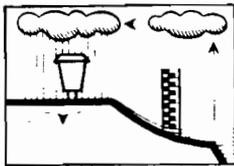


J.C. OLIVRY

A. CHOURET

ETUDE HYDROLOGIQUE DU MARIGOT DE BIGNONA

Quelques aspects intéressants
des mesures réalisées en 1970-1971



1981

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE DAKAR - HANN



ETUDE HYDROLOGIQUE
DU MARIGOT DE BIGNONA

Quelques aspects intéressants
des mesures réalisées en 1970-1971

J.C. OLIVRY
A. CHOURET

A V A N T - P R O P O S

-o-o-o-

A. AUBREVILLE écrivait en 1948 : *"La CASAMANCE a la réputation d'un pays verdoyant couvert de forêts épaisses" ; mais "cette renommée n'est valable que relativement au SENEGAL ; par comparaison avec les zones forestières plus méridionales, la CASAMANCE paraît bien, ce qu'elle est en réalité, un pays sec".*

Les déficits pluviométriques de la dernière décennie ont encore accentué ce caractère de sécheresse, rendant plus précieuse une eau douce devenue rare, rendant plus précaire l'exploitation du terroir.

Ils ont réactualisé des projets anciens d'aménagement de la région visant à la maîtrise de l'eau et au développement des surfaces cultivables et en particulier de celles adaptées à la riziculture.

Début 1970, A. CHOURET faisait le bilan des études hydrologiques en CASAMANCE, réalisées principalement par l'ORSTOM sous la direction d'Y. BRUNET-MORET, et proposait une extension des études sur les marigots de Baïla, de Bignona et du Kamobeul et une reprise des observations sur le Soungrougrou.

Ce programme ne devait pas trouver de financement et l'ORSTOM était contraint de limiter son intervention à la seule campagne de mesures 1970-1971 sur le marigot de Bignona. Les résultats acquis avaient alors paru trop limités dans le temps et leur exploitation devait être différée, d'autant que d'autres travaux (fleuve Sénégal, étude du fleuve Gambie, création du réseau hydrométrique national...) allaient mobiliser toute l'attention des hydrologues de l'ORSTOM.

A la fin des années 70, les services du Ministère de l'Équipement et la SOMIVAC reprenant le principe d'études générales sur les marigots de CASAMANCE Maritime -Baïla, Kamo-beul, Soungrougrou-, confiaient en particulier l'étude du bassin du marigot de Baïla à la Société LOUIS BERGER INTERNATIONAL, qui demandait à l'ORSTOM de se charger de l'étude hydrologique...

Le déficit hydropluviométrique de l'année 1979 n'aurait pas permis d'aboutir aux estimations proposées dans l'étude du marigot de Baïla si les hydrologues n'avaient pas disposé de leurs observations antérieures et notamment de celles effectuées sur le marigot de Bignona.

Ces mesures étant redevenues d'actualité, J.C. OLIVRY a procédé à leur exploitation, et il a paru opportun de publier les résultats de l'étude réalisée sur ce marigot. C'est l'objet du présent document.

Après les études d'Y. BRUNET-MORET et compte tenu des travaux récents évoqués plus haut, il n'était pas question de produire ici une étude hydrologique complète, en particulier sur la climatologie, bien connue par ailleurs et actualisée depuis la dernière décennie. De même, une étude des facteurs conditionnels des régimes hydrologiques en CASAMANCE Maritime n'aurait fait que reprendre ce que d'autres publications d'hydrologie ou de géomorphologie ont déjà rapporté.

Aussi, nous avons volontairement limité ce rapport au développement des aspects, sinon originaux, du moins, propres à compléter l'information hydrologique obtenue par ailleurs. Ce rapport comprend trois chapitres :

- l'étude des paramètres du cycle de l'eau à partir des mesures de la campagne 70-71,
- l'étude des crues en 1970,
- l'étude de l'influence maritime dans le milieu estuarien (onde de marée et salinité).

I N T R O D U C T I O N

Le marigot de Bignona fait partie des trois principaux marigots de rive droite de la Basse-CASAMANCE. C'est aussi le moins important. Son bassin versant couvre environ 800 km² (encore que ses limites soient difficiles à préciser près du confluent avec la Casamance). Le cours principal du marigot a une longueur de 88 km dont 68 km sont soumis à l'influence des marées ; c'est dire l'importance de la pénétration marine si on ajoute que le confluent Bignona-Casamance est encore à 55 kilomètres de l'Océan.

Le bassin du marigot de Bignona est compris entre les bassins des marigots Diouloulou et Baïla à l'Ouest et au Nord et du Soungrougrou à l'Est. A l'Ouest, la vaste dépression parcourue par le cours aval des marigots de Baïla et Diouloulou correspond à l'ancien golfe Diouloulou-Tendouck occupé pendant les transgressions ouljienne et flandrienne. Au Nord, le marigot de Baïla entaille le plateau sénégalais du Continental Terminal aux limites hydrogéologiques imprécises. A l'Est, la vallée du Soungrougrou est presque aussi large que la Casamance ; cette largeur démesurée en regard de la puissance du cours d'eau s'explique là aussi par l'envasement de la vallée au cours de la dernière transgression. Ce comblement par des sables, vases et argiles de paléovallées profondes explique la configuration actuelle du réseau hydrographique en larges bas-fonds, ou estuaires s'ils sont envahis par les remontées marines. C'est aussi le paysage offert par le marigot de Bignona à une échelle plus modeste ; à Bignona, le "lit mineur" a une vingtaine de mètres de large pour 1,5 m de profondeur. Dans sa partie aval, sa largeur passe d'une quarantaine de mètres à ETEKOME, à une centaine de mètres à DJILOGUIRE et cent cinquante mètres à ELORA pour une profondeur de 6 à 10 m.

Le cours aval du marigot est bordé de larges vasières avec d'innombrables chenaux de marée de tailles diverses et de multiples ramifications. Les vasières les plus basses, submergées régulièrement par la marée, sont peuplées par la mangrove (slikkes), tandis que celles qui sont rarement atteintes par la marée portent quelques touffes d'herbes ou sont dénudées avec présence d'une croûte saline (schorres ou "tanne").

En dehors des zones soumises à l'influence de la marée, les bas-fonds marécageux ou aménagés en rizières couvrent des superficies importantes de part et d'autre du cours supérieur du marigot de Bignona et de ses affluents.

L'absence de relief marqué n'a pas permis la formation d'un réseau hydrographique dense. Celui-ci a quand même abouti au morcellement du plateau du Continental Terminal qui dépasse rarement la cote 30 m.

Le Continental Terminal est constitué dans la région de Bignona de grès souvent argileux avec un ou plusieurs horizons cuirassés [6] ; l'ensemble est de perméabilité médiocre et l'aquifère de la nappe phréatique n'a en définitive que des ressources modestes.

Suivant le niveau de la nappe et des horizons cuirassés (ferrugineux ou latéritiques), le plateau sera occupé par la savane boisée, la forêt demi-sèche dense ou les bois de fromagers ; des palmeraies de rôniers sont observées dans les zones à cultures pluviales. En lisière des terrains cultivés au flanc des bas-fonds ou en bordure des rizières, on observe fréquemment des palmeraies d'*Elaeis* [1].

Le bassin du marigot de Bignona est compris entre les isohyètes 1 500 mm et 1 300 mm au Nord ; ces isohyètes sont orientées W.N.W.-E.S.E. et la courbe 1 400 mm passe grosso modo à Bignona.

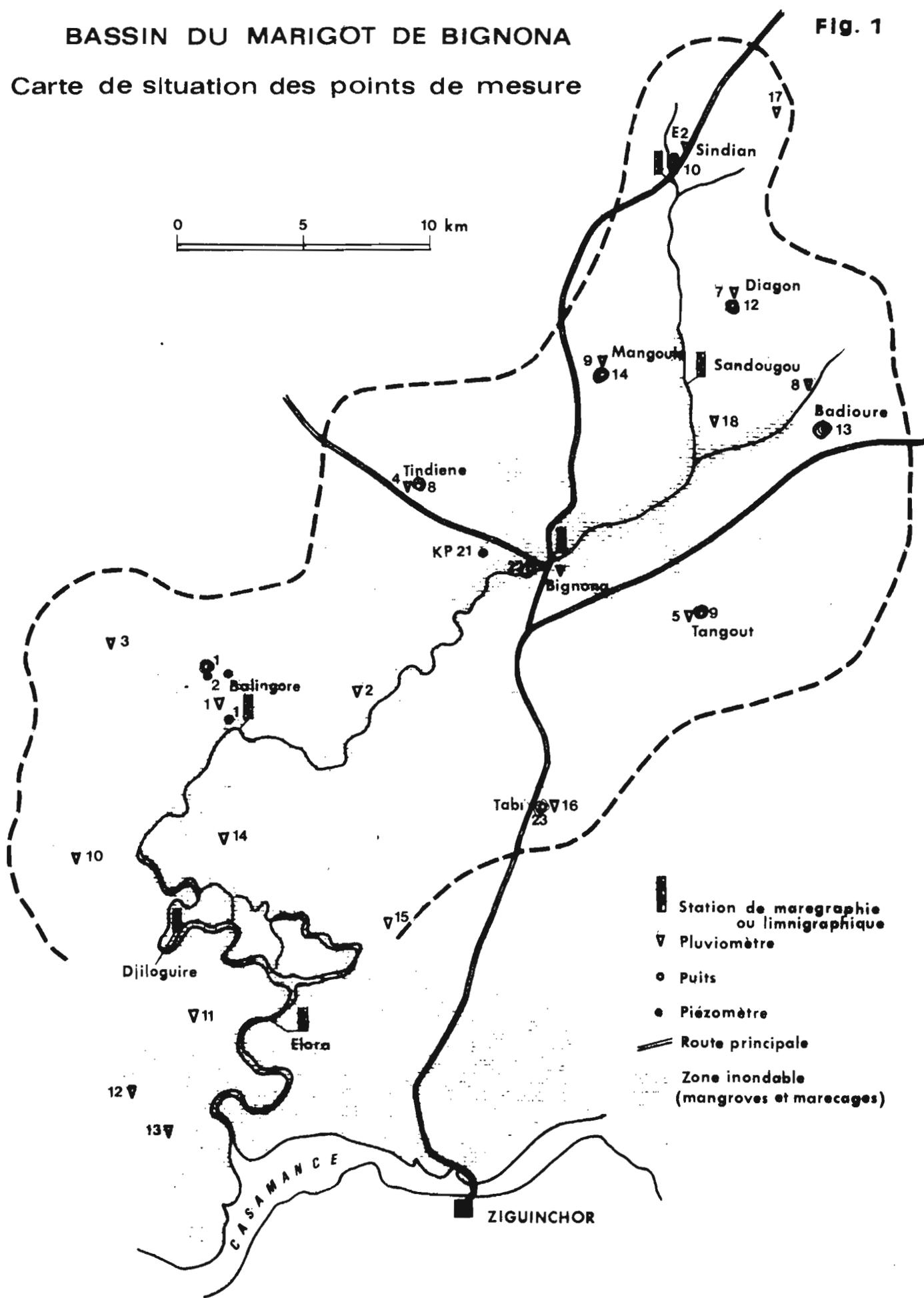
Les mesures effectuées au cours de la campagne 1970-1971 ont porté sur les précipitations, l'évaporation sur bac, la mesure des débits et des écoulements de surface, le niveau piézométrique de la nappe phréatique, la marégraphie du marigot dans son bief aval et la salinité de ses eaux.

La carte de la figure 1, qui reproduit le bassin du marigot de Bignona, situe les principaux points de mesure. A l'occasion de l'étude des différents paramètres, les implantations et équipements correspondants seront précisés.

BASSIN DU MARIGOT DE BIGNONA

Carte de situation des points de mesure

Fig. 1



1. ETUDE DES PARAMETRES DU CYCLE DE L'EAU

1.1 LES PRECIPITATIONS

1.1.1 Présentation des résultats recueillis en 1970

Le tableau 1 rassemble les principaux résultats des mesures de précipitations effectuées par l'ORSTOM sur les 19 postes du bassin du marigot de BIGNONA : hauteurs des précipitations mensuelles ; nombre de jours de pluie dans la saison ; hauteur de l'averse maximum journalière ; total des précipitations mesurées.

Nous avons distingué les postes du Haut-Bassin de ceux de la partie aval du bassin où la mangrove prend toute son importance. L'ordre des différents postes correspond à un classement suivant les latitudes respectives du Nord au Sud. Nous indiquons au bas du tableau les mesures effectuées par la Météorologie Nationale à BIGNONA et à ZIGUINCHOR.

Plusieurs remarques doivent être faites :

- L'installation courant mai-début juin des postes ORSTOM conduit à des observations incomplètes pour l'année 1970. De ce fait les totaux sont indiqués entre parenthèses pour mai ou juin et pour la hauteur annuelle.

Les mesures des postes de BIGNONA et de ZIGUINCHOR montrent que les précipitations sont nulles de janvier à avril inclus, faibles en mai, comparables à l'échantillon ORSTOM en juin. De ce fait les observations manquantes n'ont qu'un faible poids sur la hauteur annuelle des précipitations et on peut estimer que les totaux indiqués pour le réseau ORSTOM correspondent à la pluviométrie annuelle de 1970 (avec grosso modo 2 % par défaut).

- La station météorologique de BIGNONA n'a pas été observée en août 1970. La hauteur de précipitations indiquée entre parenthèses a été extrapolée à partir des postes ORSTOM voisins.

- Le nombre de jours de pluie, indiqué entre parenthèses en raison des observations manquantes, est inférieur de 3 ou 4 unités au nombre annuel probable de jours de pluie en 1970. Les fortes valeurs des postes 8 et 18 s'expliquent par la prise en compte par l'observateur de précipitations de 0,1 à 0,2 mm qui correspondent sans doute plus souvent à des mesures de rosée qu'à de véritables pluies.

1.1.2 Analyse des résultats

La pluviométrie de 1970 est déficitaire en CASAMANCE. Le déficit à ZIGUINCHOR atteint 10 % par rapport à la normale calculée sur la période 1931-1960 (1547 mm)⁽¹⁾. La répartition mensuelle des précipitations montre une pluviosité excédentaire en mai, juillet et août, déficitaire en septembre, très déficitaire en juin et octobre :

	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Moyenne	0,1	0,9	0	0,1	9,7	125,1	362,7	532,4	361,0	146	8,1	0,9
1970	0	0	0	0	14,3	64,4	392,3	565,8	300,9	60,6	0	0

Sur le bassin de BIGNONA, il semblerait que le déficit des précipitations soit un peu plus prononcé (voisin de 15 %). La figure 2 indique la répartition mensuelle des précipitations en 1970 pour ZIGUINCHOR, BALINGORE et BOUSSONAYE, comparée à la normale de ZIGUINCHOR.

- (1) :
- BRUNET-MORET indique en 1970 pour ZIGUINCHOR une hauteur de précipitations interannuelle de 1557 mm calculée sur 49 ans.
 - En 1978, consécutivement aux années sèches, la moyenne est tombée à 1537 mm.
 - L'ajustement d'un échantillon de 50 valeurs observées entre 1921 et 1972 à une distribution gamma incomplète aboutit à une hauteur moyenne de 1524 mm et à une hauteur médiane ($F = 1/2$) de 1504 mm.

Fig.2

PLUVIOMÉTRIE

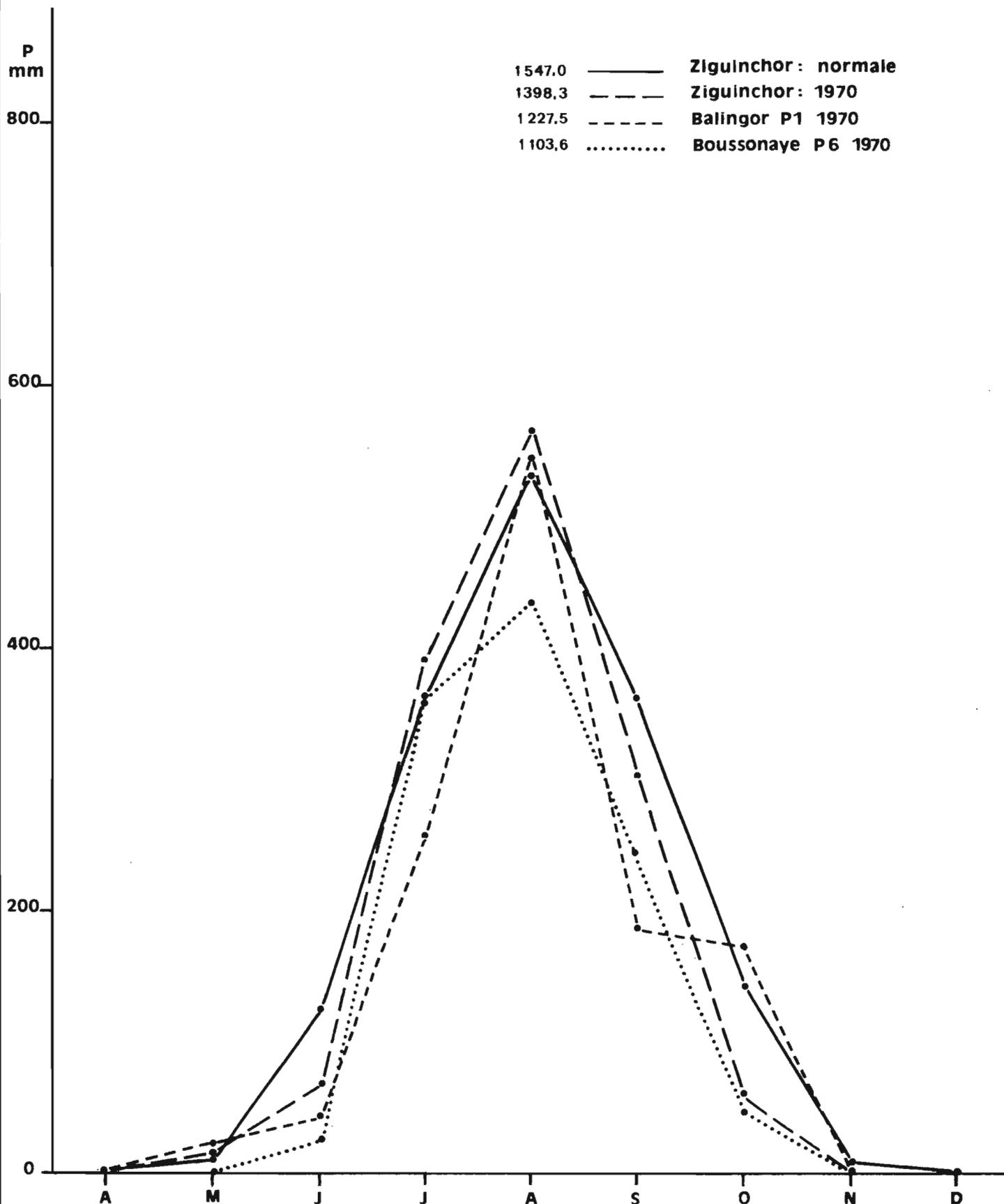


Tableau 1

P R E C I P I T A T I O N S 1 9 7 0 (mm)

Postes du haut-bassin	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Total mm	Nb de jours de pluie	Max journalier mm
BOUSSONAYE (P6)	-	25,0	361,5	432,9	238,2	46,0	0	0	1103,6*	65	83,0
OUNIOK (P17)	-	27,4	368,7	456,7	212,3	42,5	0	0	1107,6	53	88,7
SINDIAN (E2)	5,0	53,3	340,8	349,0	217,1	72,5	0	0	1037,7	62	80,0
DIAGON (P7)	-	35,2	637,9	458,7	217,6	87,8	0	0	1437,2	65	101,0
BADIOURE (P8)	-	37,2	351,8	526,7	171,0	147,4	0	0	1234,1	88	111,3
MANGOULE (P9)	-	5,8	389,6	470,8	328,4	97,8	0	0	1292,4	71	114,3
SANDOUGOU (P18)	-	30,9	286,8	549,9	282,1	108,1	0	0	1257,8	93	101,6
Postes du bassin aval											
TINDIENE P4	-	26,8	307,3	558,0	175,9	70,3	0	0	1138,3	62	92,8
TANGOUT P5	-	45,0	237,7	589,9	262,4	113,2	0	0	1248,2	59	139,0
DJIMANDE P3	-	53,2	302,7	459,9	199,1	122,9	0	0	1137,8	71	65,0
TENDIMANE P2	-	64,4	199,5	578,8	150,3	108,4	0	0	1101,4	70	82,1
BALINGORE P1	22,3	43,1	257,8	545,9	185,7	172,7	0	0	1227,5	78	75,1
TABI P16	-	36,6	257,5	517,2	181,3	93,6	0	0	1086,2	61	93,0
KANDIOU P14	-	35,3	304,0	570,2	226,5	82,9	0	0	1218,9	72	94,2
DIATOK P10	-	115,4	271,3	614,7	224,6	100,4	0	0	1326,4	71	95,0
BAGAGA P15	-	38,5	277,2	546,7	154,9	106,7	0	0	1124,0	75	73,4
AFFINIAN P11	-	19,3	355,0	566,7	246,2	71,8	0	0	1259,0	70	67,1
ERINDIAN P12	-	44,4	291,5	663,5	249,2	136,2	0,4	0	1385,0	86	97,0
ELORA P13	-	50,4	308,4	608,7	243,8	138,0	0,3	0	1349,6	84	76,4
Stations de la Météo- rologie Nationale											
BIGNONA	19,2	32,2	233,4	580	161,8	73,4	1,0	0	1100	75	-
ZIGUICHOR	14,3	64,4	392,3	565,8	300,9	60,6	0	0	1398,3	87	-

* : Les valeurs mises en italiques sont approximatives.

