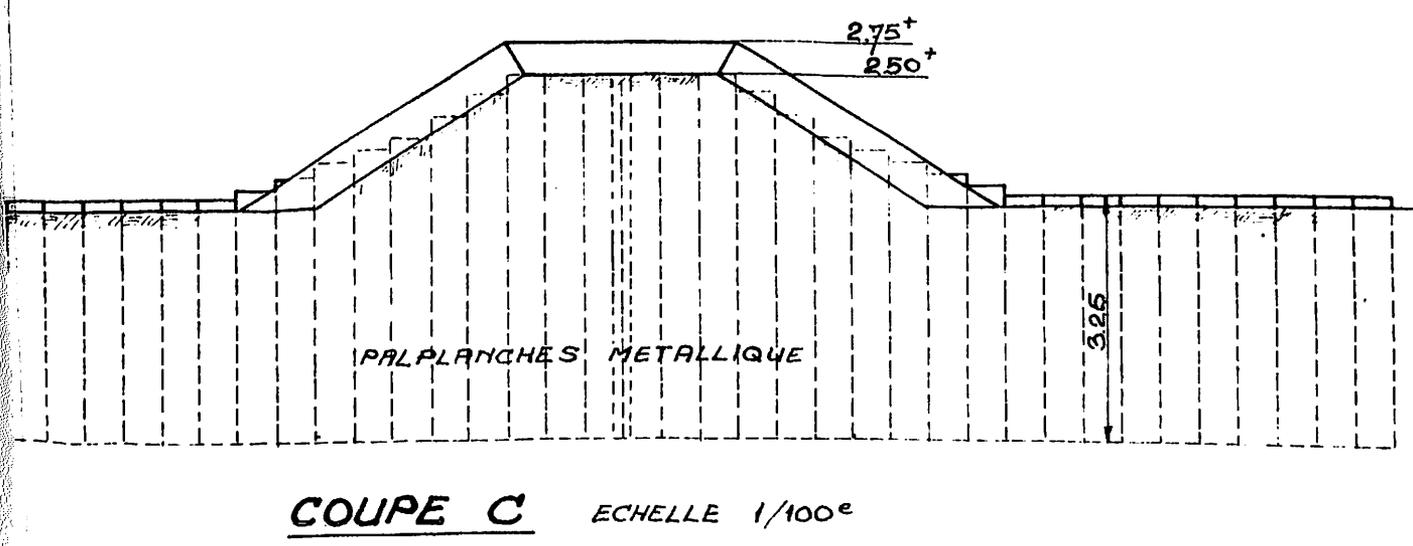
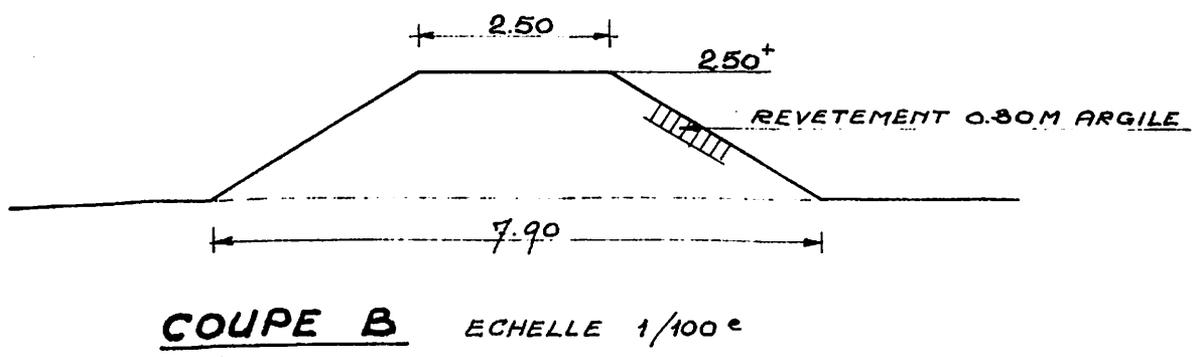
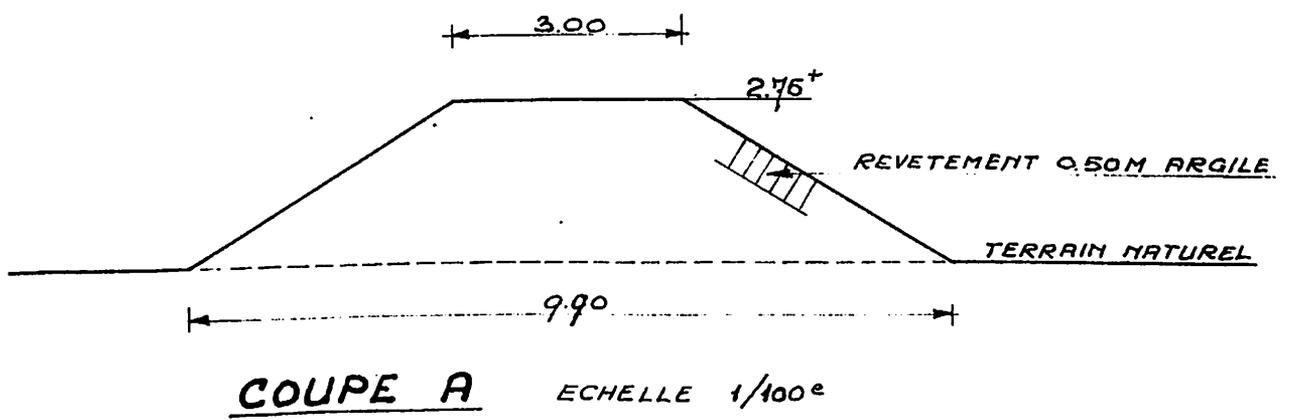
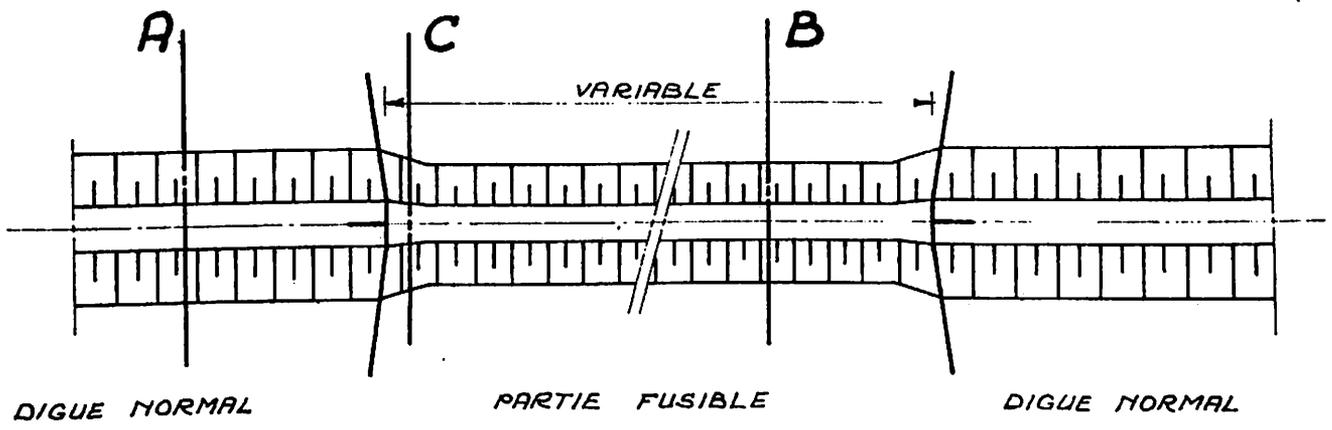
Pour la vallée de Niassa on pourrait envisager la construction d'une digue fusible. C'est-à-dire qu'une partie de la digue bien déterminée est construite avec une section de dimensions réduites et avec un niveau de crête un peu plus bas.

