

Etude des marées dans le fleuve Casamance

YVES BRUNET-MORET

Ingénieur hydrologue de l'O.R.S.T.O.M.

Résumé

L'onde de la marée remonte dans le fleuve Casamance jusqu'à plus de 200 km de son embouchure. L'étude de la propagation de la marée pendant deux années consécutives a montré que l'amplitude des ondes semi-diurnes s'amortissait rapidement en remontant vers l'amont mais que les amplitudes des ondes semi-mensuelles et annuelles restaient presque constantes et importantes tout le long du fleuve.

1. Généralités théoriques

1.1. Principe

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.

1.2. Ondes composées

Les ondes de plus fortes amplitudes le long d'une côte sont en général les ondes semi-diurnes et diurnes. Elles se composent pour former les marées hautes et basses, les différences de périodes entraînant des inégalités dans les amplitudes des marées journalières: par exemple, à Diogué, ont été enregistrées les hauteurs à l'échelle des marées basses et hautes:

Date		Hauteurs (cm)			
31 décembre 1967	NL	38	159	33	175
1 ^{er} janvier 1968		33	152	30	172
7 —	PQ	149	55	128	68
8 —		138	72	130	73

1.3. Variations accidentelles

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).

1.4. 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.

1.5. Propagation théorique de l'onde marée semi-diurne

En assimilant l'onde marée pénétrant dans le fleuve à une onde de translation, sa vitesse de propagation est dans une section donnée: $\sqrt{g(H+h)} - u$ (vitesse maximale possible,

avec g : intensité de la pesanteur,

H : profondeur moyenne dans la section pour $h = 0$,

h : hauteur de l'onde,

u : vitesse moyenne dans la section, du débit d'eau douce.

On voit d'après cette formule, que la vitesse de propagation de l'onde marée (qui n'est pas la vitesse du courant de marée) est maximale à marée haute et minimale à marée basse, d'où une déformation systématique de l'onde qui perd la forme quasi-sinusoidale qu'elle avait à l'embouchure (cf. fig. 1). En principe la durée du montant diminue, celle du perdant augmente lorsqu'on va vers l'amont.

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.

1.6. Prépondérance du jusant

Les courants qui s'observent dans la partie maritime d'un fleuve sont les résultats des courants variables qui accompagnent l'onde marée et du courant dû au débit fluvial. La prépondérance du jusant (vers l'aval) sur le flot (vers l'amont) augmente avec la diminution de l'amplitude de la marée, jusqu'à un point, variable en position suivant l'importance du débit fluvial, en amont duquel il ne subsiste que du jusant d'intensité variable avec l'heure de la marée. Tant qu'on observe la renverse des courants, le flot s'établit toujours après le moment de la marée basse et dure, pour une onde marée déterminée, de moins en moins longtemps lorsqu'elle remonte le fleuve, si bien que le jusant qui, vers l'embouchure, s'établissait après le moment de l'étale de marée haute, arrive en amont à s'établir avant même cette étale.

2. Stations de marégraphie en CASAMANCE

2.1. Casamance maritime

La partie maritime du fleuve Casamance s'étend de son embouchure à Diana-Malari sur le fleuve lui-même soit sur 217 km et sur son affluent principal le Songrougrou jusqu'à Diaroumé (à 86 km du confluent et 184 km de l'embouchure).

Dans cette partie le fleuve est en fait une ria ennoyée par la transgression flandrienne. La vallée avait été surcreusée dans les formations sablo-argileuses du Continental Terminal lorsque le niveau océanique était beaucoup plus bas, ce qui explique la largeur du lit. Après l'ennoyage s'est produite une sédimentation importante lors d'épisodes plus pluvieux que maintenant car à l'heure actuelle les transports solides du fleuve proprement dit et de ses affluents semblent peu abondants.