La carte de la figure 3 donne les isohyètes de l'année 1970. Le dessin des courbes s'apparente vers le Sud au schéma général des isohyètes interannuelles. On note vers le Nord-Est du bassin un pôle de précipitations relativement plus abondantes.

L'évolution spatiale des précipitations se traduit également par une diminution du nombre annuel de jours de pluie en allant du Sud au Nord.

Grosso modo on passe en 1970 de 85-90 jours de pluie au Sud à 65-70 jours au Nord du bassin.

Le maximum de précipitations reçues en 24 heures a atteint en 1970 139,0 mm au poste P5 (TANGOUT) à l'est de BIGNONA, le 6 août. A cette date, on relève la plus forte hauteur de précipitations journalière sur 5 autres postes (dont 111,3 mm à BADIOURE : P8).

La seconde averse journalière de l'année a été mesurée à MANGOULE (P9) le 16 septembre avec 114,3 mm.

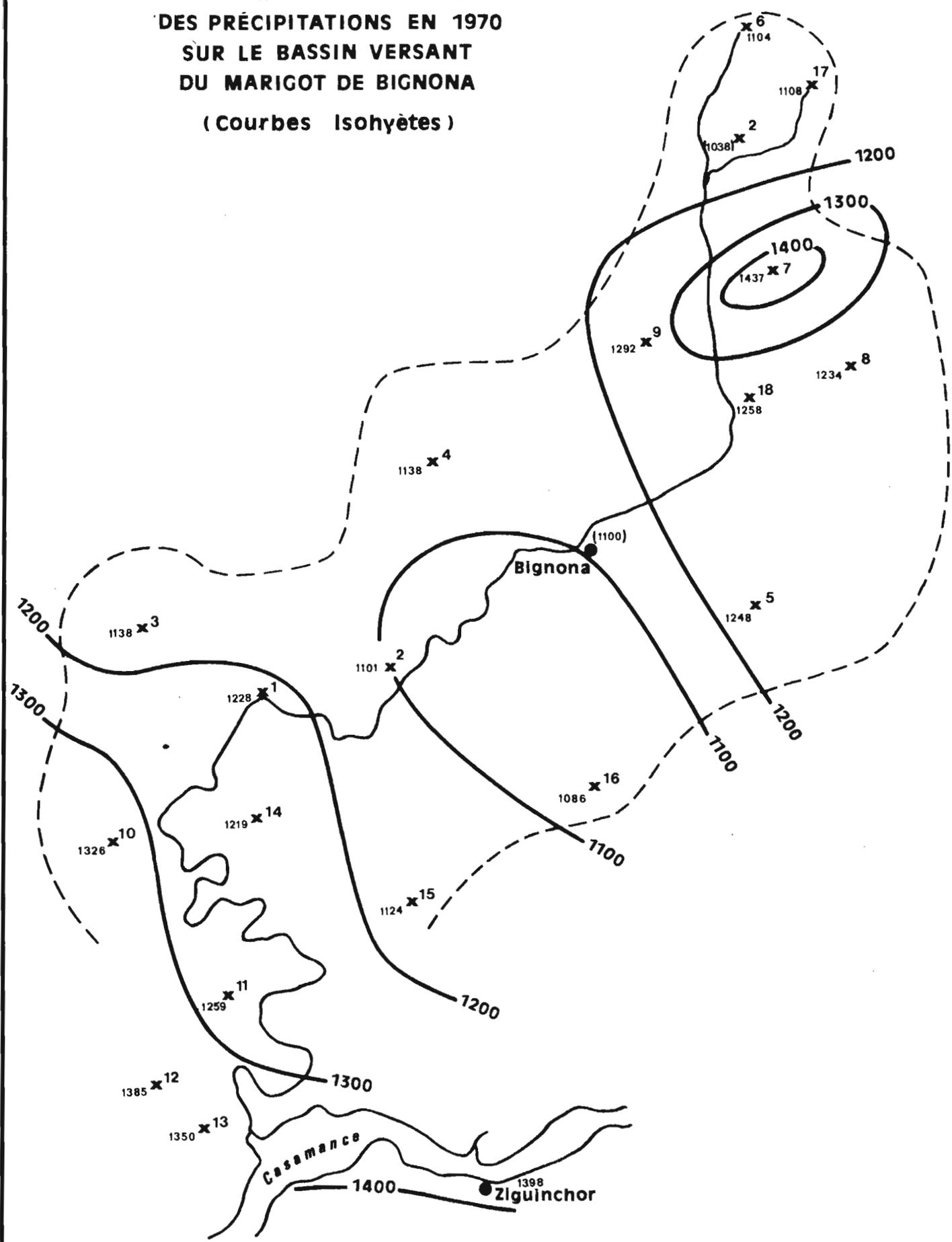
On a relevé 101,6 mm le 2 août à SANDOUGOU (18). Un épisode pluvieux majeur pour six autres postes a été mesuré entre le 1er et le 3 août (< 100 mm). Le 16 juillet, le poste de DIAGON (P7) a reçu 101 mm. Les autres maximums annuels relevés en 1970 concernent, suivant les postes, les dates du 29/07, du 14/08, du 17/08 et du 12/10.

On note en 1970 que les plus fortes averses journalières ont été observées en amont de BIGNONA.

D'après BRUNET-MORET, on peut estimer que la période de retour de l'averse maximum de TANGOUT (P5 = 139 mm) est proche de 10 ans.

Fig. 3

REPARTITION SPATIALE
DES PRÉCIPITATIONS EN 1970
SUR LE BASSIN VERSANT
DU MARIGOT DE BIGNONA
(Courbes Isohyètes)



1.1.3 Calcul des lames précipitées

Par planimétrage de la carte des isohyètes 1970, on obtient pour les différents sous-bassins du marigot de BIGNONA les lames précipitées.

Celles-ci sont indiquées dans le tableau ci-après :

Bassin	Superficie B.V. en km ²	Pluie moyenne en mm	Volume précipité (10 ⁵ m ³)
SINDIAN	11,9	1150	13,68
SANDOUGOU	84,7	1253	106,13
BIGNONA	306	1237	378,5
BALINGORE	509	1184	602,7
DJILOGUIRE	650	1194	776,1
ELORA	718	1197	859,4

1.2 EVAPOTRANSPIRATION

Un bac Colorado type ORSTOM a été installé à BALINGORE et suivi pendant 12 mois, de mai 1970 à avril 1971.

Les résultats de la mesure de l'évaporation sont donnés ci-après :

1970-1971	Mai	Juin	Juil	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Année
Total mensuel mm	192,5	185,9	115,1	97,5	103,3	121,2	108,2	122,4	151,4	168	217	242	1825
Evap. journal. mm/j	6,2	6,2	3,7	3,1	3,4	3,9	3,6	4,0	4,9	6,0	7,0	8,1	5,00

En appliquant à ces valeurs un coefficient de correction de 0,8 (valeur couramment admise), l'évapotranspiration potentielle annuelle aurait été de 1 460 mm à BALINGORE en 1970, répartie mensuellement comme suit :

	Janv	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Année
Total mm	121	134	174	194	154	149	92,1	78	82,6	97	86,5	97,8	1460
mm/jour	3,9	4,8	5,6	6,4	5,0	5,0	3,0	2,5	2,7	3,1	2,9	3,2	4,0

L'évaporation PICHE mesurée à ZIGUINCHOR donne un total moyen annuel (12 années) assez voisin :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
161	170	194	182	170	114	66	51	52	66	91	131	1448

Mais le sens et l'ampleur des variations mensuelles de l'évaporation PICHE, avec un minimum en août-septembre et un maximum en mars ne sont pas tout à fait comparables aux mesures sur bac, la liaison entre E piche et E bac n'étant pas univoque, mais évolutive d'un mois à l'autre.

Le facteur EVAPOTRANSPIRATION a, on le sait, des variations interannuelles beaucoup moins marquées que celles des autres paramètres du bilan hydrologique (précipitation, lame écoulée).

A partir des résultats de BALINGORE, on peut estimer, sans grand risque d'erreur, que l'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE INTERANNUELLE DANS LA REGION DE BIGNONA EST COMPRISE ENTRE 1 400 ET 1 500 mm.

1.3 ESTIMATION DE L'ECOULEMENT SUR LE BASSIN DU MARIGOT DE BIGNONA

1.3.1 Généralités et étalonnage

Deux stations ont été installées sur le marigot de BIGNONA en amont du bief influencé par la marée (haut-bassin ou partie continentale).

Ce sont les stations de SANDOUGOU et de SINDIAN dont les caractéristiques sont indiquées ci-dessous.

Station	Coordonnées de la station		Superficie du bassin versant contrôlé
	Longitude	Latitude	
SANDOUGOU	16° 11' 00"	12° 52' 20"	84,7 km ²
SINDIAN	16° 11' 25"	12° 57' 30'	11,9 km ²

La station de SANDOUGOU a été équipée fin juillet 1970 d'un limnigraphe OTT X et d'un élément d'échelle 0-1 dont le zéro est à 1,760 m sous une borne repère placée sur une butte en rive gauche.

La station de SINDIAN comprend un limnigraphe OTT X et 1 élément d'échelle 0-1 dont le zéro est à 1,224 m sous un repère constitué par le 1er boulon du pont en rive gauche, les équipements étant placés en aval du pont en rive gauche.

Dix neuf mesures de débit ont été effectuées à SANDOUGOU, quatorze seulement à SINDIAN.

Le tableau 2 donne la liste des jaugeages effectués en 1970.

L'étalonnage qui a été déduit de ces mesures est relativement imprécis car il comporte une large part d'extrapolation ou d'interpolation comme le montrent les courbes de tarage de la figure 4.

Tableau 2

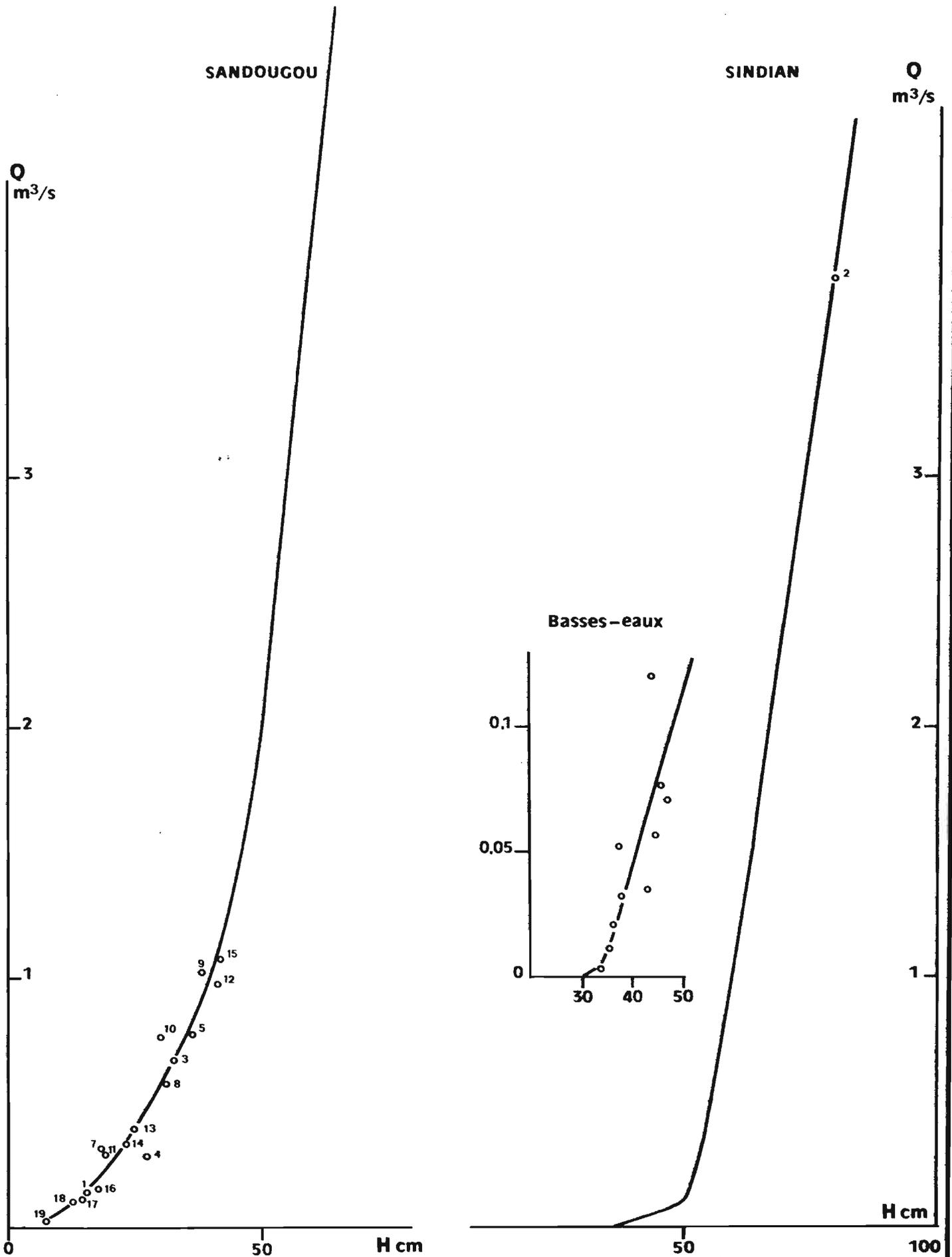
Liste des jaugeages

Station	N°	Date	Hauteur (en cm)	Débit (m ³ /s)
SANDOUGOU	1	28.07.70	018	0,178
"	2	30.07.70	043-041 ⁵	3,07
"	3	17.08.70	033-032	0,660
"	4	20.08.70	027	0,280
"	5	22.08.70	036-035 ⁵	0,763
"	6	26.08.70	018 ⁵	0,380
"	7	28.08.70	018	0,318
"	8	31.08.70	031	0,572
"	9	02.09.70	038 ⁵ -038	1,01
"	10	05.09.70	030	0,756
"	11	10.09.70	019	0,296
"	12	14.09.70	041-040	0,977
"	13	09.10.70	024 ⁵	0,390
"	14	14.10.70	023 ⁵	0,325
"	15	17.10.70	042-043	1,063
"	16	29.10.70	015 ⁵	0,155
"	17	14.11.70	014 ⁵	0,103
"	18	25.11.70	012 ⁵	0,102
"	19	29.12.70	007 ⁵	0,0184
SINDIAN	1	25.07.70	029	0,030*
"	2	29.07.70	080	3,79
"	3	30.07.70	041 ⁵	0,086
"	4	22.08.70	047	0,095
"	5	27.08.70	043	0,035
"	6	31.08.70	047	0,070
"	7	03.09.70	044 ⁵	0,056
"	8	07.09.70	046	0,0764
"	9	10.10.70	037 ⁵	0,052
"	10	16.10.70	044-043 ⁵	0,110
"	11	29.10.70	038	0,032
"	12	14.11.70	036 ⁵	0,020
"	13	25.11.70	035 ⁵	0,011
"	14	19.12.70	034	3 l/s

* : Les valeurs en italiques sont approximatives.

ETALONNAGE DES STATIONS CONTINENTALES
DU MARIGOT DE BIGNONA

Fig. 4



Dans le cas de SANDOUGOU, le jaugeage n° 2 du 30/07/1970 n'a pas été utilisé comme point d'appui de la courbe. La répartition des autres points de mesure autour de la courbe retenue paraît satisfaisante.

A SINDIAN, une interpolation linéaire entre le jaugeage n° 2 du 29/07/1970 et ceux de basses-eaux paraît traduire avec une bonne approximation la relation hauteurs-débits.

Pour les deux stations, l'échantillon de mesures ne permet pas d'affirmer avec certitude que les relations hauteurs-débits suivent une loi univoque. On peut cependant conclure que l'étalonnage retenu aboutit à une bonne estimation des volumes écoulés au cours de la saison 1970, la part des volumes de fortes crues étant réduite par rapport à ceux de l'écoulement de base mieux connus.

Les barèmes d'étalonnage (hauteurs-débits) ont été indiqués ci-après pour des variations à l'échelle de 5 en 5 cm.

SANDOUGOU

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
000	0,000	020	0,250	040	1,000	060	4,000
005	0,000	025	0,390	045	1,400	065	5,000
010	0,060	030	0,570	050	2,000	070	6,000
015	0,140	035	0,770	055	3,000		

SINDIAN

H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
030	0,000	045	0,080	060	1,060	075	3,100
035	0,010	050	0,0115	065	1,720	080	3,800
040	0,045	055	0,460	070	2,400	085	4,480

1.3.2 Débits et bilan de l'écoulement de surface en 1970 sur le Haut-bassin de BIGNONA (partie continentale)

Par planimétrage des hydrogrammes obtenus à partir des enregistrements limnigraphiques aux stations de SINDIAN et de SANDOUGOU, on a calculé les débits moyens journaliers qui ont été déterminés à partir des courbes de tarissement. Celles-ci ont été ajustées aux mesures de débit ponctuelles effectuées en période de tarissement (cf. figure 5). Cette détermination paraît plus précise que la simple traduction des hauteurs en débits. En effet il est difficile d'apprécier sur les enregistrements les variations de hauteur de moins d'un demi centimètre, ce qui conduit pour les faibles débits à une erreur relative importante. Bien entendu, l'utilisation des courbes de tarissement suppose que la décroissance des débits provenant de la vidange des nappes suit une loi exponentielle, ce qui est généralement vérifié, de la forme $Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$.

On notera que le paramètre α ou coefficient de tarissement prend des valeurs voisines pour les deux stations :

- SINDIAN = $4,44 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1}$
- SANDOUGOU = $4,21 \cdot 10^{-2} \text{ j}^{-1}$

Ces valeurs sont relativement fortes et témoignent d'un tarissement rapide des réserves souterraines, au moins dans la partie continentale du bassin.