Quand une inondation se produit, une rupture éventuelle sera limitée à la digue fusible. Le reste de la digue et les autres ouvrages restent intacts. Une digue fusible type est indiquée sur les figures 3 et 4.

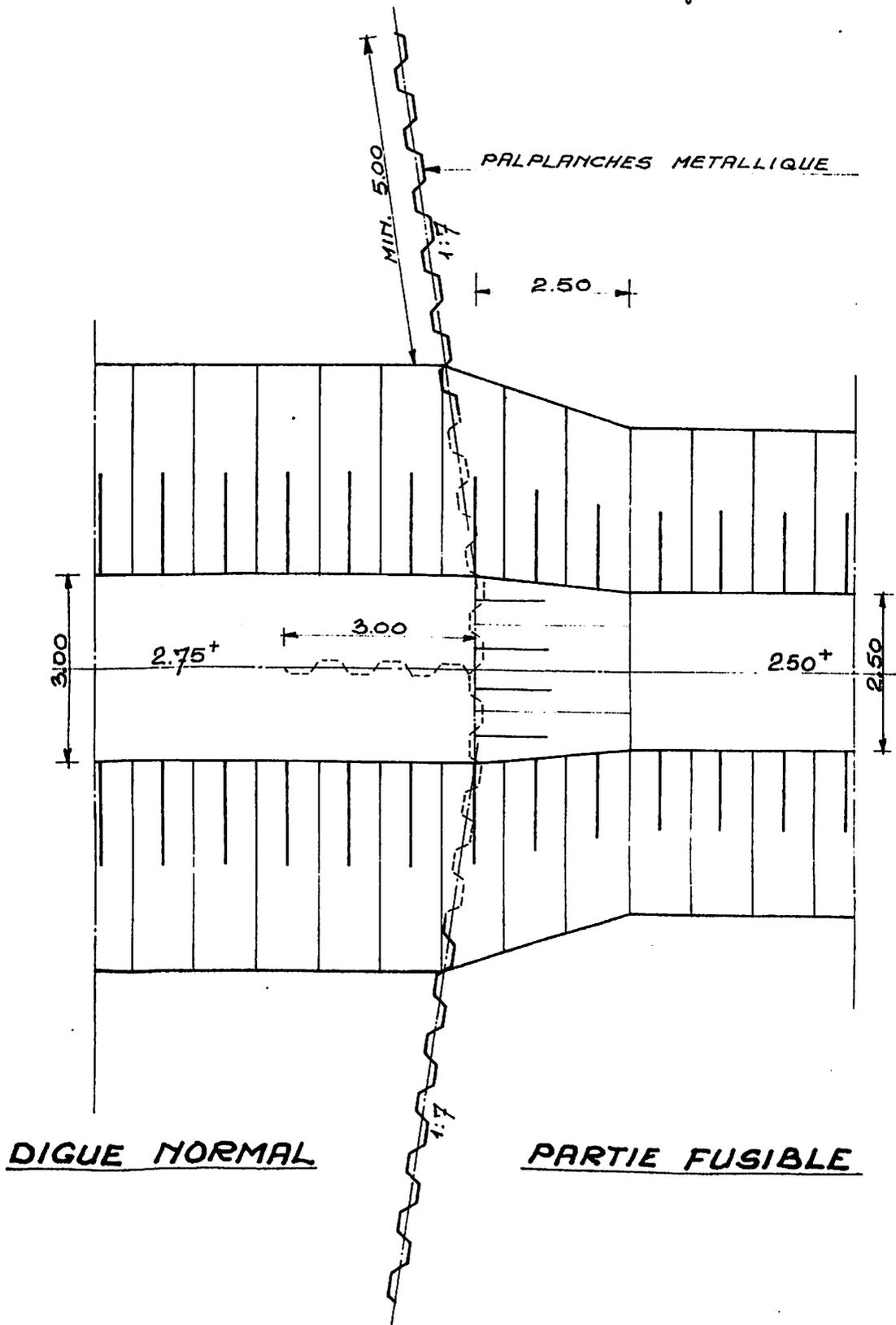
Etant donnée la forte invraisemblance d'une combinaison de plusieurs facteurs défavorables comme une averse de 240 mm et une fausse-manoeuvre de l'écluse, la construction d'une telle digue n'est pas absolument nécessaire et constituerait un degré de sécurité superflu.

De plus, la cote supérieure des vannes ($2,50 \text{ m} + \text{M.P.P.}$) est déjà moins élevée que le niveau de la crête des digues ($2,75 \text{ m} + \text{M.P.P.}$) de sorte que l'eau sera déjà évacuée en travers la crête des vannes avant de pouvoir submerger les digues.

Un abaissement de la cote supérieure des vannes n'est pas à conseiller quand on envisage une diminution du volume de stockage de l'eau douce.