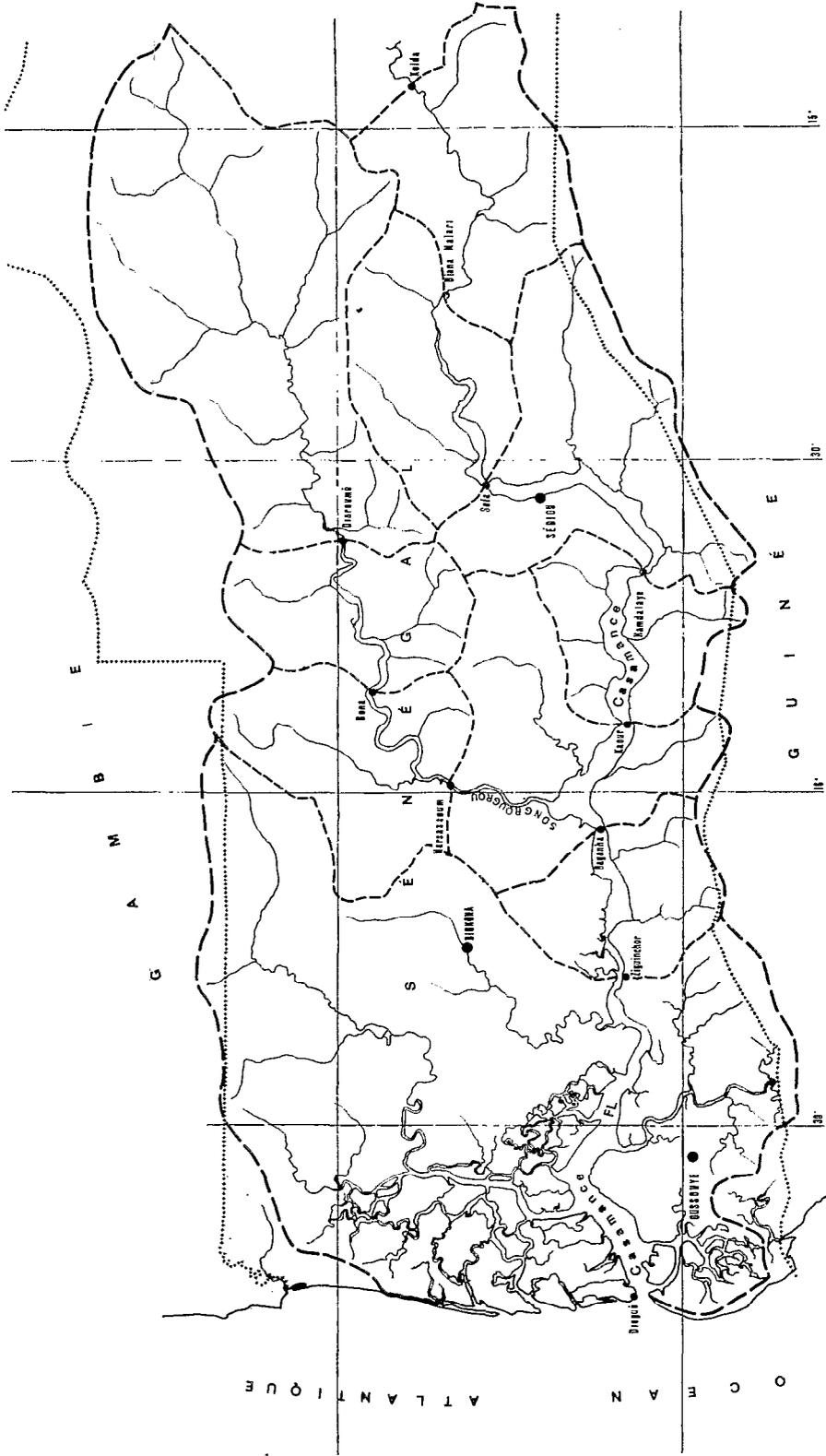
Entre Diogué (à l'embouchure) et Ziguinchor il n'y a pas eu seulement comblement par alluvions fluviales mais aussi par apports de sables amenés par le courant qui vient du Nord : cette zone est parcourue par de multiples marigots bordés de palétuviers, anastomosés en laissant des îles de toutes tailles et entretenus par les courants de marée.

2.2. Installation des marégraphes

Il y a eu 10 marégraphes installés pour l'étude de la marée :

7 sur le bief maritime du fleuve Casamance et

3 sur le bief maritime de son affluent le Songrougrou, chacun équipé d'un limnigraphe OTT X, réduction 1/10, rotation 8 jours, monté sur cheminée en tôle avec plaque de fond anti-batillage ; d'une échelle limnimétrique en tôle émaillée entourée d'un cadre anti-batillage en contre-plaqué passé au basi-



CASAMANCE. — Emplacement des stations

léum; d'une borne ou d'un repère sur terrain stable, dont le téton est rattaché à l'échelle par nivellement.

Ces marégraphes ont été installés aux stations suivantes:

— Sur le fleuve proprement dit, en allant vers l'amont:

Station de Diogué, à l'embouchure, en RD (12° 34' N, 16° 45' W):

Marégraphe mis en route le 14 décembre 1967. Arrêts fréquents par vols de pièces dont le lecteur d'échelle ne peut rendre compte qu'après un délai de plusieurs mois faute de moyens de communication avec Ziguinchor. Dernier arrêt le 11 juillet 1968 par vol du flotteur. Station abandonnée ensuite car trop difficile à surveiller faute de moyen de transport adéquat.

Pas de borne, ni de rattachement possible de l'échelle au nivellement IGN.

Station de Ziguinchor en RG (12° 35' N, 16° 16' W) à 63 km de Diogué:

Marégraphe mis en route le 13 juin 1967,

Repère à la cote 2,985 d'après le macaron n° 64 (2,668 IGN),

Zéro de l'échelle à la cote 0,600 IGN.

Station de Baganha en RG (12° 37' N, 16° 03' W) à 24 km de Ziguinchor:

Marégraphe mis en route le 29 septembre 1967, arrêté le 31 octobre 1969,

Borne à la cote 1,470 IGN d'après le macaron n° 75 (18,594 IGN),

Zéro de l'échelle à la cote 0,397 IGN.

Station de Kaour en RG (12° 35' N, 15° 54' W) à 19 km de Baganha:

Marégraphe mis en route le 8 octobre 1967, arrêté le 30 octobre 1969,

Borne à la cote 1,619 IGN d'après le macaron n° 81 (11,798 IGN),

Zéro de l'échelle à la cote 0,589 IGN.