Les tableaux 3 et 4 donnent les débits moyens journaliers en 1970-1971. Les figures 5 et 6 présentent leurs variations à SINDIAN et SANDOUGOU.

Tableau 3

Marigot de Bignona à SINDIAN

Débits moyens journaliers 1970 (en m³/s).

Jours	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr
1				0,100	0,033	0,092	0,029	0,008	0,002			
2				0,550	0,066	0,075	0,028	0,008	0,002			
3				0,133	0,050	0,025	0,027	0,007	0,002			
4				0,100	0,166	0,025	0,026	0,007	0,002			
5				0,660	0,350	0,025	0,025	0,007	0,002			
6				0,983	0,116	0,058	0,024	0,006	0,002			
7			P	0,250	0,083	0,025	0,023	0,006	0,002			
8			A	0,166	0,100	0,025	0,022	0,006	0,0015			
9			S	0,116	0,066	0,025	0,021	0,006				
10				0,066	0,050	0,025	0,020	0,005				
11			D	0,566	0,066	0,025	0,019	0,005				
12			E	0,383	0,183	0,025	0,018	0,005				
13			C	0,233	0,133	0,025	0,018	0,005				
14			O	0,150	0,083	0,025	0,017	0,004	F			
15			U	0,100	0,083	0,042	0,016	0,004	I			
16			L	0,166	0,583	0,066	0,015	0,004	N			
17			E	0,116	0,100	0,392	0,015	0,004	D			
18			M	0,083	0,150	0,058	0,014	0,004	'			
19			N	0,083	0,150	0,025	0,014	0,004	E			
20			T	0,116	0,100	0,025	0,013	0,003	C			
21				0,216	0,100	0,025	0,012	0,003	O			
22				0,083	0,100	0,030	0,012	0,003	U			
23				0,066	0,192	0,028	0,011	0,003	L			
24				0,066	0,125	0,025	0,011	0,003	E			
25				0,050	0,092	0,024	0,010	0,003	M			
26			0,066	0,066	0,133	0,023	0,010	0,003	E			
27			0,033	0,083	0,108	0,023	0,009	0,002	N			
28			0,133	0,433	0,083	0,023	0,009	0,002	T			
29			1,370	0,066	0,066	0,030	0,009	0,002				
30			0,093	0,066	0,142	0,030	0,008	0,002				
31			0,083	0,416		0,030		0,002				
Moy.				0,198	0,139	0,045	0,017	0,004	0,002			

Tableau 4

Marigot de Bignona à SANDOUGOU

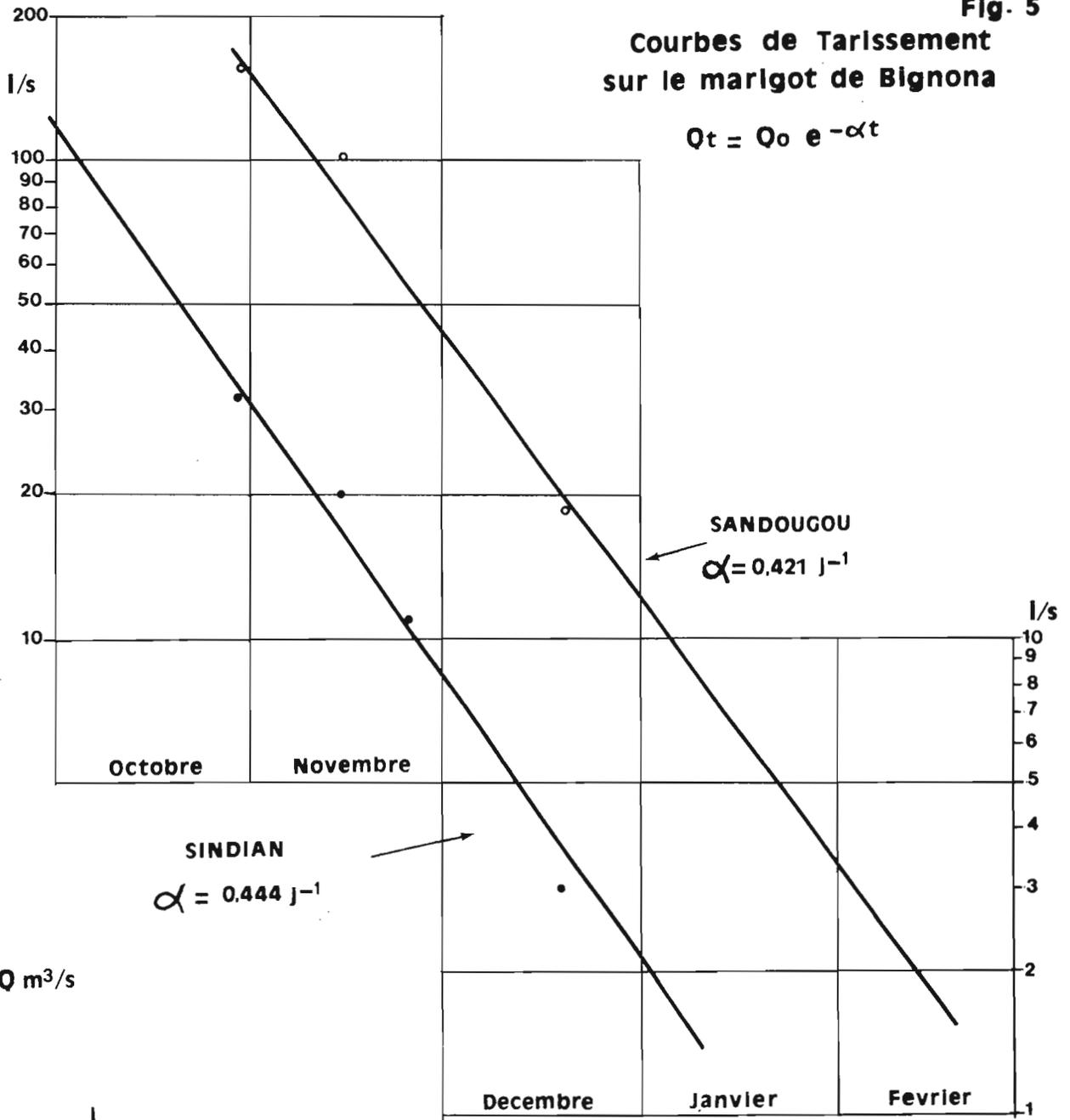
Débits moyens journaliers 1970 (en m³/s).

Jours	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mars	Avr
1				0,383	0,885	0,750	0,150	0,042	0,012	0,003		
2				1,32	0,866	0,600	0,145	0,041	0,011	0,003		
3				1,57	0,533	0,516	0,140	0,039	0,011	0,003		
4				0,700	0,566	0,416	0,135	0,038	0,010	0,003		
5				0,633	0,633	0,316	0,128	0,036	0,000	0,003		
6			P	1,20	0,866	0,350	0,122	0,035	0,009	0,003		
7			A	2,83	0,816	0,416	0,118	0,033	0,009	0,0025		
8			S	1,10	0,566	0,400	0,112	0,032	0,009	0,0024		
9				0,550	0,433	0,383	0,108	0,030	0,008			
10			D	0,633	0,283	0,350	0,104	0,029	0,008			
11			E	0,616	0,400	0,250	0,098	0,028	0,008			
12			C	1,33	0,583	0,366	0,094	0,027	0,007			
13			O	1,95	3,33	0,400	0,090	0,026	0,007			
14			U	1,00	1,30	0,366	0,086	0,025	0,007	F		
15			L	0,816	1,01	0,383	0,083	0,024	0,007	I		
16			E	0,760	1,83	0,700	0,080	0,023	0,006	N		
17			M	0,733	3,50	1,17	0,076	0,022	0,006	D		
18			E	0,666	1,55	1,04	0,074	0,021	0,006	'		
19			N	0,600	0,750	0,800	0,070	0,020	0,005	E		
20			T	0,483	0,500	0,683	0,068	0,019	0,005	C		
21				0,570	0,466	0,533	0,065	0,018	0,005	O		
22				0,866	0,433	0,416	0,062	0,018	0,005	U		
23				0,650	0,433	0,350	0,059	0,017	0,005	L		
24				0,060	0,466	0,433	0,266	0,057	0,016	E		
25				0,100	0,300	0,500	0,233	0,054	0,016	M		
26				0,110	0,200	0,433	0,200	0,052	0,015	E		
27				0,240	0,183	0,416	0,170	0,050	0,014	N		
28				0,220	0,183	0,35	0,160	0,048	0,014	T		
29				1,63	0,366	0,433	0,160	0,047	0,013			
30				1,40	0,600	0,566	0,160	0,045	0,013			
31				0,633	0,768		0,155		0,012			
				0,807	0,856	0,429	0,087	0,025	0,007			

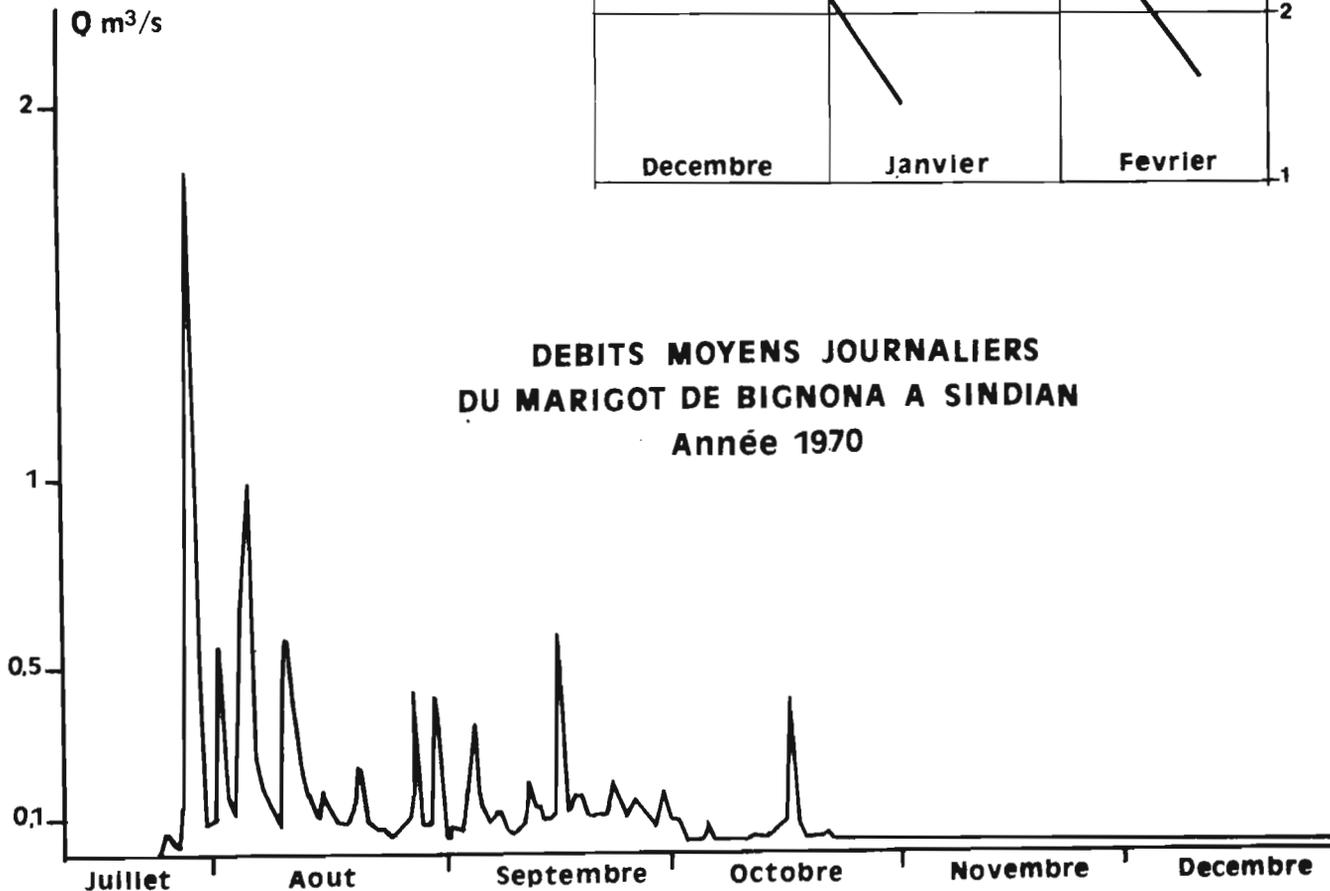
Fig. 5

Courbes de Tarissement
sur le marigot de Bignona

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t}$$



DEBITS MOYENS JOURNALIERS
DU MARIGOT DE BIGNONA A SINDIAN
Année 1970



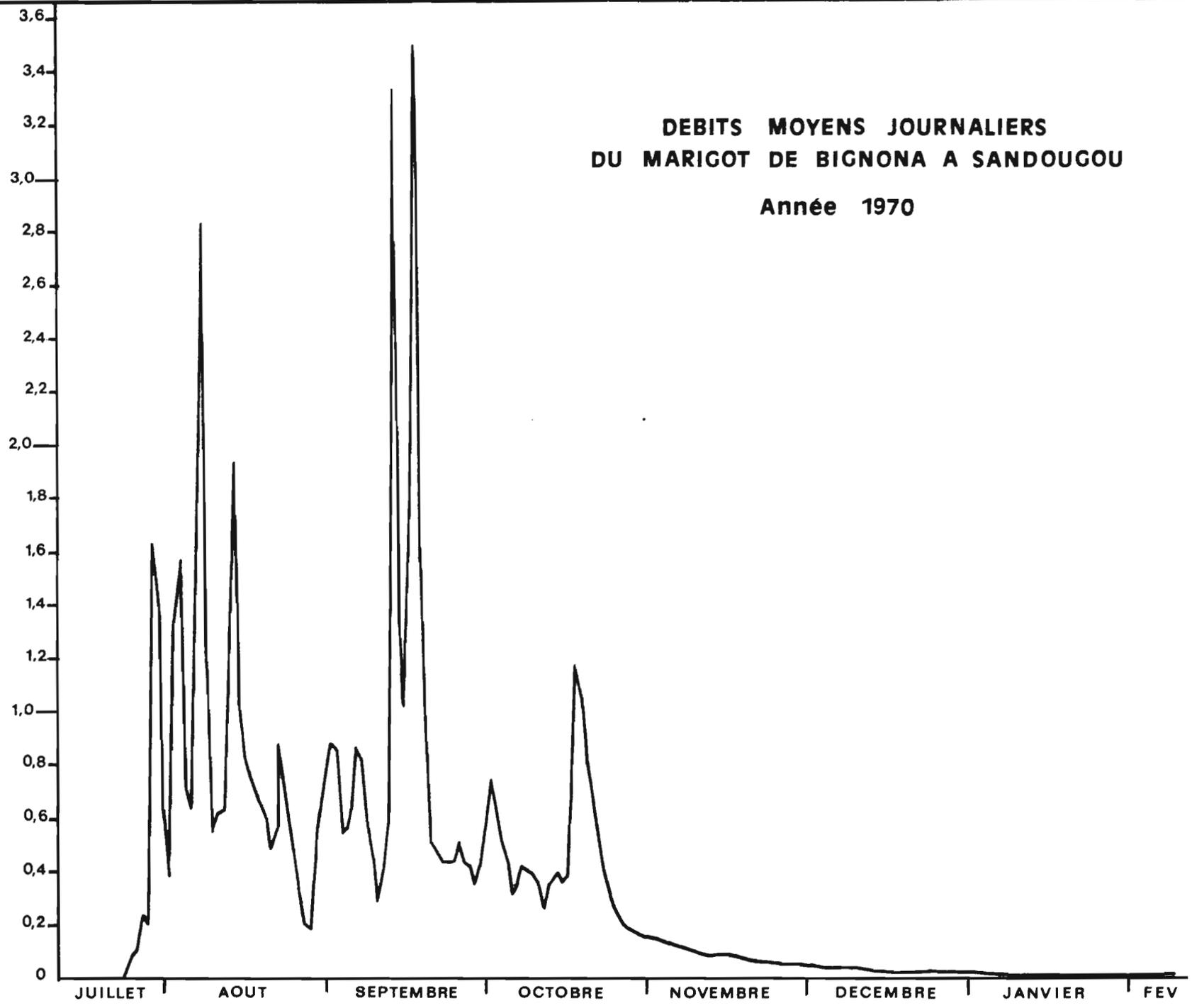


FIG. 6

A SINDIAN, l'écoulement débute le 26 juillet 1970 et se termine le 8 janvier 1971 (167 jours). Le débit moyen journalier le plus élevé (1,82 m³/s) est observé le 29 juillet.

A SANDOUGOU, l'écoulement débute le 24 juillet ; il se termine vers le 8 février (200 jours). Les débits moyens journaliers les plus élevés sont observés le 13 septembre (3,33 m³/s) et le 17 septembre (3,50 m³/s).

Les débits moyens mensuels les plus forts sont observés au mois d'août, pour SINDIAN, au mois de septembre pour SANDOUGOU.

Le module annuel (1970) est de :

- 38,7 l/s à SINDIAN, soit 3,26 l/s/km²,
- 200 l/s à SANDOUGOU, soit 2,35 l/s/km².

Les volumes écoulés sont indiqués ci-après, mois par mois, en milliers de m³.

Station	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Année 70-71
SINDIAN	153	531	359	121	44,0	11,83	1,21	-	1222
SANDOUGOU	427	2163	2218	1150	226,4	65,53	18,01	1,93	6270

Les lames écoulées sont les suivantes (en mm) :

Station	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Année 70-71
SINDIAN	12,9	44,6	30,2	10,2	3,69	0,99	0,10	-	103
SANDOUGOU	5,05	25,5	26,2	13,6	2,27	0,77	0,21	0,02	74,0

Le coefficient d'écoulement annuel 1970 ($K_e \% = 100 \text{ He/Pm}$) est de : 9,0 % à SINDIAN (avec $P_m = 1150 \text{ mm}$),
de : 5,9 % à SANDOUGOU (avec $P_m = 1253 \text{ mm}$).

Il est une fois et demie plus fort à SINDIAN. Ceci provient d'une meilleure aptitude au ruissellement du bassin de SINDIAN comme on le verra plus loin.

De fait, le coefficient d'écoulement de SANDOUGOU est probablement plus représentatif de l'écoulement de surface des zones continentales du bassin du marigot de BIGNONA. On relève pour le bassin de la CASAMANCE à KOLDA en 1969 pour une pluviométrie de 1 200 mm (année moyenne) un coefficient d'écoulement de 6 % tout à fait comparable (Y. BRUNET-MORET [4]).

Plus proches de BIGNONA, les bassins de DJINONAYE (11 km²), TANKORON (43 km²) et DJANGO (135 km²) ont été suivis au cours de l'année 1966-1967. Limitrophes à l'Est du bassin de BIGNONA, ils présentent une physionomie très voisine de celui-ci. On a observé pour 1966-1967 :

Bassin	Km ²	He mm	Pm mm	$K_e \%$
DJINONAYE	11	32	1355	2,4
TANKORON	43	140	1330	10,5
DJANGO	135	140	1255	11,2

Sur les deux plus grands bassins, l'écoulement se poursuit jusqu'à la fin du mois de mai, et la part de l'écoulement provenant du tarissement (vidange des nappes) est importante : de 57,5 mm, soit 4,3 % de Pm à TANKORON ; de 38,2 mm, soit 3,1 % de Pm à DJANGO.

Sur le haut-bassin du marigot de BIGNONA, l'écoulement de saison sèche (1970) est peu important pour la raison essentielle probable que le réseau hydrographique supérieur ne constitue qu'un drain momentané étant moins profondément encaissé dans le plateau du continental terminal que le marigot voisin (DJANGO).

L'écoulement de saison sèche (1970-1971) ne porte que sur 4,78 mm à SINDIAN (soit 0,42 % de Pm) et 3,67 mm à SANDOUGOU (soit 0,3 % de Pm), soit dix fois moins qu'en 1966-1967 sur le marigot de DJANGO.