DIGUE FUSIBLE



ECHELLE 1/100^e

DETAIL DIGUE FUSIBLE

4 DISPOSITIFS DE REGLAGE POUR LES VANNES

Le but principal des vannes est de retenir l'eau douce. Les vannes sont à manier suivant la saison afin de maintenir pour l'agriculture un niveau d'eau aussi constant que possible.

La conception originale des vannes prévoyait une manoeuvre des vannes uniquement au moyen d'une manivelle. Quoique ce soit un travail assez lourd, la manipulation à la manivelle serait suffisante pour des écluses constamment équipées. Si une écluse n'est pas gardée en permanence, cela peut entraîner des risques d'inondations lorsque les vannes doivent être ouvertes si une averse soudaine se produit.

Le niveau d'eau des marigots s'élèvera avec une telle vitesse, que les vannes ne peuvent pas être levées suffisamment vite pour éviter des inondations. Reste encore la question de savoir s'il y aura quelqu'un capable d'ouvrir manuellement les huit vannes à la suite.

Afin de diminuer les risques d'inondation et pour améliorer les conditions de travail il est prévu dans le cahier des charges une installation électrique pour la manipulation des vannes aussi bien à Niassa qu'à Guidel.

Nous avons choisi une installation très simple qui demande relativement peu d'entretien et dont l'opération est simple.

La simplicité de l'installation électrique nous a obligé à maintenir la durée d'ouverture d'une vanne à trente minutes, mais plusieurs vannes peuvent être ouvertes à la fois et la manipulation à l'aide d'une manivelle reste toujours possible.

Quoique l'on ait prévu l'installation électrique d'un groupe électrogène de puissance suffisante pour que, du point de vue énergie, chaque écluse soit autonome, il est préférable de raccorder les installations au réseau électrique et de garder le groupe électrogène en réserve pour les cas où une panne d'électricité se produirait. Les groupes électrogènes sont alors à soumettre à des épreuves hebdomadaires afin d'assurer un bon fonctionnement.

Le groupe électrogène sera installé dans un abri qui n'était pas prévu dans le projet original. Dans cet abri peuvent également être rangées toutes les autres parties de l'installation de traction ainsi que les outils qui font partie de l'équipement de l'écluse.

5 ADAPTATIONS AUX CRITERES TECHNIQUES PLUS RECENTS

5.1 Fouilles pour les écluses

Pour retenir les eaux des crues des rivières pendant la construction des écluses, on a prévu un rideau provisoire de palplanches métalliques autour des fouilles pour les écluses.

Puisque les eaux souterraines hors de l'enceinte de palplanches sont retenues par ce même rideau, la capacité des installations d'épuisement qui sont nécessaires pour l'assèchement des fouilles pendant les travaux de construction, peut être réduite.

La hauteur qu'un tel rideau de palplanches doit avoir pour sa stabilité et la longueur totale autour des fouilles donnent aux rideaux des dimensions assez importantes.

Etant donné que les palplanches métalliques doivent être importées et que les prix de l'acier ont été considérablement augmentés depuis dix ans, il est plus avantageux de remplacer les palplanches métalliques par des digues provisoires en terre et d'installer une plus grande capacité d'épuisement.

Seulement à Guidel à l'endroit où la fouille se trouve assez près de la rivière, il faut maintenir une protection plus importante. Ici il sera nécessaire de renforcer la digue provisoire par un rideau de palplanches métalliques.

5.2 Barrages dans les marigots

La construction des barrages dans les marigots se compose principalement d'un noyau couvert de sable.

Le noyau dans le barrage, qui doit être construit dans le marigot, sous forme d'un seuil qui se lève régulièrement sur toute sa longueur (= la largeur du marigot), a pour but de couper le courant de l'eau afin que le sable qui est refoulé ensuite contre ce seuil ne soit pas entraîné par le courant.

Le matériau proprement dit pour le barrage consiste en sable, le noyau étant un "corps auxiliaire".

Le dossier original prévoyait une construction du noyau du barrage entièrement en sacs en toile de jute remplis de sable. Le poids d'un sac rempli devait être environ 70 kg.

Ce poids de 70 kg a été adopté pour la maniabilité des pièces.

Une telle construction a été choisie pour sa simplicité. Les sacs en toile de jute peuvent être achetés sur le marché local; le sable provient des déblais.