Station d'Hamdalaye en RG (12° 33' N, 15° 40' W) à 35 km de Kaour:

Marégraphe mis en route le 20 juin 1967, arrêté le 30 octobre 1969,

Borne à la cote 2,420 IGN d'après le macaron n° 87 (15,093 IGN),

Zéro de l'échelle à la cote 0,780 IGN.

Station de Sefa en RD (12° 47' N, 15° 33' W) à 36 km d'Hamdalaye:

Marégraphe mis en route le 14 août 1967, arrêté le 5 novembre 1969,

Repère à la cote 2,556 IGN d'après le macaron n° 143 (18,541 IGN),

Zéro de l'échelle à la cote 0,011 IGN.

Station de Diana-Malari en RD (12° 51' N, 15° 15' W) à 40 km de Sefa:

Marégraphe mis en route le 12 juin 1967, arrêté le 18 octobre 1969,

Borne à la cote 1,820 IGN d'après le macaron n° 105 (6,195 IGN),

Zéro de l'échelle à la cote 0,240 IGN.

— Sur le Songrougrou, en allant vers l'amont:

Station de Marsassoum en RD (12° 50' N, 15° 59' W) à 30 km de Baganha:

Marégraphe mis en route le 8 novembre 1967, arrêté le 11 novembre 1969,

Borne non rattachée (bornes IGN trop éloignées),

Zéro de l'échelle à 1,170 sous le téton de la borne.

Station de Bona en RD (12° 57' N, 15° 50' W) à 32 km de Marsassoum:

Marégraphe mis en route le 10 novembre 1967, arrêté le 6 novembre 1969,

Borne à la cote 2,914 IGN d'après le macaron n° 44 (2,914 IGN),
Zéro de l'échelle à la cote 0,944 IGN.

Station de Diaroumé en RG (12° 59' N, 15° 37' W) à 35 km de Bona:
Marégraphe mis en route le 9 novembre 1967, arrêté le 29 octobre 1969,
Repère à la cote 3,246 IGN d'après le macaron n° 38 (39,260 IGN),
Zéro de l'échelle à la cote 0,873 IGN.

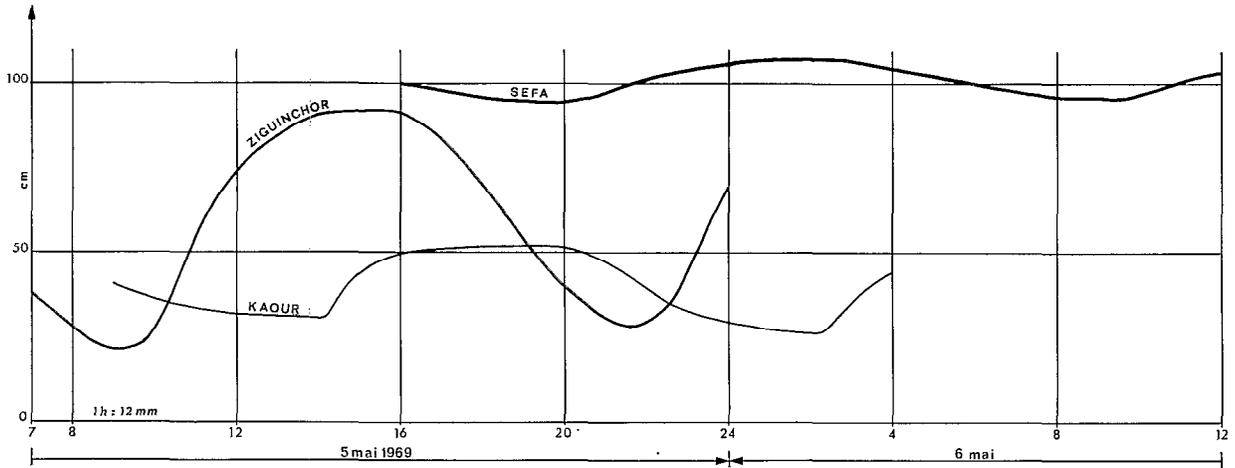


Fig. 1 — Enregistrements journaliers

2.3 Fonctionnement

D'une façon générale les appareils ont bien fonctionné. Il y a à signaler, d'une part, les menus incidents: ruptures de mines d'enregistrement, envasement de cheminées, heurts de vedettes sur l'appareil de Ziguinchor, destruction et vols de caches anti-batillage, d'autre part, l'impossibilité d'exploiter un marégraphe à Diogué, et le mauvais fonctionnement de l'appareil de Diaroumé.

3. Dépouillements des enregistrements

3.1. Hauteur de marée

Nous n'avions pas l'intention de faire l'analyse harmonique des ondes composantes à l'aide d'un ordinateur, ce qui aurait conduit au dépouillement heure par heure de près de 240 mois d'enregistrements (soit 7 200 cartes de données à perforer) pour déterminer le coefficient et le déphasage dans un développement de FOURIER de chacune des ondes de période connue et de ses harmoniques.

Il est difficile de déterminer avec précision le moment de la marée haute sur les enregistrements journaliers des stations en amont du confluent Casamance-Son-grougrou, et encore plus difficile de déterminer cette heure sur des enregistrements hebdomadaires.