Si l'on fait abstraction de cette partie de l'écoulement ressortant plus directement du bilan des eaux souterraines et largement influencée par les topographies respectives des bassins, on aboutit à des coefficients d'écoulement voisins d'un bassin à l'autre. Ainsi, à partir des résultats de l'année 1966-1967 et de l'année 1970-1971, proches de la moyenne sur le plan des précipitations reçues, le coefficient de l'écoulement annuel superficiel est de :

- 8,6 % à SINDIAN,
- 5,6 % à SANDOUGOU,
- 6,2 % à TANKORON,
- 8,1 % à DJANGO.

Un coefficient moyen de 6 % peut être retenu pour l'écoulement de surface de la région en année normale. Précisons qu'il concerne essentiellement les volumes écoulés pendant les 4 mois principaux de la saison des pluies, de juillet à octobre inclus, et ce sur la partie purement continentale des bassins.

1.3.3 L'écoulement sur l'ensemble du bassin de BIGNONA

Plus à l'aval, les bassins comprennent des zones basses marécageuses ou de mangroves, soumises à l'influence de la marée. Eventuellement découvertes à marée basses ces zones restent toutefois saturées d'eau et les précipitations qu'elles reçoivent participent pratiquement dans leur totalité au bilan de l'écoulement.

Le planimétrage de ces zones sur documents cartographiques ayant probablement conduit à surestimer leur importance, nous avons ramené à 0,8 le coefficient d'écoulement sur ces surfaces.

Le coefficient d'écoulement global en année normale pourrait donc devenir :

Marigot de BIGNONA contrôlé à	Superficie totale km ²	Superficie des zones basses km ² (à Ke = 0,8)	Reste du Bassin km ² (à Ke = 0,06)	Coefficient d'écoulement global %
BIGNONA	306	1,7	304,3	6,4
ETEKOME	509	29,8	479,2	10,3
DJILOGUIRE	650	64	586	13,3
ELORA	718	107	611	17

Mais ces résultats doivent être sérieusement nuancés du fait d'écoulements très contrariés par la marée, d'une part, et d'une évaporation non négligeable sur les surfaces inondées d'autre part.

Autrement dit, les coefficients indiqués n'ont d'autre intérêt ici que de fournir une indication sur le volume d'eau qui participe dans l'année à l'adoucissement saisonnier des biefs soumis à l'influence maritime et qui est en partie repris par évaporation.

Pour des précipitations en année normale de 1 350 à 1 450 mm, suivant les bassins, ces volumes seraient de l'ordre de :

- 26.10⁶ m³ à BIGNONA,
- 70.10⁶ m³ à ETEKOME,
- 120.10⁶ m³ à DJILOGUIRE,
- 170.10⁶ m³ à ELORA.

L'évaporation annuelle sur les zones basses est d'au moins 1 400 mm, soit, en ramenant celles-ci à 0,8 des surfaces indiquées [cf. plus haut], des volumes évaporés correspondants de :

- 2,0.10⁶ m³ pour BIGNONA,
- 33,5.10⁶ m³ " ETEKOME,
- 72.10⁶ m³ " DJILOGUIRE,
- 120.10⁶ m³ " ELORA.

En définitive, on a par différence les volumes d'eau douce qui ont réellement transité à l'aval de la station au niveau du bilan annuel en années moyenne.

Station	S km ²	V.10 ⁶ m ³	Module m ³ /s	module spécifique l/s/km ²
BIGNONA	306	24	0,76	2,5
ETEKOME	509	36,5	1,2	2,3
DJILOGUIRE	650	48	1,5	2,3
ELORA	718	50	1,6	2,2

Bien entendu, une telle détermination à l'échelle de l'année ma^sque les mécanismes extrêmement complexes qui entrent en jeu dans le bilan de l'écoulement de marigots de ce type influencés par la marée.

Ainsi, l'évaporation des zones inondées concerne des eaux à salinité croissante pendant la saison sèche car l'écoulement des apports d'eau douce n'est observé que pendant les quelques mois de saison des pluies ; mais, c'est aussi de cet écoulement que dépendent les conditions de salinité à l'aval qui commanderont en saison sèche celles du marigot par l'intrusion de volumes compensatoires de l'évaporation (intrusion liée à l'onde de marée) et par la migration plus ou moins rapide vers l'amont du sel.

Les volumes et modules calculés correspondent bien à un écoulement net d'apports en eau douce qui échappent aux bassins considérés.

Ceci nous ramène donc à des coefficients d'écoulement efficace de l'ordre de 6 à 5 % .

1.4 LES EAUX SOUTERRAINES

1.4.1 Le réseau de mesures

Un réseau relativement dense de piézomètres et de puits a été installé dans la région étudiée, au cours des années, en particulier par le Génie Rural (G.R.).

Sur trente points de mesure initialement retenus, l'ORSTOM a effectué des observations régulières sur 14 puits et piézomètres pendant une période de huit à neuf mois. Les observations ponctuelles réalisées sur les autres puits n'ont pas été exploitées ici.

La carte (fig. 1) indique l'implantation des différents points de mesure dont le tableau ci-après donne les caractéristiques :

N°	Lieu dit	Altitude-repère (m)	Profondeur (m)	Observations
PZ 1	ETEKOME	2,65		piézomètre ORSTOM bord marigot repère + 0,02 m borne G.R.
PZ 2	BALINGOR			piézomètre ORSTOM
BP 11	BALINGOR	3,04	3,06	piézomètre (hauteur tube : 0,60)
KP 21	KAPARAN	2,67	2,58	piézomètre croisement piste BALINGOR- route de BIGNONA
1	BALINGOR ORSTOM			
8	TINDIENE Ecole	20 m	15,92	margelle-repère à + 0,79 m du sol
9	TANGOUT	8 m	5,46	
10	SINDIAN (CER)		7,61	
12	DIAGON	27 m	15,36	margelle-repère à + 0,56 m du sol
13	BADIOURE		10,41	
14	MANGOULE Village		15,91	
22	BIGNONA Pont		2,66	
23	TABI		4,52	margelle-repère à + 0,55 m du sol

N.B. : Les valeurs en italiques sont estimées.

Précisons que les piézomètres ORSTOM 1 et 2 étaient équipés de limnigraphes OTT X à rotation hebdomadaire.

Faute de rattachement altimétrique connu pour la plupart des points de mesure, l'étude hydrogéologique s'est limitée à suivre dans le temps le niveau de la nappe par rapport aux repères (sommet du tube de piézomètre ou margelle du puits) choisis comme origine (zéro).

1.4.2 Variation du niveau piézométrique

Les figures 7 à 11 donnent ces variations de juin 1970 à février 1971 pour douze puits et piézomètres.

Elles permettent de distinguer trois ensembles principaux :

- 1° Points de mesure situés en bordure des zones inondables ou du marigot (piézomètre n° 1 à ETEKOME BALINGOR, piézomètre KP 21, puits n° 22 à BIGNONA).

2° Points de mesure situés sur des interfluves de faible altitude ou sur leurs versants atteignant la nappe à faible ou moyenne profondeur (BALINGOR, SINDIAN, TABI, TANGOUT).

3° Points de mesure situés sur des interfluves d'altitude plus marquée (supérieure à 20 m) atteignant la nappe à une profondeur nettement plus importante (MANGOULE, DIAGON, TINDIENE).

- Dans les puits et piézomètres de la première catégorie, la nappe est peu profonde (entre 1 et 2 m). On note une réponse rapide de la nappe aux premières pluies de juin (PZ1, KP 21) et de juillet (n° 22). Le niveau piézométrique atteint son maximum dès le début du mois d'août, à quelques décimètres seulement en-dessous de la surface du sol. Ce maximum persiste sous forme de palier jusqu'à la fin de la saison des pluies ; une lente décrue de la nappe s'amorce en octobre ($\Delta s = 10 \text{ cm/mois}$) ; le faible gradient hydraulique lié au niveau de base oscillant (marées) du marigot proche explique la lente vidange de la nappe pendant la saison sèche. Cette influence du marigot se traduit d'ailleurs par une salinité des eaux non négligeable au piézomètre n° 1 où on a mesuré jusqu'à 35,5 g/l de sels le 20 juin ; la salinité décroît ensuite régulièrement jusqu'à la mi-octobre où on relève encore 2,8 g/l. (L'implantation de PZ1 dans les sables du tann favorise les échanges avec le milieu du marigot.)⁽¹⁾

A BIGNONA (22), les salinités sont très faibles (comprises entre 270 et 65 mg/l).

Le piézomètre KP 21 implanté en retrait du marigot de BIGNONA présente un comportement légèrement différent des points PZ1 et n° 22.

(1) : Cette influence du marigot se limite à un transfert de sels au niveau de la nappe, transfert très limité dans l'espace puisque pour le puits de BIGNONA à peine plus éloigné du marigot il n'est plus sensible, à moins que le transfert de sels soit spécifique aux zones plus sableuses. Les enregistrements sur le piézomètre PZ1 montrent que l'onde de marée n'a aucune influence sur le niveau piézométrique.

L'amplitude annuelle du niveau piézométrique de la nappe est de l'ordre de 1 m. Elle est limitée par la faible épaisseur de la zone non saturée qui conduit à une alimentation optimale des besoins en évapotranspiration et pendant les pluies à de fortes potentialités du ruissellement.

Précisons toutefois la faible extension en superficie de cette zone par rapport à l'ensemble du bassin.

- Les puits et piézomètres de la seconde catégorie intéressent, par contre, de vastes superficies sur le bassin versant du marigot de BIGNONA, tant à l'aval (BALINGOR) qu'à l'amont (SINDIAN).

La nappe est atteinte en fin de saison sèche entre 5 et 10 m de profondeur suivant les puits.

Les figures 8, 9 et 10 mettent en évidence un comportement général identique des variations du niveau piézométrique. On remarque en particulier une réponse assez tardive de la nappe aux premières précipitations. Celles-ci par infiltration reconstituent d'abord le stock d'eau de la zone non saturée. Les pluies abondantes de la fin juillet et du mois d'août entraînent une recharge rapide de la nappe pendant le mois d'août (le transfert rapide des apports à la nappe s'explique sans doute par un effet de chasse des nouveaux volumes infiltrés sur les volumes précédemment stockés dans la zone aérée).

Les courbes de la pluie cumulée des figures 8 et 9 illustrent bien la corrélation existant entre l'importance des précipitations et celle de la recharge de la nappe.

La courbe de remontée du niveau piézométrique s'infléchit dans la seconde quinzaine du mois d'août et le maximum est atteint en septembre, plus ou moins tôt suivant que la nappe est plus ou moins proche de la surface du sol. On observe dans plusieurs puits un second maximum consécutif à l'épisode pluvieux de la mi-octobre.

La décrue de la nappe est amorcée dès la fin octobre. Elle est plus rapide que pour les puits de bordure du marigot et homogène d'un puits à l'autre. De décembre à février, le rabattement de la nappe est d'environ 30 cm par mois. Cette décrue est altérée à TANGOUT par l'observation de deux périodes de remontée de la nappe (décembre puis janvier) qui pourraient traduire des apports retardés de la nappe amont.

L'amplitude annuelle des variations du niveau piézométrique est ici de 2 m à 2 m 50.

- Les puits de la troisième catégorie atteignent la nappe à plus de 15 m de profondeur lorsque le niveau piézométrique est au plus bas. Le minimum a été observé en juillet 1970. Le maximum est relevé à la mi-décembre pour les puits 14 et 12 (début décembre pour le puits 8) après une lente remontée du niveau de la nappe pendant cinq mois. Cette recharge de la nappe, relativement irrégulière, n'est pas directement influencée, à cette profondeur, par l'infiltration de tel ou tel épisode pluvieux. En effet sur une telle épaisseur, le transit des eaux d'infiltration jusqu'au niveau piézométrique ne dépend pas des seules forces de gravité ; les effets de la pesanteur sont considérablement retardés par la rétention du sol traversé. Seule une petite partie de l'eau infiltrée parvient jusqu'à la nappe. Ceci se traduit d'ailleurs par la faible amplitude annuelle du niveau piézométrique : 1,3 m à MANGOULE, 0,9 m à DIAGON, 0,5 m à TINDIENE. Il est probable dans ce cas que l'on aboutit à une recharge nulle de la nappe pour une année à déficit pluviométrique marqué.

Cette analyse rapide des variations du niveau de la nappe sur le bassin du marigot de BIGNONA permet de conclure dans tous les cas à une recharge de celle-ci essentiellement assurée par une alimentation verticale.

VARIATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE DE LA NAPPE EN BORDURE DES ZONES INONDABLES de JUIN 1970 à FÉVRIER 1971

Niveau piézométrique
m par rapport aux repères respectifs
des points de mesure

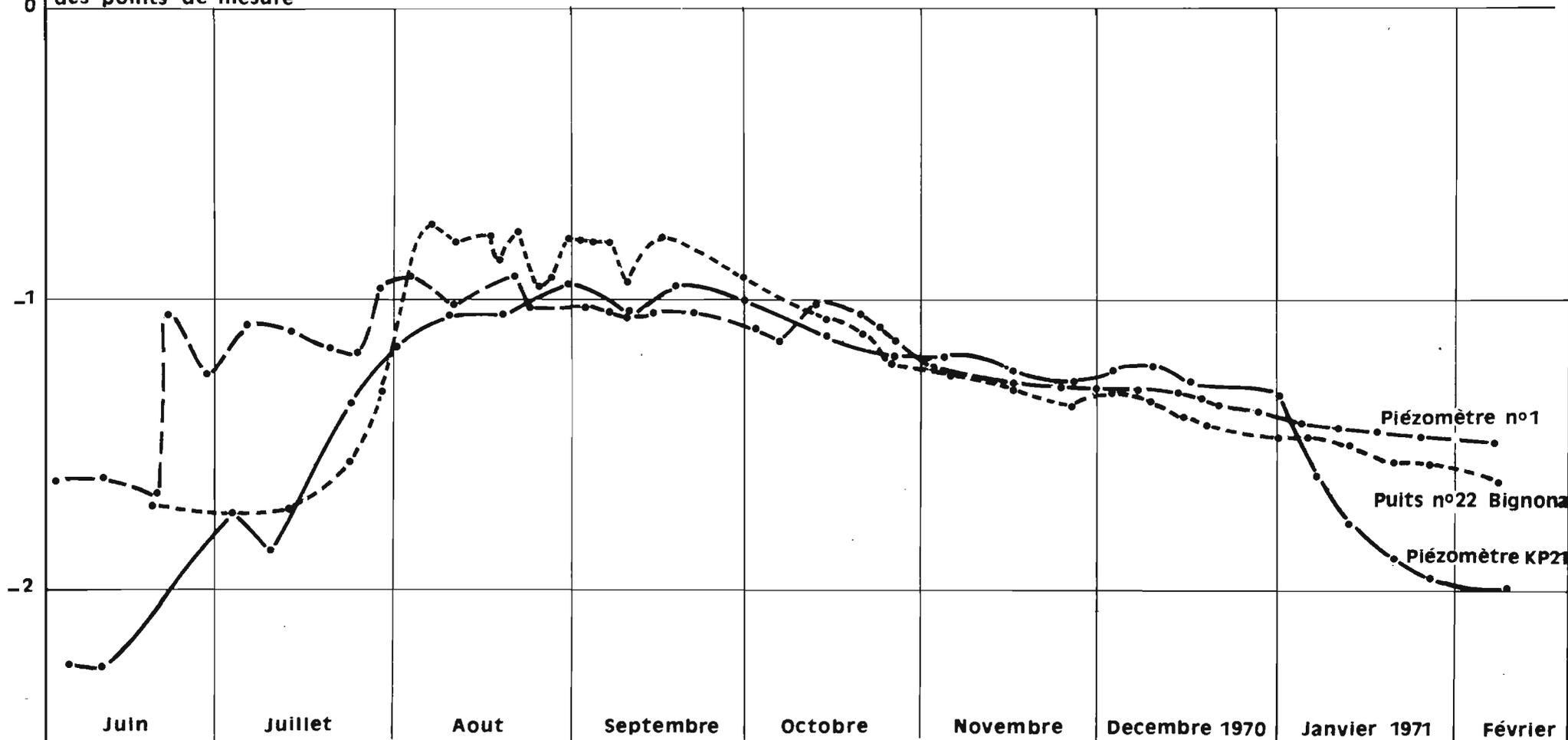


Fig. 7

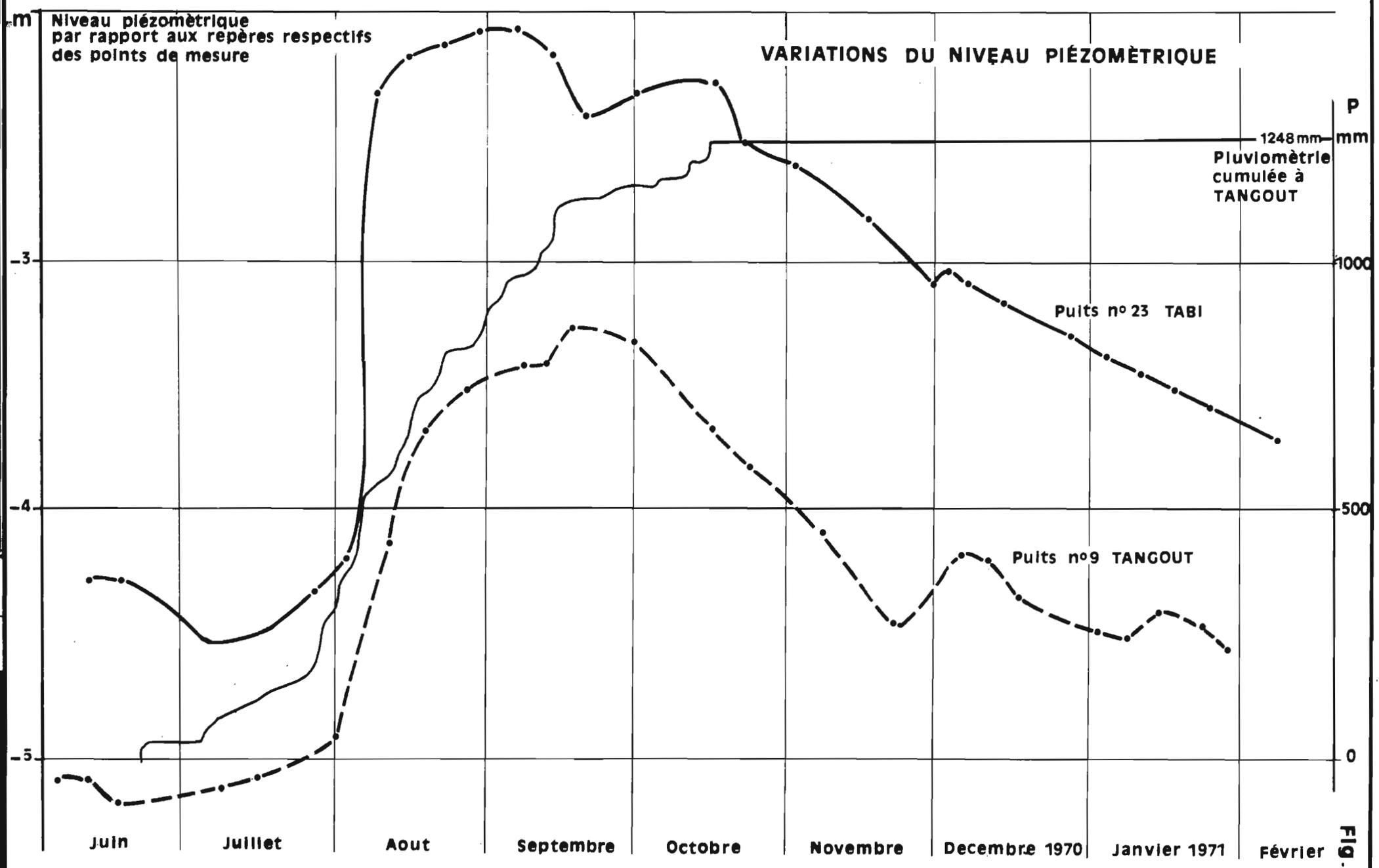


FIG. 8

VARIATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE A BALINGORE (base ORSTOM) ET A SINDIAN de JUIN 1970 à FÉVRIER 1971 ET PLUVIOMÉTRIE CUMULÉE