Une solution alternative pour la construction des barrages consiste en un noyau fait en pierres et recouvert de sacs de sable. Le but des sacs remplis de sable est alors de fermer les vides entre les pierres pendant le refoulement du sable contre le noyau du barrage.

Les pierres ne sont pas entraînées par le courant, ce qui donne du battement dans le temps disponible pour effectuer la fermeture des marigots. Les pierres peuvent éventuellement être mises sur place à l'aide de bateaux.

5.3 Palplanches métalliques

Quand les portes ou les vannes d'une écluse sont fermées en retenant l'eau, l'eau du côté haut essaie de se trouver un chemin vers le côté bas, surtout le long des surfaces extérieures de la construction. Un tel courant d'eau pourrait provoquer une érosion du sous-sol, qui à

son tour pourrait provoquer un tassement incontrôlé de l'ouvrage d'art ou de la protection du fond des canaux.

On peut réduire et même éviter un tel courant d'eau souterraine par la création artificielle d'un allongement de son chemin, augmentant ainsi la résistance.

C'est alors qu'à Niassa sous le radier de l'écluse sont prévus des rideaux en béton à couler sur place. A Guidel ces rideaux seront formés de palplanches en béton.

Que le béton ait été choisi comme matériau pour ces rideaux s'explique surtout par sa grande résistance aux attaques de l'eau salée.

Mais les solutions choisies demandent une attention particulière pendant l'exécution. A Niassa, où l'écluse sera fondée sur le sable, il faudra d'abord enlever ce sable afin de pouvoir couler sur place les rideaux en béton armé. Les remblais à faire après le coulage de béton doivent ensuite être compactés soigneusement, car l'écluse sera fondée là-dessus.

Les palplanches en béton prévues à Guidel doivent être enfoncées très soigneusement pour que les joints soient imperméables.

A l'heure actuelle, l'application d'acier dans un milieu de l'eau salée sans courant d'eau et d'une teneur en oxygène qui baisse, est considérée au moins équivalente à celle de béton, pourvu que l'épaisseur de l'acier ne soit pas trop faible.

Compte tenu de cette considération et du désir de faciliter l'exécution, il a été décidé de remplacer les rideaux en béton à couler sur place et les rideaux en palplanches en béton par des rideaux en palplanches métalliques.

5.4 Armature

Sur les plans de constructions en béton l'armature relative aux longueurs de raccordement et au longueur d'ancrage a été adaptée aux règles modernes de calcul. Les crochets ont été supprimés, car il est préférable d'agrandir un peu la longueur de raccordement que d'appliquer des crochets, surtout lorsqu'il s'agit des grands diamètres.

5.5 Peinture

Dans le cahier des charges il était prévu que sur les constructions en acier seraient appliquées deux couches de plomb au minimum et trois couches de peinture bitumineuse, tandis que les surfaces des constructions en contact avec le béton ne devraient pas être peintes.

Il a été décidé de remplacer ces couches de peinture par quatre couches de peinture de deux composants à base de résine époxyde. Ces peintures ont une durabilité plus grande, surtout dans un milieu agressif.

Les constructions qui sont en contact avec le béton reçoivent seulement deux couches de peinture et les constructions qui sont partiellement à couler dans le béton sont à galvaniser à chaud. Sur les surfaces galvanisées et après un traitement supplémentaire de ces surfaces, les couches de peinture choisies sont facilement à appliquer, ce qui se fera alors pour les parties des constructions galvanisées hors du béton.

6 FONCTIONNEMENT DES ECLUSES

Les écluses ont pour but de dessaler les terres basses et de stocker de l'eau douce dans les vallées. Ça peut être réalisé par:

- le réglage des niveaux d'eau douce pendant la saison de culture, niveaux qui varient entre 1,30+, 1,40+ et 1,48+ (temporairement à 1,60+);
- le stockage des eaux douces dans l'après-saison, c'est-à-dire après la récolte, quand les apports du débit de base excèdent encore l'évaporation. Théoriquement, le niveau du plan d'eau n'est pas limité. Il faut stocker une quantité d'eau douce la plus grande possible. Dans la période où l'évaporation excède les apports d'eau douce, il est néanmoins souvent impossible de maintenir même le niveau minimum de 1,40 + M.P.P., ce qui dépend de la saison de pluie précédente et de l'évaporation. Le niveau minimum est fixé à 1,40 + relatif au tassement probable des terres de mangroves. Il est donc parfois nécessaire de faire entrer de l'eau salée pour maintenir ce niveau minimum désiré, le tassement étant plus important que la salinité;
- à la fin de la saison sèche un niveau plus bas de courte durée est permis, d'autant plus que le niveau pendant le labour des terres (juin-juillet) exige un niveau de 1,30 à 1,25 +. Dans cette période il est même possible qu'on doive drainer de l'eau douce;
- l'évacuation des débits de crue exceptionnels donne un rehaussement temporaire du niveau d'eau. Toutes les vannes doivent être ouvertes;
- le fonctionnement précis dépend de la saison de pluie précédente et du commencement de celle à venir. Il faut manipuler dans un tel sens afin d'éviter l'admission de l'eau salée.

Comme exemple du fonctionnement des écluses pendant la saison nous prenons le schéma numéro 1 du rapport de recollement, partie 1, figure 4.

L'exemple numéro 1 concerne une année d'une pluviométrie moyenne de 1.500 mm et un débit de base qui est suffisant pendant la saison sèche

- Début juin:

Les portes sont débloquentées; elles reprennent leur fonctionnement automatique. Par les forces hydrauliques elles sont ouvertes à marée basse et fermées à marée haute.

Les vannes glissantes sont ouvertes jusqu'à ce que la hauteur de l'eau en amont se trouve à 1,30 m + M.P.P., niveau favorable pour le labour. Ensuite les vannes sont fermées.

- Fin juillet:

Les portes fonctionnent toujours automatiquement.

Les vannes sont ouvertes jusqu'à ce que la hauteur de l'eau en amont se trouve à 1,40 m + M.P.P., niveau favorable pour le repiquage.

Pendant la période de repiquage, les vannes doivent être réglées d'une telle manière que le niveau d'eau en amont reste constamment à 1,40 m + M.P.P.

Le procédé de réglage des vannes dépend fortement des précipitations. En principe les vannes sont levées quand le niveau en amont est plus élevé que 1,40 m + M.P.P. et elles sont baissées quand le niveau d'eau en amont est plus bas que 1,40 m + M.P.P.

Pendant les averses les vannes sont à lever entièrement. Le niveau d'eau en amont peut dépasser le 1,40 m + M.P.P. pendant de fortes pluies. Voir partie 2 du rapport de recollement, figures 5a, 5b et 6.

- Mi-août:

Les portes fonctionnent automatiquement. Les vannes sont ouvertes jusqu'à ce que le niveau en amont se trouve à 1,48 m + M.P.P. Le réglage du niveau d'eau en amont (1,48 m + M.P.P.) se fait de la même manière que dans la période précédente.

- Fin octobre:

Les portes continuent à fonctionner automatiquement.

Les vannes sont ouvertes jusqu'à ce que le niveau d'eau en amont se trouve à 1,30 m + M.P.P., niveau favorable pour la récolte.

Ce niveau est maintenu par le réglage du degré d'ouverture des vannes.

- Mi-décembre:

Pendant la saison sèche les vannes sont entièrement fermées. Tout le débit de base est accumulé en région basse afin de conserver le plus d'eau douce possible dans les vallées.

Dans le cas où, pendant la saison sèche, le débit de base est insuffisant, la réserve d'eau douce sur les terres basses sera fortement diminuée par l'évaporation. Le plan d'eau s'abaisse en dessous de la surface du sol. A ce moment le danger de tassement va se présenter et il sera nécessaire de laisser entrer l'eau de mer.

Le niveau minimal du plan d'eau déterminant cette opération est d'environ 1,40 m + M.P.P.

L'entrée de l'eau de mer peut être réalisée en bloquant les portes de l'écluse en position ouverte et en levant entièrement ou partiellement les vannes. Au moment où les portes se trouvent fermées par suite des hauts niveaux d'eau sur leur face extérieure, les vannettes dans les portes sont ouvertes afin de remplir l'espace entre les portes et les vannes. Du moment que le niveau d'eau des deux côtés des portes est le même, on peut ouvrir et bloquer les portes. Ensuite les vannes glissantes sont ouvertes.

2000