Nous nous sommes donc contenté de dépouiller les marégrammes en hauteur de marée basse et de marée haute.

3.2. Niveau moyen journalier

Comme nous connaissions a 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 Diogué). Nous les avons planimétrées 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:

$1/4$ (1/2 hauteur première marée basse + hauteur marée haute suivante + hauteur marée basse suivante + hauteur marée haute suivante + 1/2 hauteur marée basse suivante).

3.3. Valeur moyenne

Pour simplifier, nous avons choisi comme niveau moyen journalier, éliminant les composantes diurnes, semi-diurnes et leur 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.

4. Marée annuelle et semi-annuelle

4.1. Dissymétrie

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 Diogué, 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 2 nous avons représenté les variations des moyennes 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 rapports 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 3 montre les variations de cette amplitude en 1968 et en 1969 (amplitude annuelle des moyennes mensuelles) en fonction de la distance à Ziguinchor.

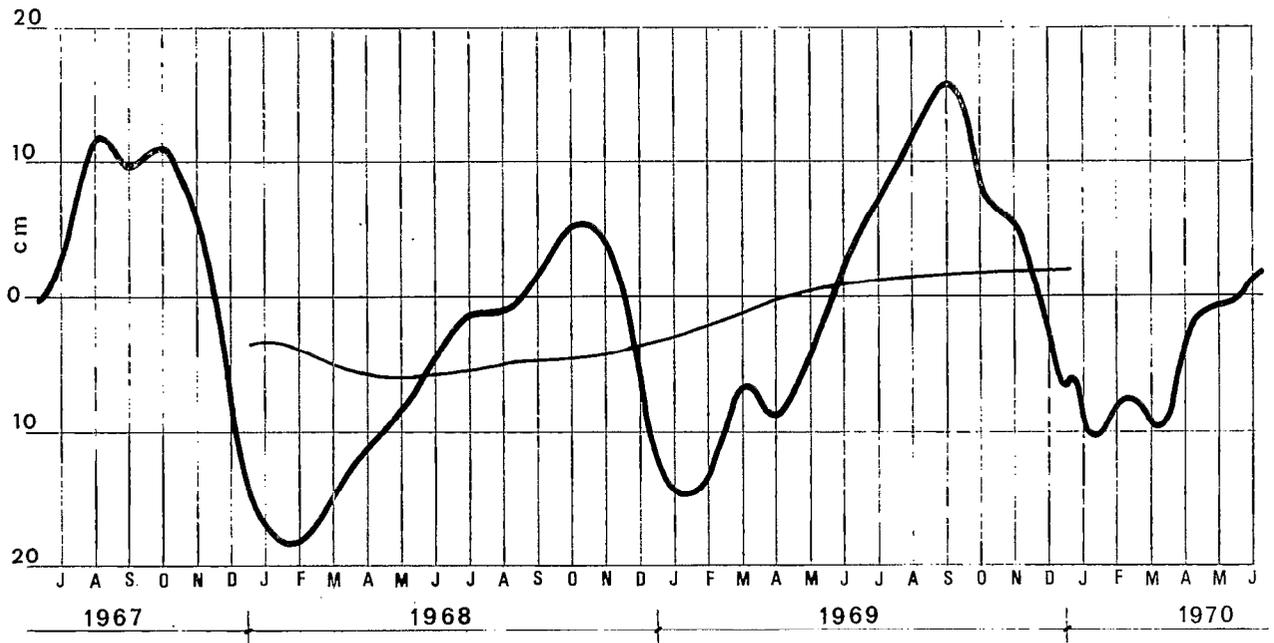


Fig. 2 — MARÉE ANNUELLE

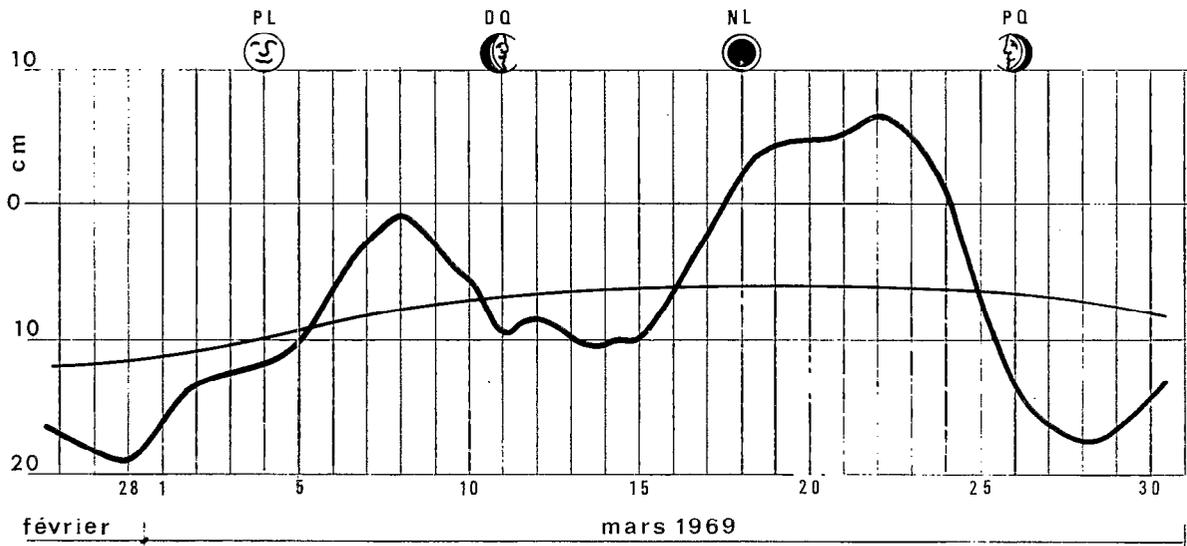


Fig. 4 — MARÉE SEMI-MENSUELLE

4.2. 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 2 où nous avons reporté la moyenne mobile de 12 mois consécutifs.

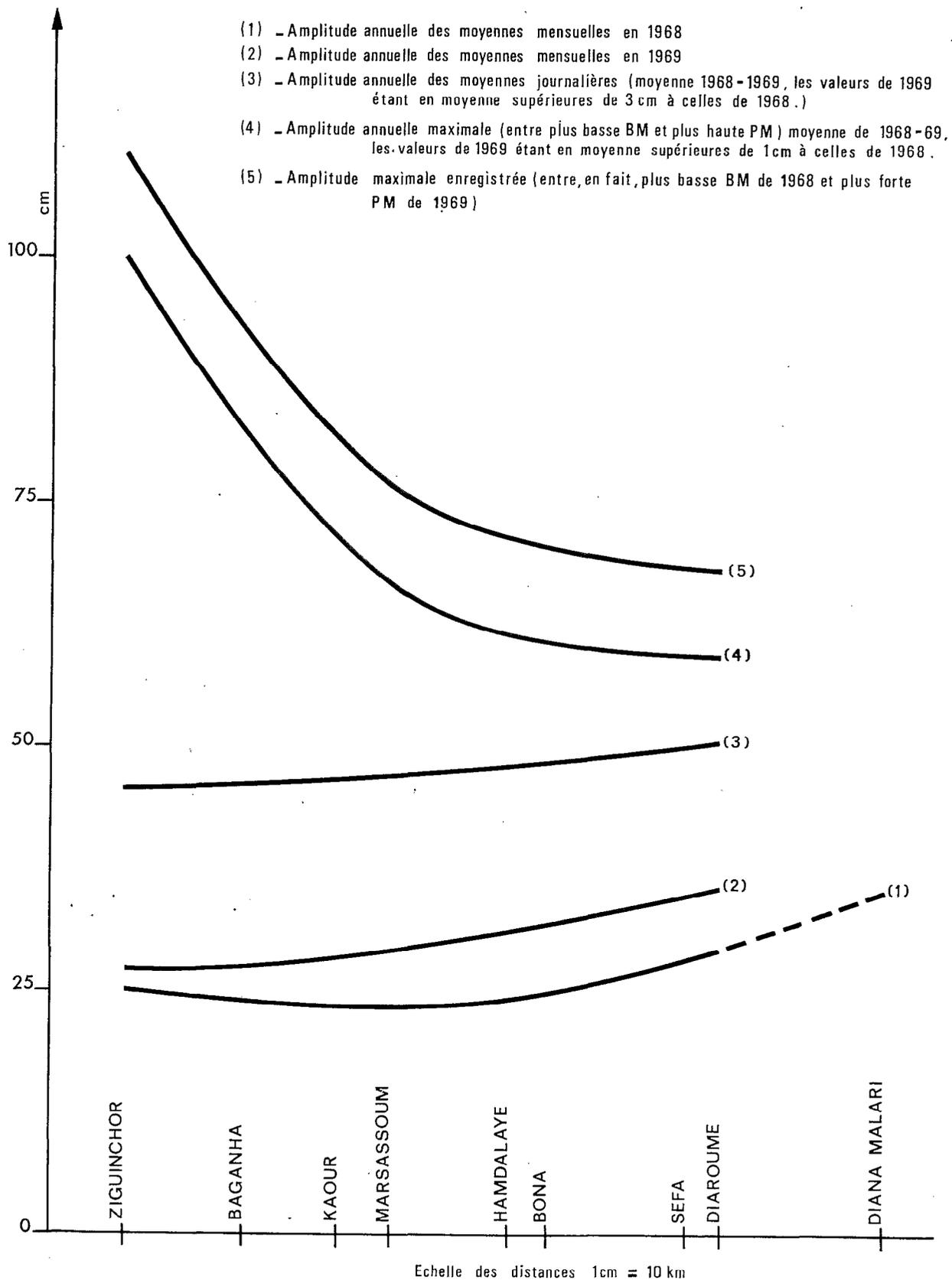


Fig. 3

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 de périégée lunaire (8,86 ans) du nœud ascendant lunaire (18,6 ans voisine du saros de 18,03 ans).

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	Diaroumé
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 Diaroumé n'est pas très précis à cause des incidents de fonctionnement de l'enregistreur en 1969.

4.3 Anomalies constatées

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.

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 Diogué, 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.

5. Marée mensuelle et semi-mensuelle

5.1. Forte marée 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 Diogué où d'après les quatre mois d'enregistrements que nous avons, elle serait un peu plus forte qu'en amont.