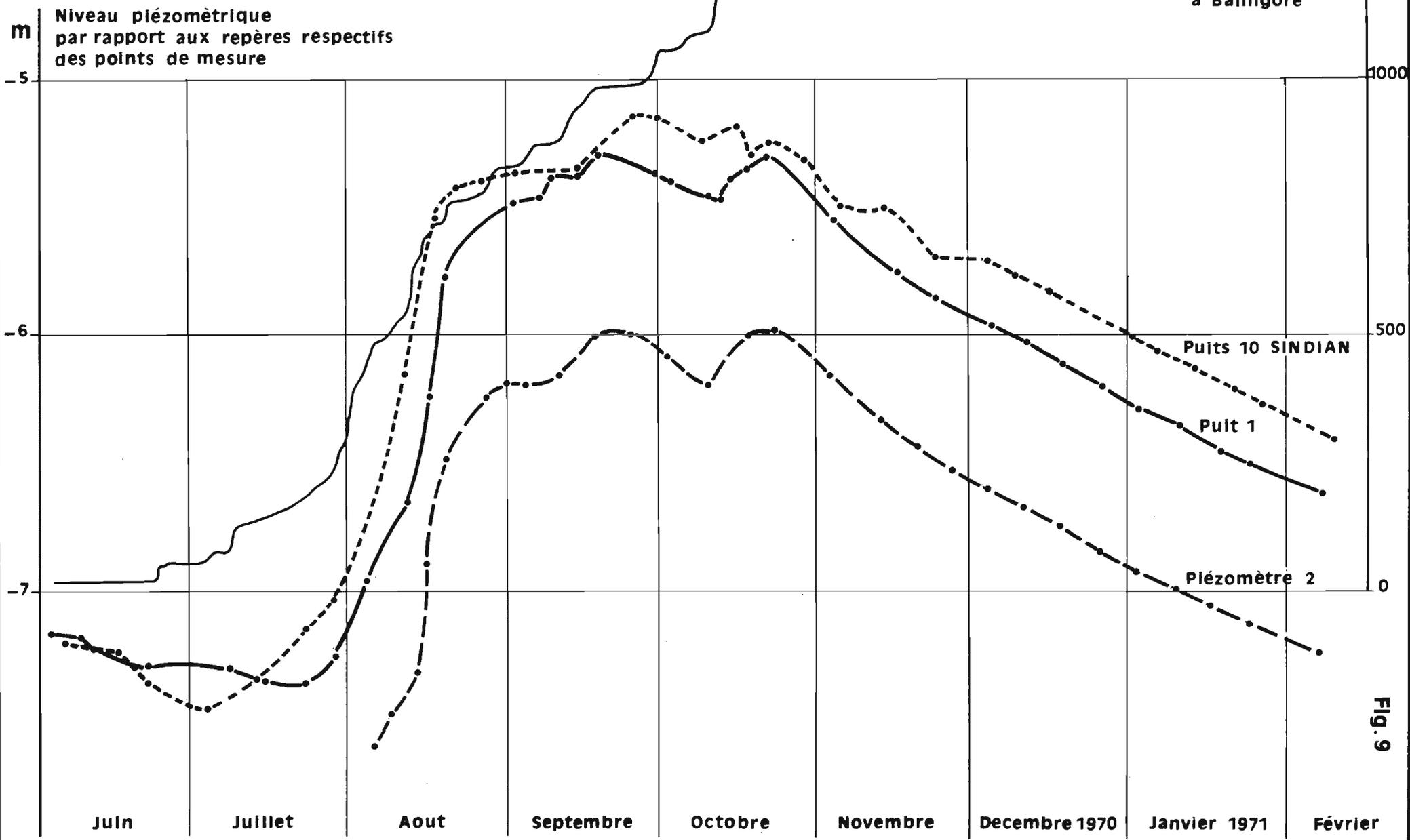


Fig. 9

VARIATIONS DU NIVEAU PIÉZOMÉTRIQUE A BADIOURÉ (n°13) de JUIN 1970 à FÉVRIER 1971

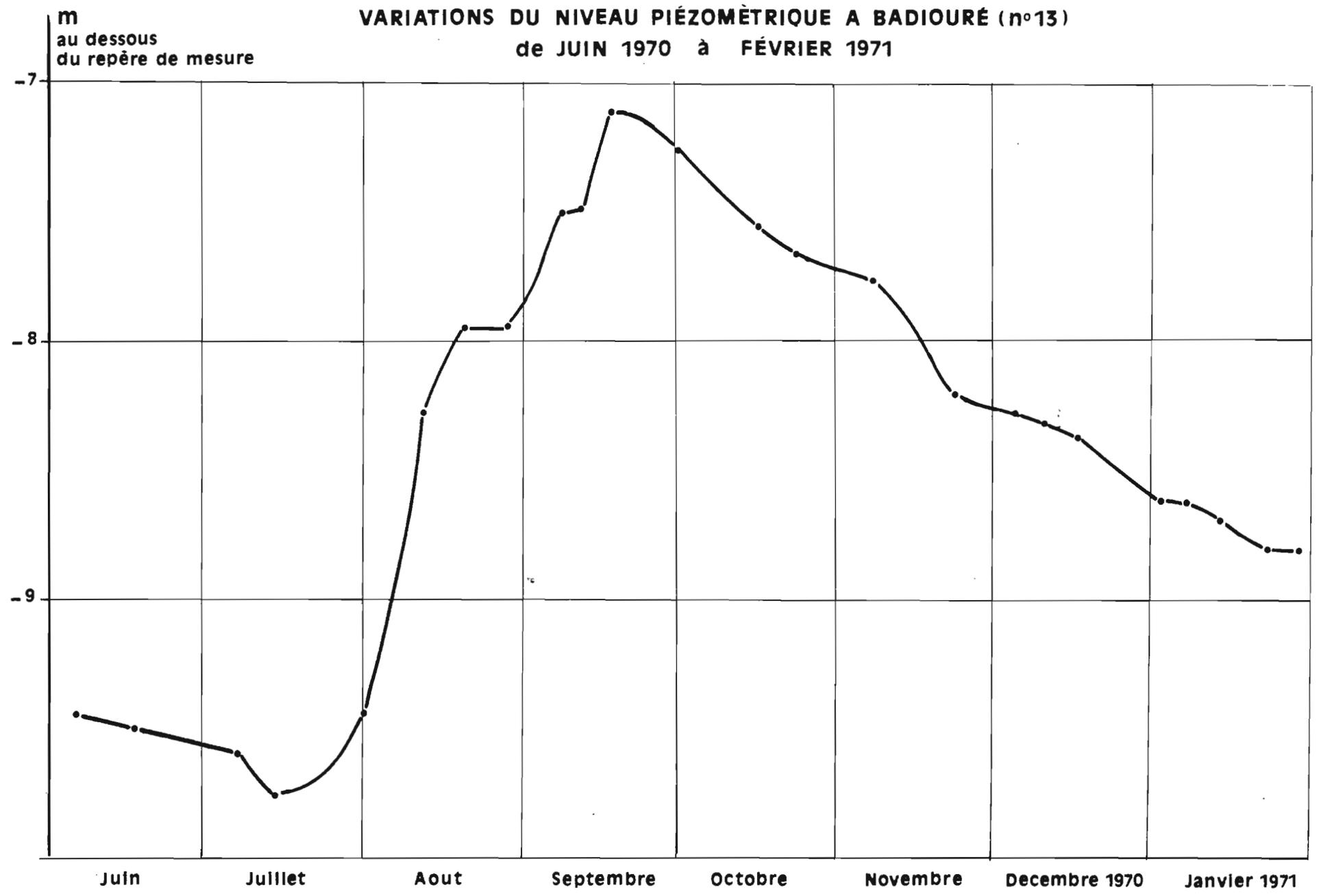


Fig. 10

VARIATIONS DU NIVEAU PIEZOMETRIQUE A MANGOULE, DIAGON ET TINDIENE
de JUIN 1970 à FÉVRIER 1971

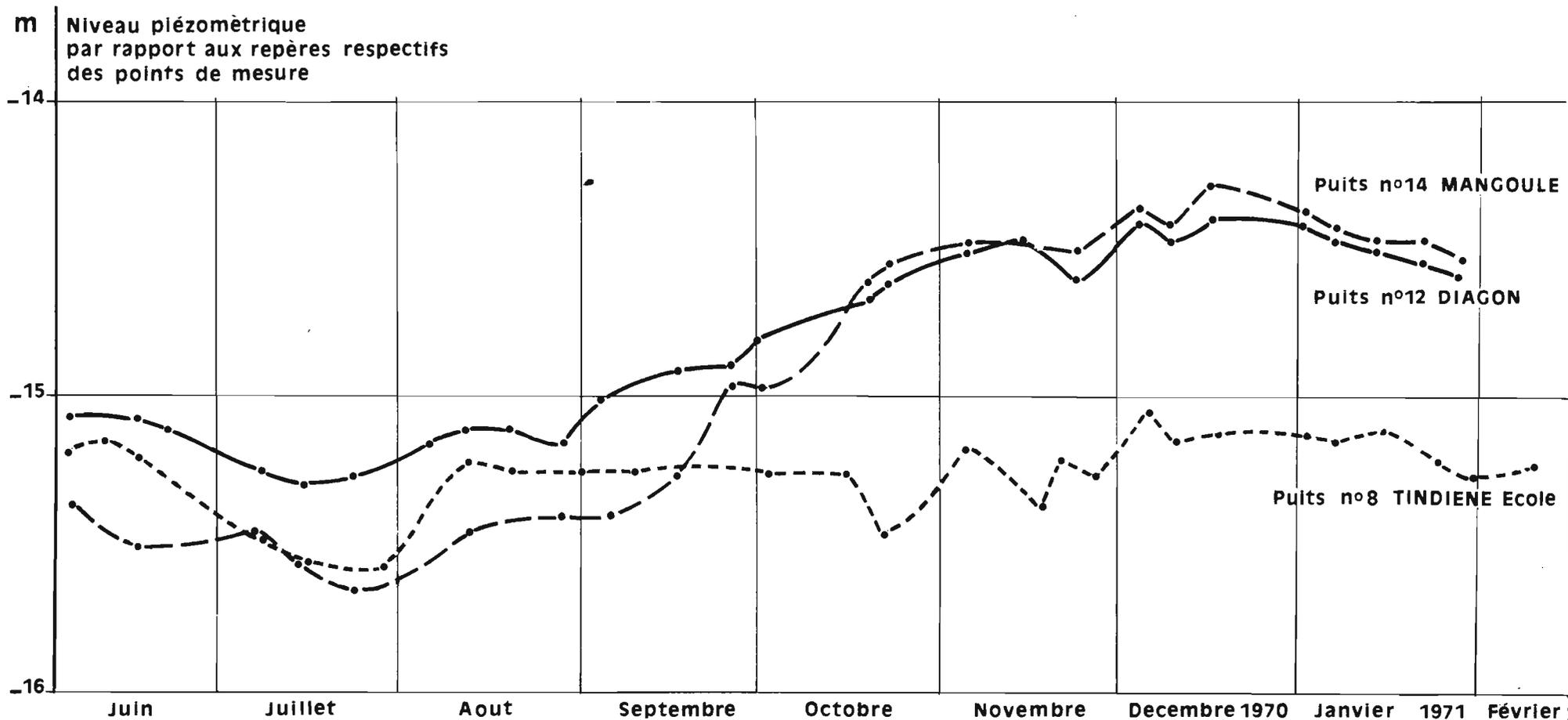


FIG. 11

1.4.3 Exploitation d'autres mesures

D'autres mesures permettent de préciser les mécanismes du bilan des eaux souterraines.

L'étude de Y. BRUNET-MORET sur le bassin de DJANGO (1966-1967) [2], voisin de celui de BIGNONA a mis en évidence la restitution par les nappes dans le réseau hydrographique d'une lame d'eau équivalente (cf. 1.3.2) :

- de 57,5 mm à TANKORON (43 km²),
- de 38,2 mm à DJANGO (135 km²).

Un réseau piézométrique de 10 puits assez bien répartis a permis de suivre les variations du niveau de la nappe. L'étude de ces variations nous a permis de retrouver les mêmes caractéristiques mises en évidence sur le bassin de BIGNONA pour les points de mesure des 2^{ème} et 3^{ème} catégories.

A partir du rabattement moyen de la nappe, entre le maximum de 1966 et le niveau relevé en mai 1967 (rabattement moyen calculé par simple moyenne arithmétique), on pouvait tenter une estimation quantitative de l'évolution des stocks d'eau de la nappe en choisissant une porosité du matériau aquifère de l'ordre de 10 %, valeur assez vraisemblable. Pendant la période correspondante du rabattement de la nappe, la lame d'eau équivalente qui a été estimée correspond :

- à la restitution dans le réseau hydrographique de débits de tarissement,
- à l'écoulement des eaux souterraines hors du bassin, dépendant du gradient hydraulique de la nappe,
- à la lame d'eau évaporée prélevée sur la nappe.

Les résultats obtenus pour les 2 bassins considérés sont les suivants pour l'année 1966-1967 :

BV de TANKORON : 43 km²

Bassin de DJANGO : 135 km²

- Niveau maximum moyen atteint par rapport à la surface du sol	- 10,7 m (4 puits)	- 8,3 m (10 puits)
- Rabattement au 15 mai	1,25 m	1,5 m
- Lamme d'eau équivalente avec $P = 0,1$	125 mm	150 mm
- Ecoulement des nappes en saison sèche (resti- tution dans le réseau hydrographique du B.V.)	57,5 mm	38,2 mm
- Lamme d'eau évaporée prélevée sur la nappe et drainée hors BV	67,5 mm	112 mm

Si l'on a des raisons de penser que la lamme d'eau drainée hors des bassins est sensiblement la même dans les 2 cas, la différence relevée entre TANKORON et DJANGO pourrait signifier qu'à la plus faible profondeur de la nappe pour DJANGO correspond une lamme d'eau consommée par évapotranspiration plus forte.

Ces estimations -dépendent de la porosité dont on ne connaît pas vraiment la valeur, -ne constituent bien sûr qu'une simple indication. Par ailleurs, ce calcul ne vaut -cela a été dit- que pour la période de rabattement de la nappe, c'est-à-dire pendant la phase de tarissement de celle-ci. Mais pendant la phase de recharge et la période de hautes-eaux de la nappe, il y a aussi écoulement : alimentation du débit de base dans le réseau hydrographique du bassin (pris en compte dans le bilan des eaux de surface) et écoulement de la nappe hors des limites du bassin. Durant cette même phase, les besoins en évapotranspiration sont satisfaits au niveau de la surface du sol ou de la sub-surface. Donc au niveau du bilan annuel,

l'inconnue majeure qui subsiste concerne l'écoulement souterrain de la nappe en dehors des bassins (ou occulte dans le réseau du bassin envahi par la marée).

En définitive, entre l'évapotranspiration de saison sèche alimentée par la nappe et les écoulements souterrains de la nappe, il faut peut-être envisager une lame d'eau de 200 à 300 mm intervenant dans le bilan annuel du bassin de DJANGO. Il est probable que les choses sont peu différentes pour le bassin de BIGNONA.

1.5 APPROCHE D'UN BILAN HYDROLOGIQUE

L'analyse des données se rapportant aux différents paramètres du cycle de l'eau permet de tenter une approche du bilan hydrologique pour l'année 1970-71 sur le bassin du marigot de BAILA à SANDOUGOU (84,7 km²).

Les résultats ont été reproduits dans le tableau ci-après de mai 1970 à avril 1971. Précipitations moyennes mensuelles (P) et lames écoulées mensuelles (H_E) procèdent de l'observation. On en déduit un déficit d'écoulement (D_E) qui totalise cette année-là 1 100 mm.

A partir des mesures qui ont permis de proposer des valeurs mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (ETP), on en déduit une estimation de l'évapotranspiration réelle mensuelle (E_R). Cette estimation est basée sur la règle classique d'une évapotranspiration égale aux précipitations quand celles-ci sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle et égale à cette dernière quand les précipitations lui sont supérieures, étant entendu que l'évapotranspiration réelle des mois de transition et des mois secs dépend des possibilités de restitution de réserves hydriques du sol estimées généralement à un stock disponible de 150 mm.

Les écarts (R_S) entre l'évapotranspiration réelle et le déficit d'écoulement se rapportent à l'évolution des réserves souterraines, stockage ou restitution et aux pertes par écoulement souterrain hors des limites du bassin.

$$\text{On a : } P = H_E + E_R + R_S.$$

Marigot de Bignona à SANDOUGOU

1970 - 1971

	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Janv	Fev	Mar	Avr	Année
P	1,0	29,5	346,5	456,6	260	80,4	0	0	0	0	0	0	1174
H_E	0	0	5,05	25,5	26,2	13,6	2,67	0,77	0,21	0,02	0	0	74
$D_E^{(1)}$	1	29,5	341,45	431,1	233,8	66,8	-2,67	-0,77	0,21	-0,02	0	0	1100
ETP	154	149	92	78	83	97	86	98	121	134	174	194	1460
E_R	1,0	29,5	92	78	83	97	60	30	15	7	5	3	500
$R_S^{(2)}$	0	0	249,3	353,1	151,2	-30,2	-62,7	-30,8	-15	-7	-5	-3	+600

(1) : Excédent indiqué avec le signe -.

(2) : Stockage indiqué avec le signe +, restitution avec le signe -.

Le terme R_S atteint ici 600 mm, valeur importante pour laquelle il est difficile de trouver une affectation précise dans le bilan.

Dans des études antérieures, ce terme a été retrouvé avec le même ordre de grandeur (KOLDA 1967-1968) et cela semble être une constante des régions hydrologiques de CASAMANCE, encore qu'il doit considérablement varier suivant qu'on est en année sèche ou en année humide.

Cette lame d'eau -600 mm en 1970 pour SANDOUGOU- a transité par le milieu souterrain ; il y a donc eu infiltration. Elle se distribue qualitativement en :

- apports complémentaires aux besoins de l'évapotranspiration dans les zones basses (où la nappe devient peu profonde) pour les mois de saison sèche,

- stockage interannuel dans la nappe pendant les périodes de pluviométrie excédentaire,
- écoulement souterrain de la nappe hors des limites des bassins avec apports occultes d'eau douce, au niveau des marigots envahis par la marée, que ce soit, suivant les gradients hydrauliques, vers le marigot de BIGNONA en aval de BIGNONA, vers celui de SOUNGROUGROU ou la CASAMANCE.

Il est très difficile d'estimer quantitativement cette répartition, d'autant que le poids respectif des différents termes variera suivant les bassins. Si l'on devait donc préciser la variation des différents termes du bilan, il faudrait revoir le calcul de l'évapotranspiration réelle pour les mois de saison sèche compte tenu de la superficie des zones basses susceptibles de satisfaire aux besoins de l'E.T.P., mais il faudrait surtout connaître la configuration de la surface piézométrique par des cartes en courbes isopièzes afin de déterminer le sens de l'écoulement, les axes drainants et les limites du bassin d'alimentation de la nappe (celles-ci ne sont pratiquement jamais en coïncidence avec les limites du bassin hydrographique). Il faudrait aussi multiplier les mesures afin d'avoir une bonne estimation des caractéristiques physiques et géométriques de la nappe.

En soulignant le rôle important joué par les eaux souterraines dans le bilan hydrologique en CASAMANCE, nous insistons sur la nécessité de ne pas dissocier, lors de campagnes futures, les mesures hydrogéologiques des mesures hydrologiques.

2. ETUDE DES CRUES

2.1 LES CRUES DES PETITS BASSINS

Les caractéristiques des principales crues observées en 1970 à SANDOUGOU et SINDIAN sont données dans le tableau 5.

Dans ce tableau, sont indiqués : la date de l'événement hydropluviométrique considéré, la hauteur moyenne de l'averse calculée par la méthode des courbes isohyètes, le débit maximum en m³/s, le débit spécifique maximum en l/s.km², les temps de montée et de base en heures, le volume ruisselé en milliers de m³, la lame équivalente ruisselée en mm, le coefficient de ruissellement en % et le coefficient de pointe, rapport du débit maximum au débit moyen de la crue.

L'examen du tableau montre de faibles coefficients de ruissellement qui caractérisent des bassins bien perméables à relief très mou.

Ce relief très mou explique aussi que le transfert à l'exutoire des volumes ruisselés soit lent. Les temps de base, en particulier pour SANDOUGOU, sont importants. Il est probable qu'une certaine rétention au niveau de petites parcelles rizi-cales ou de bas-fonds marécageux drainés très lentement transforme une partie du ruissellement pur en une espèce de ruissellement retardé qui augmente d'autant la durée du temps de base de l'hydrogramme de crue. Ceci explique que les coefficients de pointe soient aussi grands.

Les averses maximales observées en 1970 se traduisent sur les petits bassins étudiés par des hauteurs moyennes de précipitation de l'ordre de 80 mm, valeurs dont la période de retour est de 1 fois par an.

Les débits maximaux observés sont respectivement

- de 3,8 m³/s, soit 320 l/s.km² à SINDIAN,
- de 5,2 m³/s, soit 61,4 l/s.km² à SANDOUGOU.

Le dessin des hydrogrammes des principales crues de l'année 1970 a été reproduit dans les figures 12, 13 et 14.

L'échantillon d'évènements hydropluviométriques n'est pas assez important pour permettre une analyse précise des paramètres du ruissellement. De même, la détermination d'hydrogrammes-types n'apporterait qu'une précision illusoire compte tenu du peu d'hydrogrammes disponibles et de la grande variabilité du rapport débit maximum/débit moyen d'une crue à l'autre.

Les paramètres essentiels de l'analyse des crues sont résumés ci-après pour des conditions médianes d'humidité :

	SINDIAN (11,9 km ²)	SANDOUGOU (84,7 km ²)
Kr %	10 à 14,5	5 à 8
Temps de montée	2 à 4 h	9 à 10 h
Temps de base	24 h	70 h
K = Q/M (moyenne)	2,7 à 3,7 (3,22)	2,6 à 3,3 (2,94)

2.2 ESTIMATION DES CRUES DECENNALES (SINDIAN et SANDOUGOU)

La méthode d'estimation des crues décennales de J. RODIER et C. AUVRAY consiste, on le sait, à déterminer sur des abaques en fonction du climat, de la superficie des bassins, du relief et de la perméabilité, les paramètres qui permettront le calcul de la crue [7].

Les bassins de BIGNONA ont été classés en catégorie R₂ P₄-P₅, ce qui correspond à des reliefs très faibles et à de fortes perméabilités (qui ne favorisent donc pas le ruissellement).

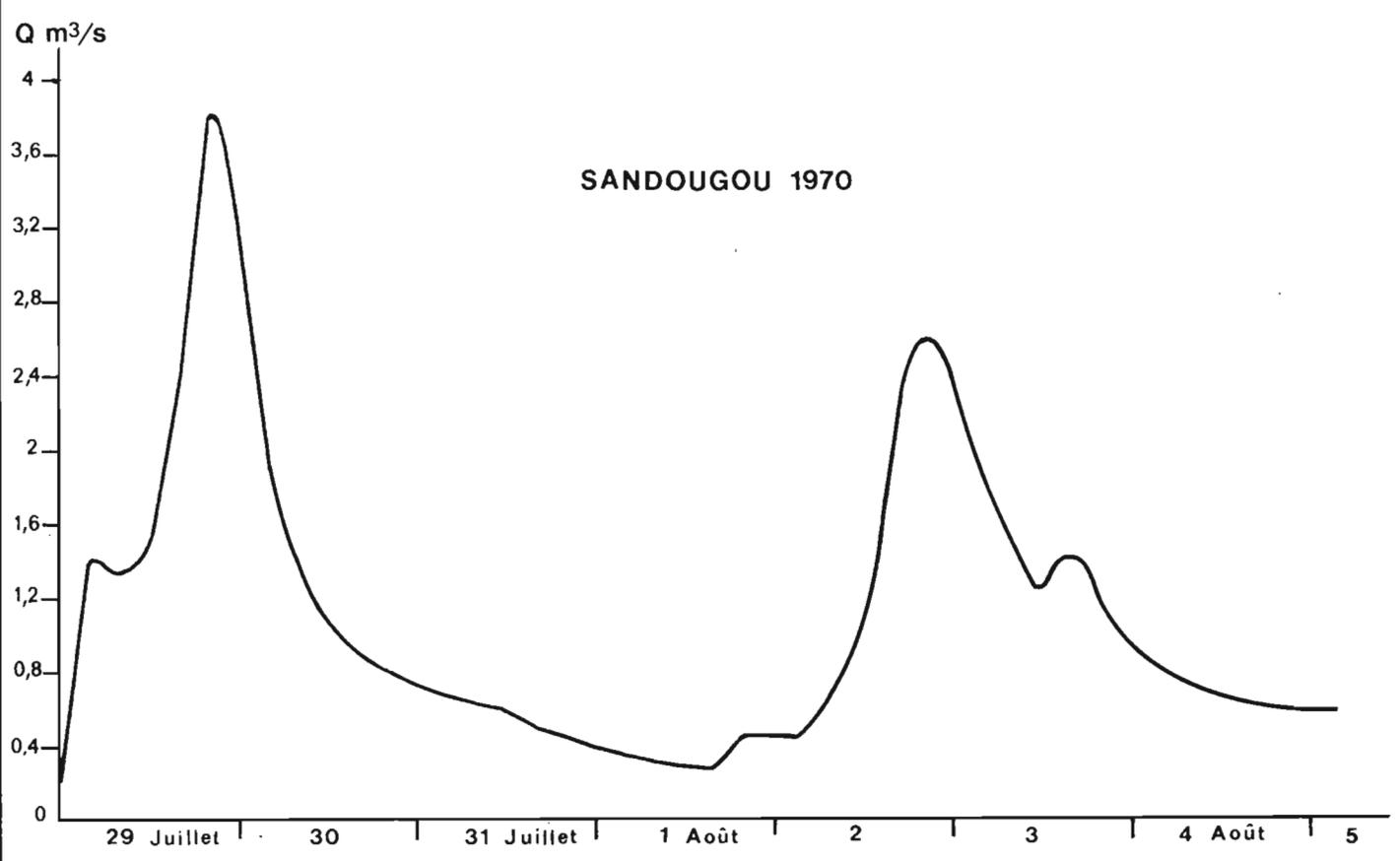
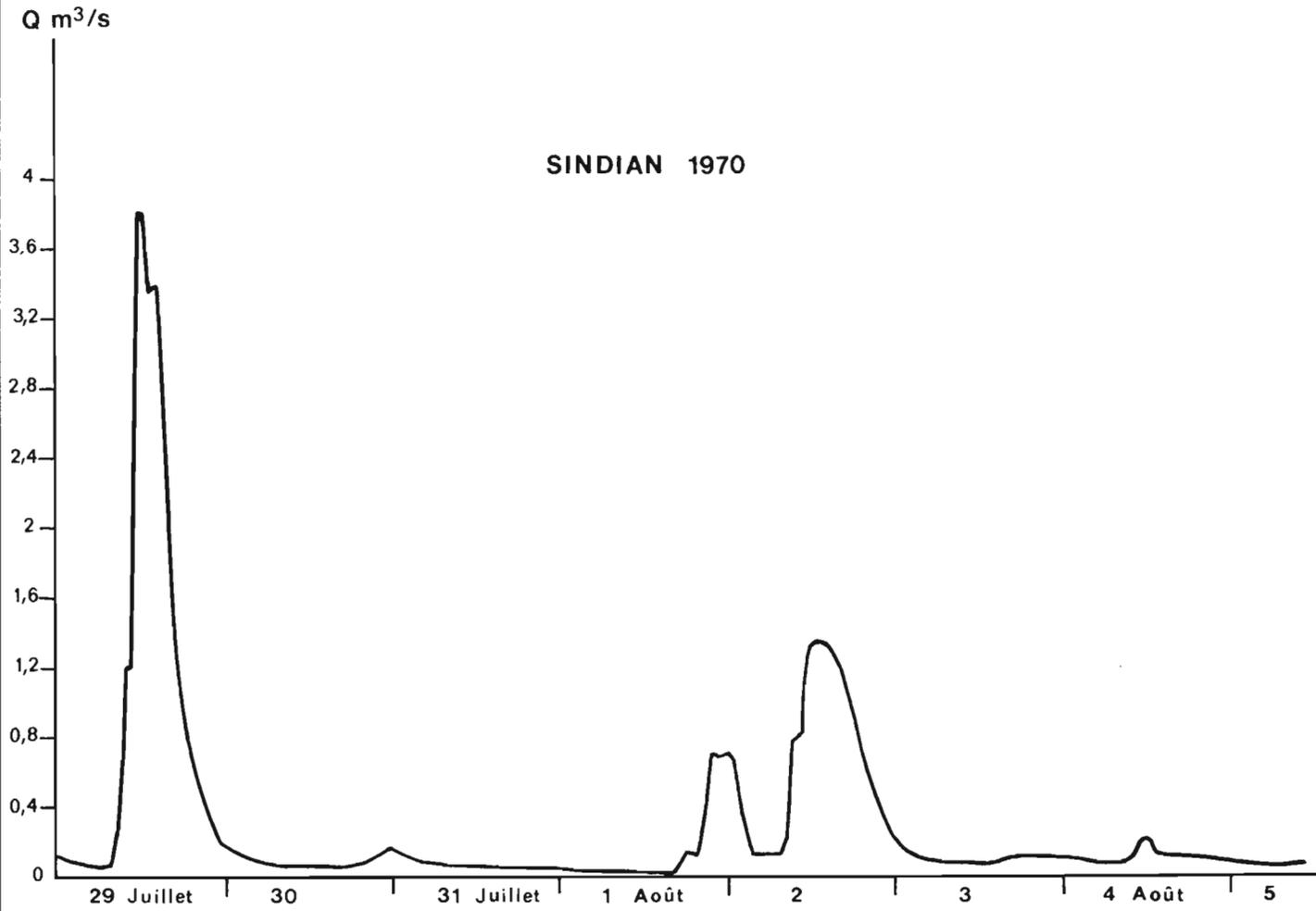
Tableau 5

CARACTERISTIQUES DES PRINCIPAUX EVENEMENTS

HYDROPLUVIOMETRIQUES DE 1970

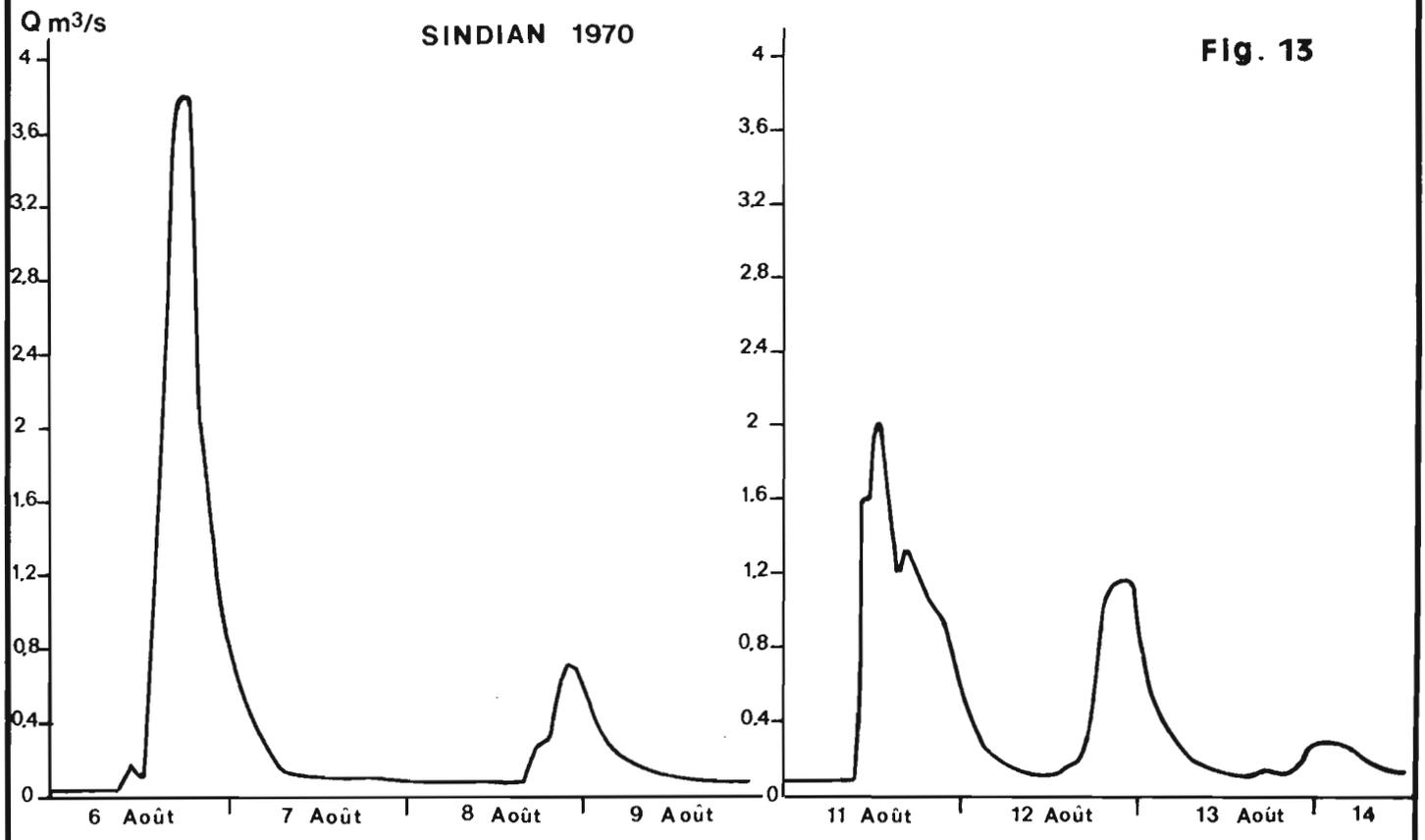
Date	P moy	Q Max	q 1/s.km ²	T _M heures	T _B heures	V 10 ³	Hr	Kr %	K = Q/M
SANDOUGOU (84,7 km ²)									
29/7	71,5	3,80	44,9	9	72	302	3,57	5	3,26
02/8	72,2	2,60	30,7	13	60	216	2,55	3,53	2,6
06/8	82,5	4,10	48,4	9	58	317	3,74	4,54	2,70
12-13/8	54,7	2,45	28,9	comp- lexe	80	238	2,81	5,14	2,96
12-13/9	59,5	4,16	49,1	10	80	360	4,25	7,14	3,33
16-17/9	77,4	5,20	61,4	10	76	511	6,03	7,79	2,78
SINDIAN (11,9 km ²)									
29/7	78	3,8	320	2	26	110	9,24	11,9	3,23
02/8	48	1,58	133	3	24	50	4,20	8,8	2,73
06/8	80	3,8	320	4	26	130	10,9	13,6	2,74
11/8	31	1,98	166	2	26	51	4,29	13,8	3,63
12/8	18	1,25	105	4	20	31	2,61	14,5	2,9
01/9	35	2,12	178	2,5	24	50	4,20	12,0	3,66
16/9	42,5	2,60	218	2,5	20	51	4,29	10,1	3,67