Nous donnons en figure 4 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 2.

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.

L'inégalité mensuelle de la marée semi-mensuelle est très importante, car cette marée est due à une combinaison d'ondes de périodes comprises entre 13,7 et 14,7 jours et entre 27,3 et 29,5 jours. Il est rare que les deux marées d'un même mois soient d'égales amplitudes, et même l'une d'elles peut quasiment disparaître.

5.2. Particularités

La marée semi-mensuelle n'a jamais disparu à Diaroumé. Elle a disparu à Diana-Malari de fin août à fin octobre 1967 et du début d'août au début d'octobre 1969 (hauteurs supérieures à 125 cm à l'échelle), mais s'est conservée pendant toute la saison des hautes eaux fluviales de 1968, avec une faible atténuation (hauteur maximale à l'échelle 115 cm en 1968).

5.3. Amplitude

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 5 résume nos conclusions à ce sujet. Il est remarquable que les amplitudes maximales de la marée semi-mensuelle soient, de Ziguinchor à Sefa ou à Diaroumé, 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 1969 les amplitudes maximales de la marée semi-mensuelle se sont produites pendant la marée basse de l'onde annuelle.

6. Marée diurne et semi-diurne

6.1. Inégalité diurne

La marée semi-diurne s'impose à l'observation superficielle car sa courte période masque les marées de périodes plus longues. Elle est en fait affectée d'une inégalité diurne qui est importante en Casamance.

Cette marée est due à une combinaison d'ondes de périodes allant de 23,1 à 25,8 heures et de leurs harmoniques, les composantes principales de cette onde marée étant, par ordre d'importance théorique: la lunaire moyenne (12,42 h), la déclinaisonnelle luni-solaire (23,93 h), la solaire moyenne (12,00 h), la lunaire principale (25,82 h), l'elliptique moyenne (12,65 h).

La marée semi-diurne enregistrée à Diogué montre une forte inégalité diurne qui se conserve dans la partie maritime du fleuve; si bien qu'à Diaroumé une marée peut disparaître (assez exceptionnellement) par égalité de hauteur d'une marée haute et de la marée basse suivante (ou inversement). Cela se produit aussi à Diana-Malari où de plus les deux marées disparaissent lorsque la hauteur à l'échelle est de l'ordre de 100 cm.