Fig. 12



SINDIAN 1970

Fig. 13



SANDOUGOU 1970

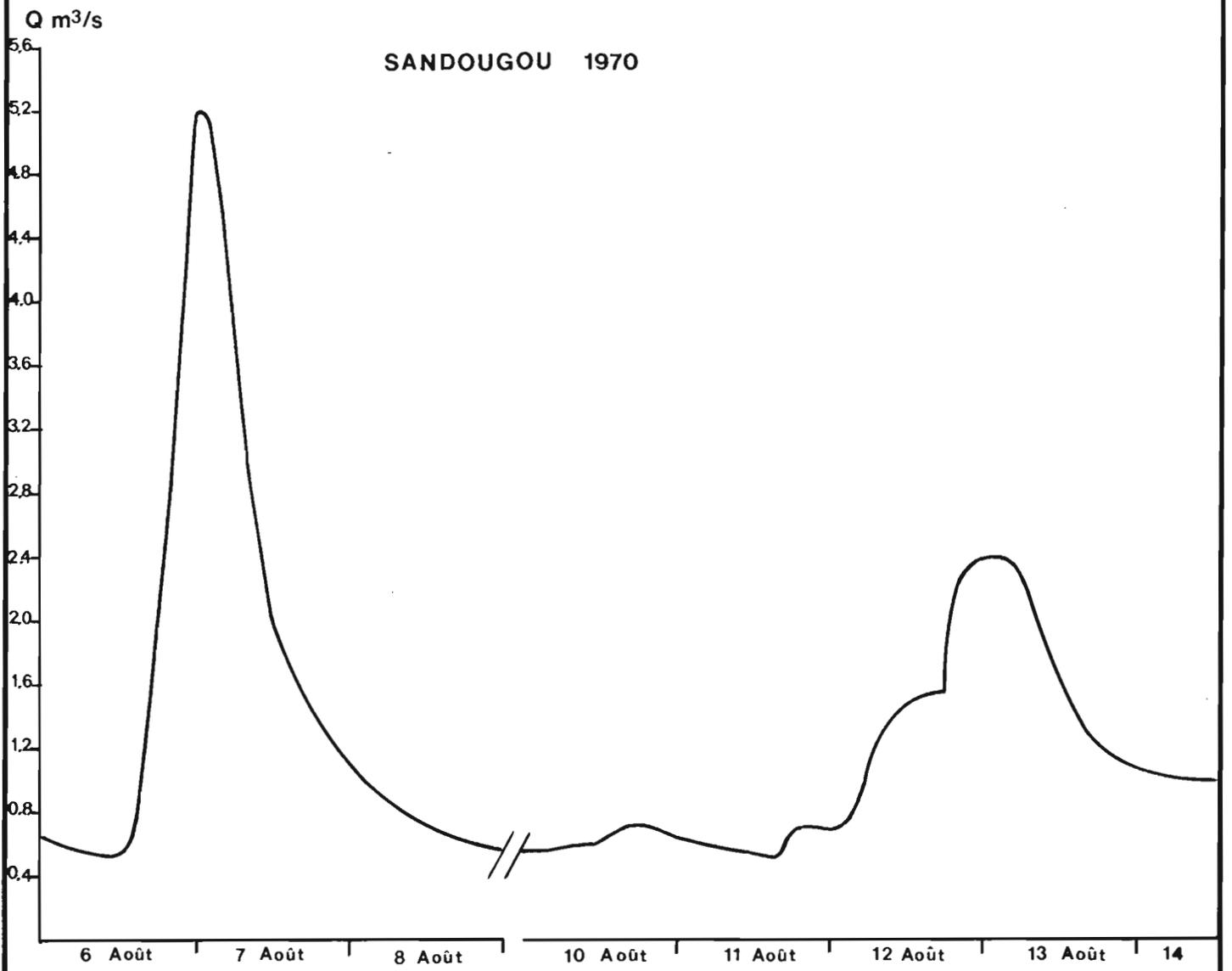
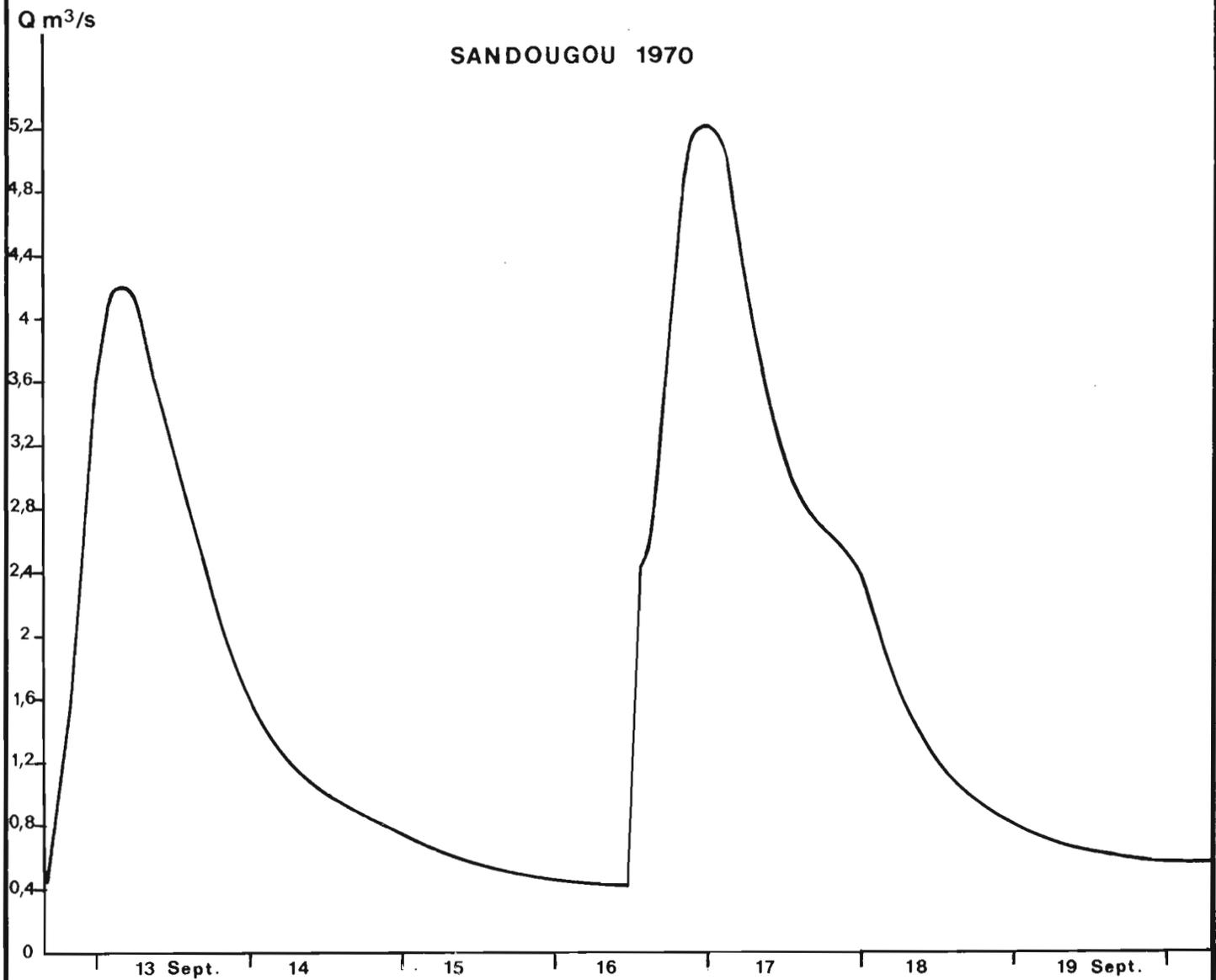
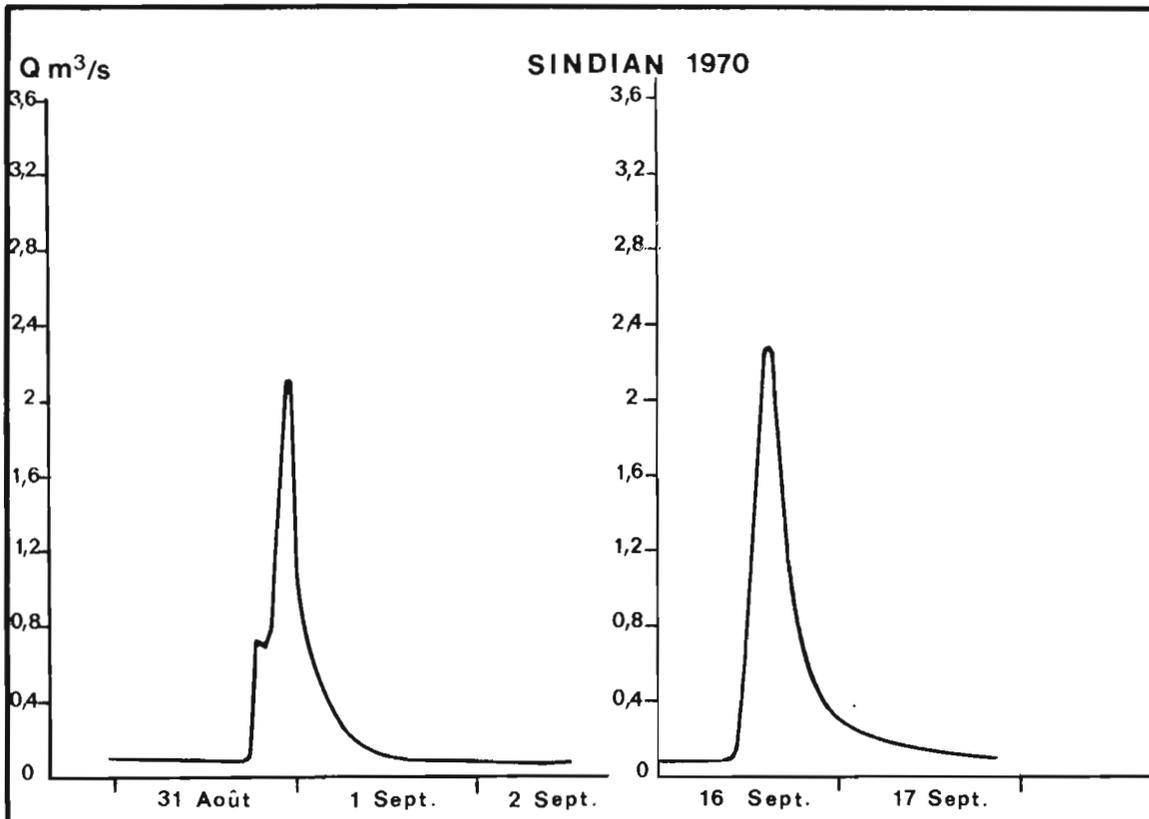


Fig. 14



Avec une averse décennale de 138 mm, la méthode RODIER-AUVRAY aboutit aux résultats suivants :

	SINDIAN	SANDOUGOU	Observations par rapport à l'échantillon observé
Superficie	11,9 km ²	84,7 km ²	
Ruissellement %			
pour R2 P4	12,0	10	
pour R2 P5	6,5	5	
moyenne	9,3	7,5	plus faible
Temps de montée (heures)	4,5	11	plus long
Temps de base (heures)	18	60	plus court
Averse décennale	138 mm	138 mm	
Coefficient d'abattement	0,9	0,77	
Pluie moyenne décennale	124	106	
Lame ruisselée	11,5	7,95	
Volume m ³	136 850	673 365	
Q moyen (V/T _B)	2,11	3,12	
Q Maximum	5,30	7,80	
avec K = 2,5			K plus faible (Q Max/M)
Q 1/s.km ²	445	92	

Certains paramètres peuvent être corrigés grâce à l'observation des crues de 1970, ce qui conduit à reprendre le calcul de la crue décennale.

Il paraît raisonnable d'adopter pour la crue décennale les plus fortes valeurs observées pour le coefficient de ruissellement, ce qui conduit donc à augmenter le Kr donné par "RODIER-AUVRAY". Les temps de base sont plus longs. Le coefficient de pointe $K = Q/M$ est nettement plus fort.

Le calcul de la crue décennale donne alors :

	SINDIAN	SANDOUGOU
Kr %	14	8
K = Q/M	3,2	2,9
Hr mm	17	8,5
Vr m3	206 600	720 000
T _B h	24 h	70 h
Q Moyen m3/s	2,39	2,86
Q Max m3/s	7,65	8,30
Q l/s.km2	640	100

Les résultats sont assez peu différents, au moins pour SANDOUGOU, de ceux déterminés par la méthode RODIER-AUVRAY.

A ces valeurs, il conviendrait de rajouter le débit de base initial. La nature physique des bassins ne se prête pas à des débits de base soutenus. Celui-ci n'atteint que 0,5 m3/s à SANDOUGOU lors de la séquence la plus pluvieuse d'août 1970.

Grosso modo, dans ces conditions d'écoulement (débit de base soutenu), la crue décennale serait de l'ordre :

- de 700 l/s.km2 à SINDIAN (11,9 km2),
- de 110 l/s.km2 à SANDOUGOU (84,7 km2).

2.3 LES CRUES A LA STATION DE BIGNONA

La station de BIGNONA est influencée par la marée ; la mesure des écoulements et des crues n'y est pratiquement pas possible.

Pendant la saison des pluies 1970, seuls deux événements hydropluviométriques ont réussi réellement à perturber la propagation de l'onde de marée. Il s'agit d'abord de la crue du 6 août et jours suivants, puis de la crue du 16 septembre et jours suivants.

La figure 15 donne le dessin des hydrogrammes correspondants.

La crue du 6 août est particulièrement intéressante. L'averse qui l'a générée correspond au moins à une pluie décennale. La pluie maximale observée est de 139 mm ; la pluie moyenne est de 110 mm (cf. figure 16). Avec un coefficient de ruissellement de 8 %, la lame ruisselée décennale serait de 8,8 mm et le volume de la crue du 6 août aurait été de 2 700 000 m³ environ.

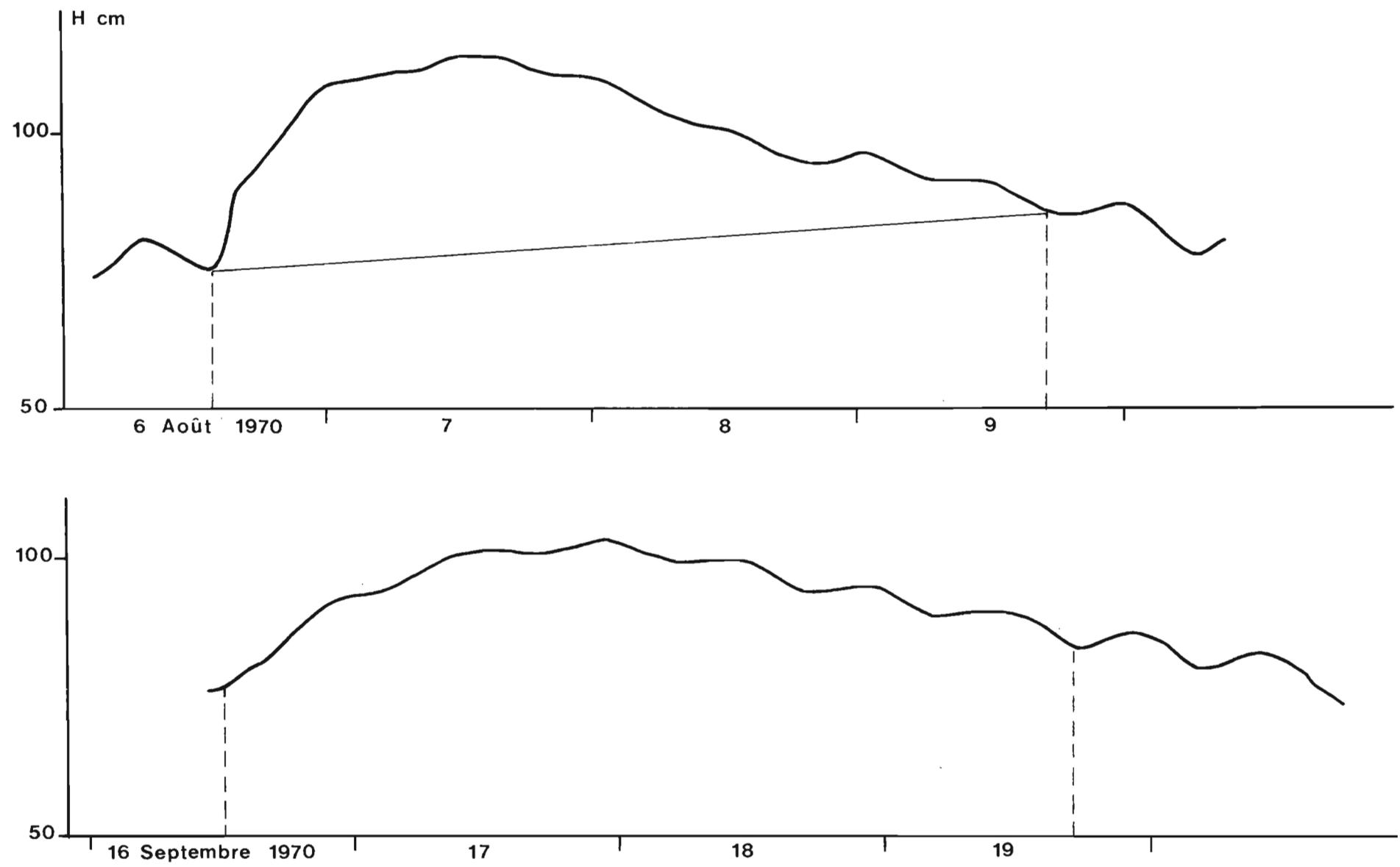
La détermination du temps de base de la crue est rendue difficile du fait de l'incidence de l'onde de marée sur la forme de l'hydrogramme. Celle-ci s'affirme de plus en plus à la décrue et la fin de la phase de ruissellement coïncide sans doute avec une accentuation de l'amplitude de la marée. Cette remarque conduit à retenir, pour les deux crues dont on dispose, un temps de base de 75 heures environ (et plus largement de l'ordre de 3 à 4 jours). On remarquera que le temps de base est à peine plus grand que sur le bassin de SANDOUGOU.

Le transfert de la crue entre SANDOUGOU et BIGNONA et des autres apports du bassin sur la branche moyenne du marigot entraîne davantage un amortissement de la pointe de crue qu'une extension de la durée de la phase de ruissellement.

En utilisant le schéma de l'hydrogramme standard triangulaire (M. ROCHE) qui revient à estimer le rapport $K = Q/M$ à 2, valeur vraisemblable au regard des limnigrammes de BIGNONA, on en déduit le débit de pointe de la crue du 6 août 1970 que nous assimilerons à la crue décennale.

$$Q_{\max} = \frac{V_{\text{ruisselé}}}{\frac{1}{2} T_B} ; \text{ avec } T_B = 75 \text{ heures}$$

$$Q_{\max} = \frac{2\,700\,000}{37,5 \times 3600} = \underline{\underline{20 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ soit } 65 \text{ l/s.km}^2.}}$$

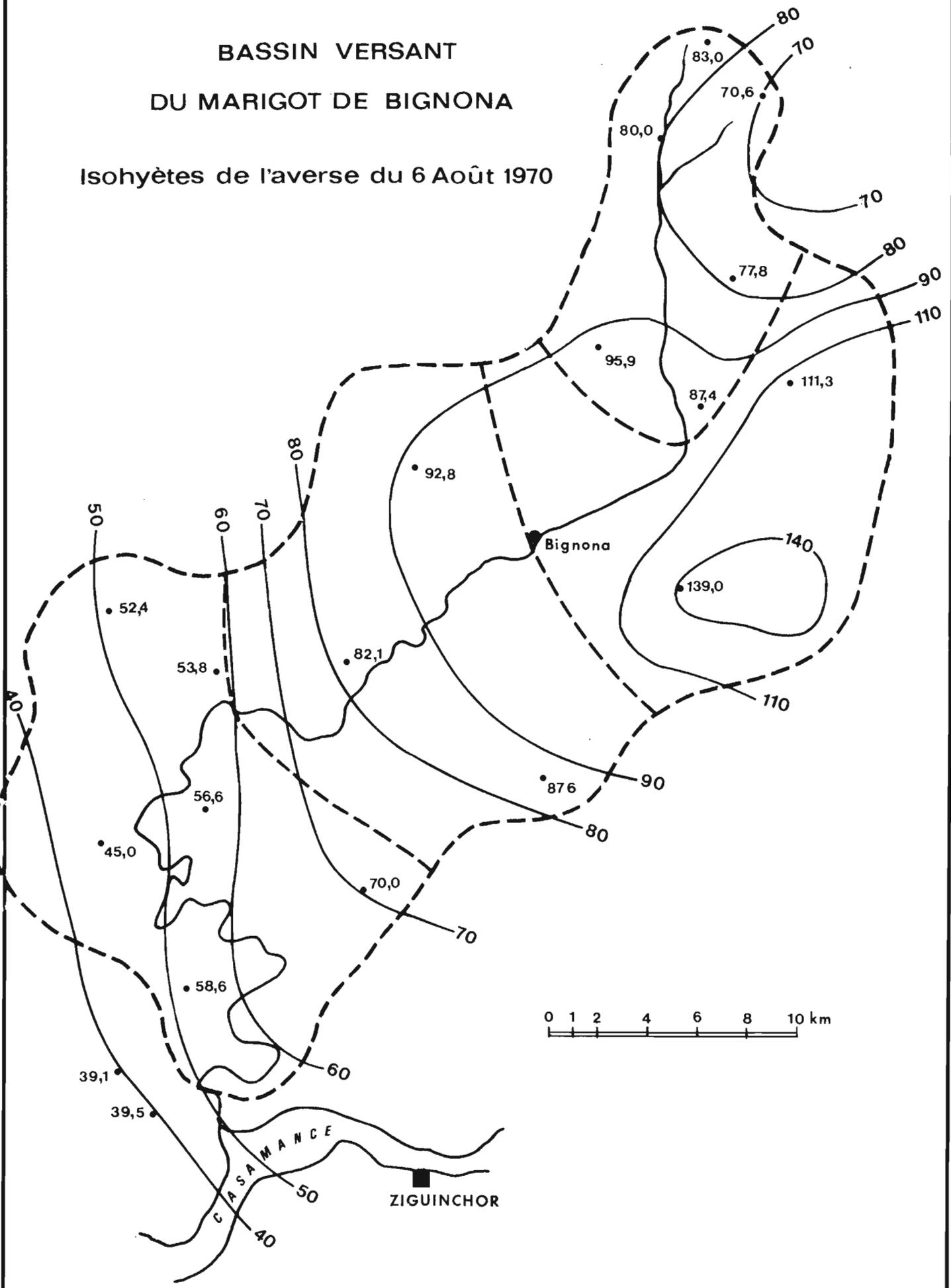


LES DEUX PLUS FORTES CRUES OBSERVÉES A BIGNONA EN 1970

Fig.16

BASSIN VERSANT
DU MARIGOT DE BIGNONA

Isohyètes de l'averse du 6 Août 1970



Avec un débit de base de l'ordre de 2 m³/s, le maximum spécifique de la crue décennale à BIGNONA (306 km²) pourrait atteindre 70 l/s.km².