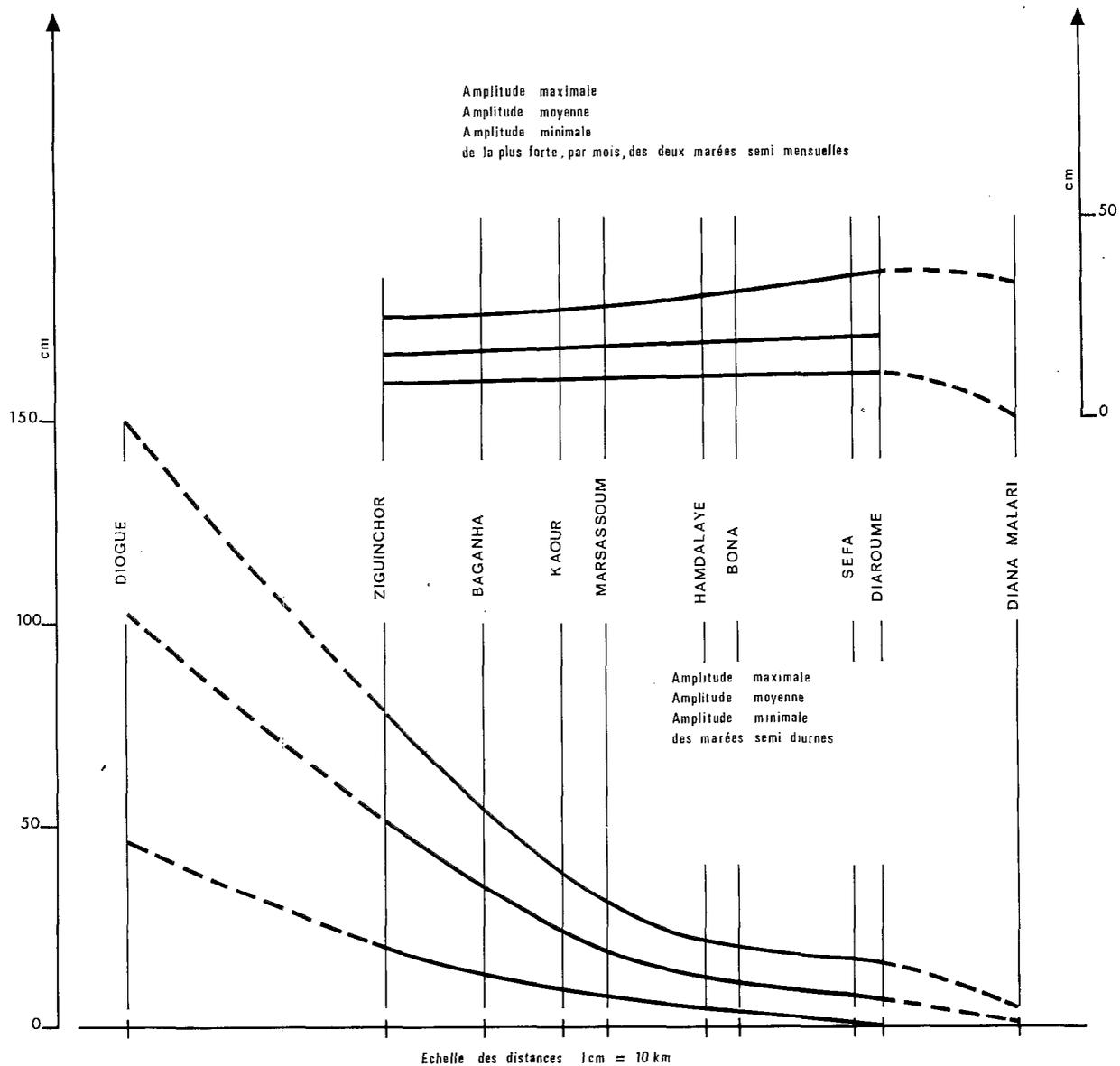


Fig. 5 et 6

6.2. Amplitude « brutes »

Nous avons étudié les amplitudes « brutes » des marées semi-diurnes, sans faire entre marées basses et hautes consécutives de corrections pour évolution entre-temps des marées semi-mensuelles.

La figure 6 résume l'étude des amplitudes des marées semi-diurnes: les points correspondant à Diogué sont peu précis car basés sur un nombre insuffisant d'enregistrements.

Nous représentons 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.

6.3. Propagation observée de l'onde semi-diurne

Les enregistrements en rotation de 32 heures, dont nous avons déjà signalé l'exploitation, ont permis de déterminer les durées de propagation. Le tableau ci-dessous résume les observations:

	Diogué	Ziguinchor	Baganha	Kaour	Hamdalaye	Sefa	Diana-Malari	Marsassoum	Bona	Diaroumé
Distance à Ziguinchor en aval (km)	63									
Distance à Ziguinchor en amont (km)			24	43	78	114	154	54	86	121
Heures des marées en avance/Ziguinchor	3 h 15									
Heures des marées en retard/Ziguinchor			1 h 50	4 h 05	7 h 15	10 h 40	18 h	4 h 35	7 h 45	12 h
Durées moyennes du perdant	6 h 20	6 h 30	6 h 30	6 h 50	6 h 25	6 h 30		6 h 30	6 h 05	
Durées moyennes du montant	6 h 05	5 h 55	5 h 55	5 h 35	6 h 00	5 h 55		5 h 55	6 h 20	

En fait les valeurs données ci-dessus pour les décalages horaires des marées par rapport à Ziguinchor sont des valeurs moyennes. Elles correspondent à des vitesses de propagation de l'onde marée de 19,5 km/h entre Diogué et Ziguinchor (1 600 km/h environ dans l'océan), de 13 km/h entre Ziguinchor et Baganha, de 10 km/h entre Baganha et Sefa ou Bona, de quelques km/h avant Diana-Malari ou Diaroumé.

Les durées moyennes du perdant et du montant sont très imprécises sauf pour Diogué et Ziguinchor. Pour les autres stations ce sont des ordres de grandeur, l'heure de la marée haute étant très mal définie.

6.4. 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 (cf. par. 1.2. hauteurs de marées à Diogué).

Sur la figure 7 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 Diogué. Elle est déjà bien atténuée à Baganha et diminue encore, surtout en valeur absolue, en allant vers l'amont.

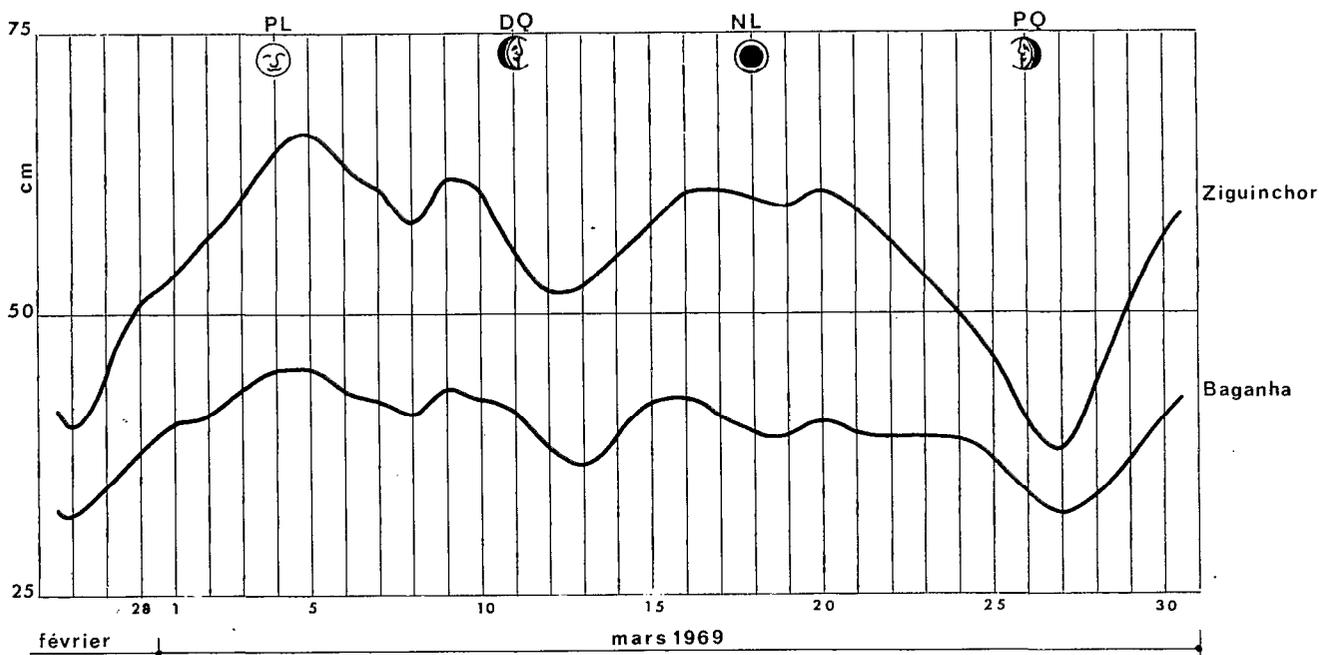


Fig. 7 — Amplitudes journalières moyennes

7. 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. fig. 2) 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. fig. 4) 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 6 (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 5.

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 3 où nous avons reporté, d'une part, la moyenne des amplitudes maximales annuelles (de 1968 et 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. Il est à noter que ces dernières amplitudes se répartissent à très peu près (0 à 2 cm) de part et d'autre des niveaux moyens du paragraphe 4.2.

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

8. Extrémités amont du bief maritime

8.1. Cas de Diaroumé

Les marées annuelles, semi-mensuelles et semi-diurnes semblent toujours remonter jusqu'à Diaroumé. Il est vrai qu'en 1968 et en 1969 le Songrougrou n'a pas eu de forte crue fluviale.

La marée semi-diurne ne doit pas remonter beaucoup plus loin que le pont de Diaroumé. La rivière est en effet encombrée sur toute sa largeur d'une végétation aquatique très dense qui forme un seuil de très faible profondeur. Nous ne savons pas jusqu'où peuvent remonter la marée semi-mensuelle et la marée annuelle.

8.2. Cas de Diana Malari

A l'étiage les trois sortes de marées atteignent Diana-Malari, la marée semi-diurne pouvant atteindre au maximum 5 cm. A la crue fluviale, cette marée disparaît de même que la marée semi-mensuelle si la crue est assez forte, et la marée haute de l'onde annuelle se produit en même temps que la crue.

Nous ne savons pas jusqu'où peuvent remonter ces ondes marées, en tout cas elles n'atteignent pas Kolda à 52 km en amont de Diana-Malari. A Kolda le niveau d'étiage s'est abaissé jusqu'à la cote 1,79 IGN en juin 1968 et juin 1969, et 1,75 en mai 1970. Aux mêmes dates les niveaux moyens journaliers à Diana-Malari étaient respectivement de 1,16 IGN et 1,14.

Les cotes maximales relevées à Diana-Malari et à Kolda sont:

Diana-Malari:	7 octobre 1967: 1,84 IGN	Kolda:	5 octobre 1967: 5,34 IGN
	10 octobre 1968: 1,39 IGN		6 octobre 1968: 4,27 IGN
	10 septembre 1969: 2,37 IGN		5 septembre 1969: 6,57 IGN

Il est remarquable que la très forte crue de septembre 1969 à Kolda (pluie du 3 septembre, supérieure à 200 mm, qui a fait monter le niveau de 2,7 m en quelques heures) ne se soit répercutée qu'à Diana Malari. A Sefa et à toutes les stations en aval, le niveau moyen journalier maximal de 1969 a été atteint le 1^{er} septembre, comme sur les stations de Songrougrou dont le bassin fluvial n'avait été que très peu arrosé le 3 septembre.

9. Seiches

Il est fréquent que les averses de la saison des pluies soient précédées par un fort coup de vent du secteur Est. Ces coups de vent provoquent des seiches: oscillations en masse de l'eau d'un bassin. Ce phénomène ne s'est malheureusement pas produit au cours des enregistrements journaliers, et nous ne le trouvons que sur les enregistrements hebdomadaires, ce qui rend difficile l'estimation de la période d'oscillation.

A Ziguinchor les seiches les plus fortes enregistrées ont eu une amplitude maximale de 5 cm avec des périodes de quelques minutes.

A Baganha: amplitude maximale 5 cm, période de l'ordre de 20 minutes;

A Kaour: amplitude maximale 12 cm, période de l'ordre de 40 minutes;

A Hamdalaye: amplitude maximale 20 cm, période d'une heure, amortissement en 6 heures;

A Sefa: amplitude maximale 5 cm, période de l'ordre de 40 minutes;

A Marsassoum: amplitude maximale 10 cm, période de l'ordre de 40 minutes;

A Bona: amplitude maximale 15 cm, période de l'ordre de 50 minutes; amortissement en 5 heures;

A Diana-Malari et à Diaroumé il n'y a pas eu de seiches enregistrées.