Avec un temps de base de 4 jours, on aboutirait bien entendu à un débit spécifique de pointe de la crue décennale plus faible : de l'ordre de 50 à 60 l/s.km² suivant l'importance du débit de base. Pour aller dans le sens de la sécurité, on retiendra la valeur de 70 l/s.km² à BIGNONA... Il convenait toutefois de souligner l'imprécision des déterminations.

2.4 LES CRUES DECENNALES DANS LA PARTIE NORD DE LA CASAMANCE MARITIME

La figure 17 illustre en coordonnées logarithmiques ce que pourrait être la relation entre le débit de pointe spécifique de la crue décennale et la superficie des bassins. Etablie, sur trois points, elle doit être employée avec prudence et a surtout une valeur indicative.

Le maximum de crue décennal serait de l'ordre de :

- 7,5 m³/s pour un BV de 10 km²,
- 8 m³/s " " " 20 km²,
- 8,75 m³/s " " " 50 km²,
- 10 m³/s " " " 100 km²,
- 14 m³/s " " " 200 km²,
- 27,5 m³/s " " " 500 km².

Ces valeurs correspondent uniquement à des bassins "continentaux", c'est-à-dire ne comportant pas de vastes zones d'épandage ou d'inondation soumises à l'influence de la marée.

On a vu que lorsque ces zones devenaient importantes, il fallait tenir compte de leur incidence sur le coefficient d'écoulement, ici de ruissellement, en attribuant aux superficies déterminées un coefficient de 0,8.

Ceci conduit naturellement à augmenter le volume des apports de la crue. On peut supposer que, dans un premier temps, l'averse décennale (110 mm) va entraîner une remontée immédiate du plan d'eau d'une dizaine de centimètres simultanément sur l'ensemble des zones inondées sans modifier notablement la propagation de l'onde de marée et, par suite, le sens et la vitesse de l'écoulement (flot ou jusant). Dans un deuxième temps, les petits affluents aval, tributaires du bief soumis à marée, vont conjuguer leurs apports pour faire monter le niveau dans le marigot ; l'éventuelle modification de pente peut alors entraîner un début d'écoulement, mais il y a toujours transfert de l'onde de marée avec seulement diminution des débits du flot et augmentation de ceux du "jusant". Enfin, à ce début d'"hydrogramme de crue", se surimpose la crue du bassin amont qui progresse de l'amont vers l'aval. Mais, là encore, il y a conservation de l'onde de marée ; son amplitude diminue par la remontée du niveau de marée basse plus forte que celle du niveau de marée haute.

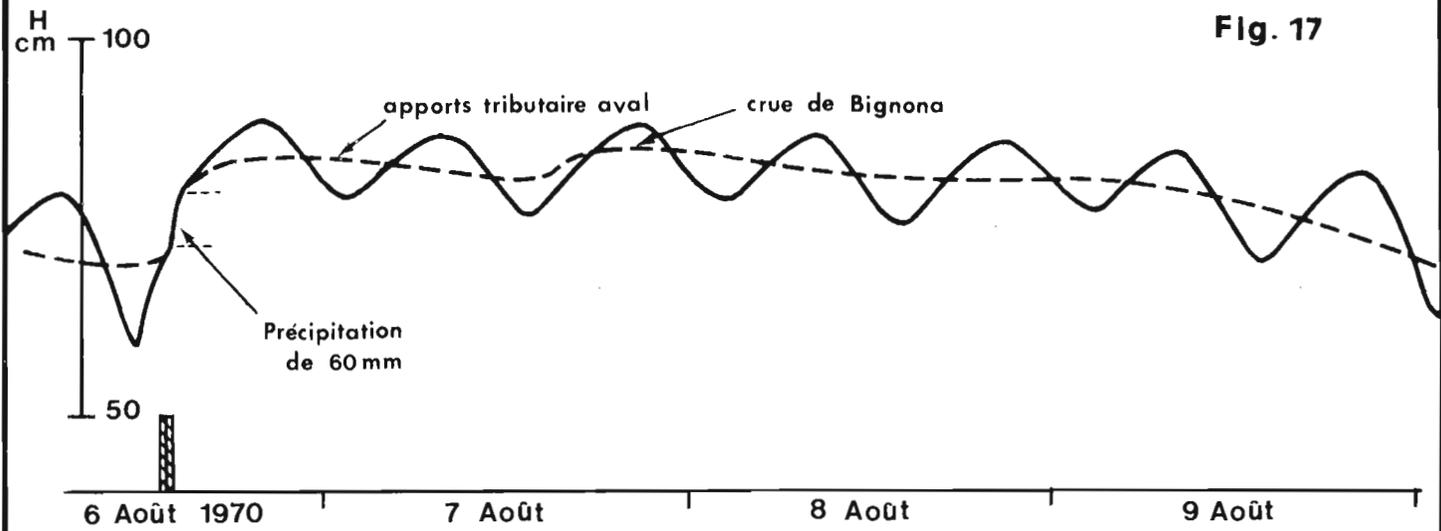
En définitive, le passage de la crue décennale dans un bief soumis à l'influence de la marée se traduit bien par une remontée du plan d'eau, mais la notion de débit maximum de crue n'a plus guère de signification. L'incidence principale de la crue est de chasser vers l'aval le volume d'eau préexistant dans le bief (adoucissement rapide des eaux à fortes concentrations en sels)⁽¹⁾.

La remontée du plan d'eau elle-même reste minime (35 cm à BIGNONA le 6 août, mais seulement une dizaine de cm à ETEKOME). La figure 17 montre ce qu'est devenue la crue décennale de BIGNONA (6 août 1970) à ETEKOME.

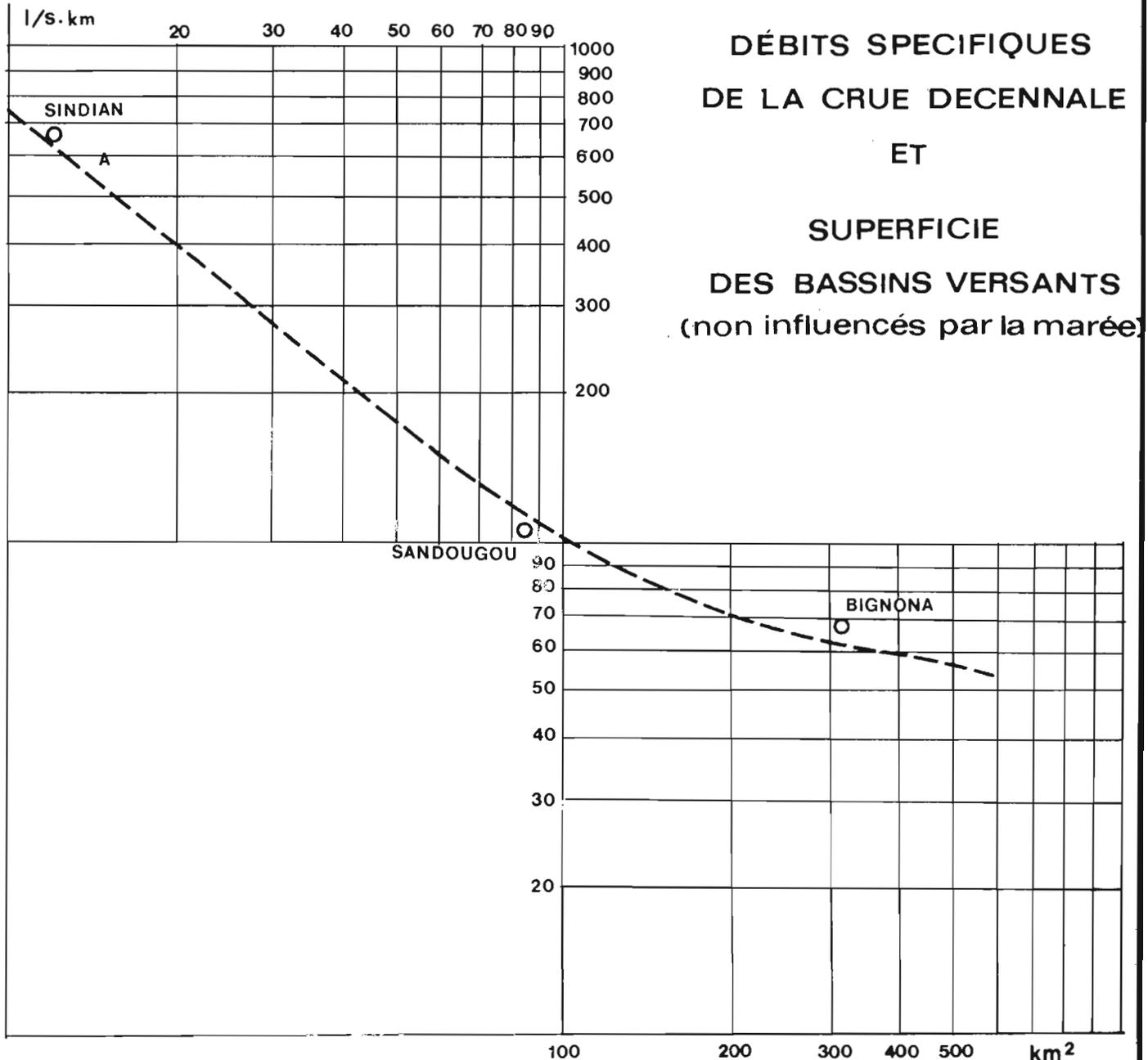
Dans le cas d'aménagements de barrages anti-sel, il va de soi qu'il n'y a plus influence de l'onde de marée. On en revient à un bassin "continental" pour lequel le maximum

(1) : *Notion à nuancer du fait qu'il y a mélange des eaux : le volume d'eau chassé est un volume lui-même "adouci".*

Fig. 17



PASSAGE DE LA CRUE DU 6 AOÛT 1970 A ETEKOME



de la crue décennale peut être estimé à partir de la courbe donnée figure 17. Mais ce débit décennal ne correspond pas au débit de pointe à évacuer par l'ouvrage dans la mesure où l'ancien bief soumis à marée en amont du barrage va jouer le rôle de réservoir amortisseur ; il en est tout au plus la limite supérieure (pour l'évènement de fréquence décennale).

L'évacuation des crues devient un problème de gestion en fonction des niveaux maximums que l'on se fixe en amont (cultures) et des niveaux à l'aval de l'ouvrage (marée haute ou basse).

Peu d'éléments permettent d'estimer la crue exceptionnelle ou crue de projet. Les estimations d'Y. BRUNET-MORET, à partir de l'observation d'une crue exceptionnelle observée en septembre 1969 sur le Continental Terminal de la Haute-CASAMANCE, pour une averse de 219 mm plus que centennale, indiquent pour la crue exceptionnelle :

- 300 m³/s pour un bassin de 200 km², soit 1 500 l/s.km²,
- 260 m³/s pour un bassin de 800 km², soit 325 l/s.km².

3. ETUDE DE L'INFLUENCE MARITIME DANS LE MILIEU ESTUARIEEN

3.1 ETUDE DE L'ONDE DE MAREE

L'onde de marée remonte dans le marigot de BIGNONA jusqu'à BATOULAT, à environ 4 km en amont de la station de BIGNONA, soit à 68 km du confluent avec la CASAMANCE et 123 kilomètres de la mer.

C'est cette profonde pénétration de la mer qui permet à la région de jouir de paysages qui font l'originalité de la CASAMANCE Maritime.

Quatre stations de marégraphie ont été suivies sur le marigot de BIGNONA de la fin mars 1970 jusqu'au mois de janvier 1971, de l'aval vers l'amont :

- à ELORA (limnigraphe OTT X à rotation mensuelle),
- à DJILOGUIRE (limnigraphe OTT X à rotation hebdomadaire),
- à ETEKOME (" " " " "),
- à BIGNONA (" " " " ").

Les échelles de référence pour ces différentes stations n'ont pas été rattachées au nivellement général. Les hauteurs d'eau indiquées ne peuvent donc être comparées d'une station à l'autre ; ce sont les variations de hauteurs, leurs amplitudes et l'évolution des marées dans le temps qui font l'objet de la brève analyse proposée ici. Rappelons que Y. BRUNET-MORET [4] a fait une étude détaillée des marées en CASAMANCE qui lui ont permis en particulier de distinguer :

- une marée diurne et semi-diurne,
 - une marée mensuelle et semi-mensuelle,
 - une marée annuelle et semi-annuelle
- et d'en préciser les principales caractéristiques.

3.1.1 Marégrammes de la marée diurne et semi-diurne

La marée semi-diurne s'impose à l'observation sur l'ensemble des enregistrements limnigraphiques. Elle est affectée d'une inégalité diurne qui conduit à observer des marées consécutives d'amplitudes différentes.

Les enregistrements montrent une dissymétrie entre marée montante et marée descendante, peu ou pas sensible à ELORA, puis de plus en plus marquée en remontant vers l'amont, avec corrélativement une vitesse de propagation du maximum de marée haute plus lente que celle du minimum de marée basse, et une diminution de l'amplitude de l'aval vers l'amont. La figure 18 donne un exemple des enregistrements recueillis les 5 et 6 juin 1970. On observe les résultats suivants pour la plus forte marée de la journée :

		ELORA	DJILOGUIRE	ETEKOME	BIGNONA
Durée t marée montante	5 juin	6 H	7 H 15	8 H 20	8 H 20
	6 juin	6 H	6 H 55	8 H	8 H 10
Durée t marée descendante	5 juin	6 H 20	5 H 40	4 H 40	4 H 45
	6 juin	7 H	5 H 20	4 H 50	4 H 50
Durée de translation de l'onde par rapport à ELORA					
Δt minimum marée basse	5 juin	0	2 H 15	3 H 35	5 H 25
	6 juin	0	2 H 30	3 H 40	5 H 50
Δt maximum marée haute	5 juin	0	3 H 30	5 H 50	7 H 40
	6 juin	0	3 H 40	5 H 40	7 H 50
Amplitude maximale en cm entre marée haute et marée basse antérieure	5 juin	73	62	56	33
	6 juin	76	62	57	34

Le tableau qui précède ne donne qu'une idée des caractéristiques des marées semi-diurnes aux stations étudiées. Ces caractéristiques varient bien entendu d'une marée à l'autre,

EXEMPLE DE MARÉGRAMMES : ENREGISTREMENT DES 5 et 6 JUIN 1970 SUR LE MARIGOT DE BIGNONA

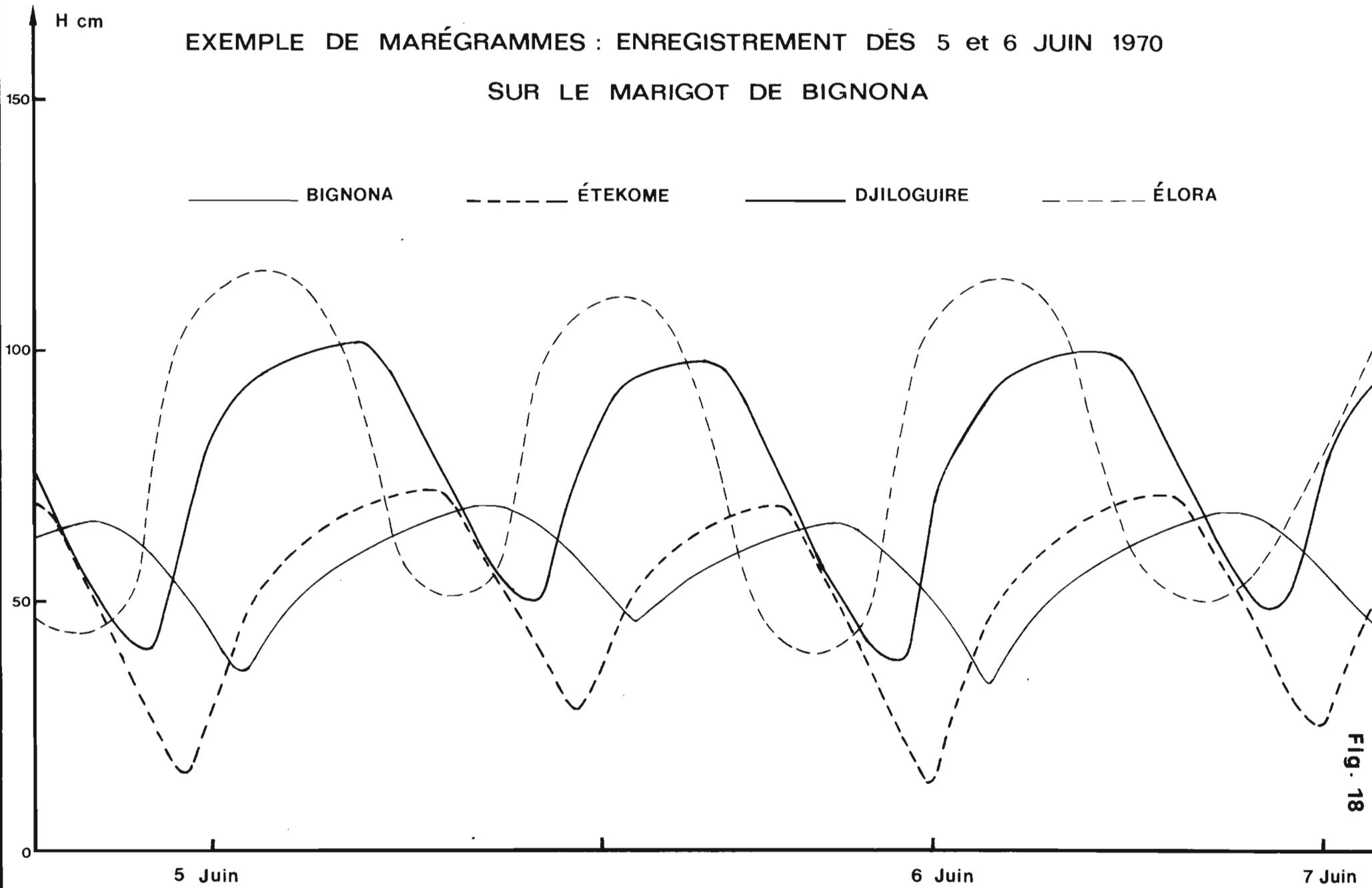


Fig. 18

suisant, en particulier, que l'on se trouve en période de mortes ou de vives-eaux. Une analyse complète de ces caractéristiques sur l'ensemble des marées enregistrées sort du cadre de notre propos.

Dans l'optique d'aménagements hydro-agricoles, il a paru intéressant de s'attacher davantage à la détermination des niveaux d'eau maximum ou minimum, des amplitudes extrêmes susceptibles d'intéresser le projeteur.

3.1.2 Niveaux moyens journaliers

Ceux-ci ont été déterminés en effectuant la moyenne arithmétique des 2 hauteurs maximales et des 2 hauteurs minimales observées dans la journée (éventuellement en complétant par la première marée du jour suivant s'il n'y a que 3 valeurs dans le jour calendaire).

Cette simplification aboutit à une bonne approximation du niveau moyen journalier⁽¹⁾.

Les figures 19, 20, 21 et 22 indiquent les variations de ces niveaux aux quatre stations pendant la période d'observation. Sur les mêmes figures, nous avons porté les hauteurs extrêmes journalières (maximum et minimum).

L'ensemble des courbes de variations met en évidence l'existence d'une marée mensuelle et semi-mensuelle ainsi que celle d'une marée annuelle.

Pour cette dernière, il convient toutefois de préciser que les apports de saison des pluies se surimposent aux variations des ondes de marée. Ceci est d'autant plus net que le volume des apports est plus important par rapport aux volumes mis en mouvement par la marée, c'est-à-dire vers l'amont et en particulier à BIGNONA.

(1) : *Comme le montrent quelques sondages où le niveau moyen journalier a été déterminé par planimétrage du marégramme de la journée.*

H cm

Marigot de Bignona à Bignona

VARIATIONS DU NIVEAU MOYEN JOURNALIER ET DES NIVEAUX EXTRÊMES DE MARÉES HAUTE ET BASSE EN 1970

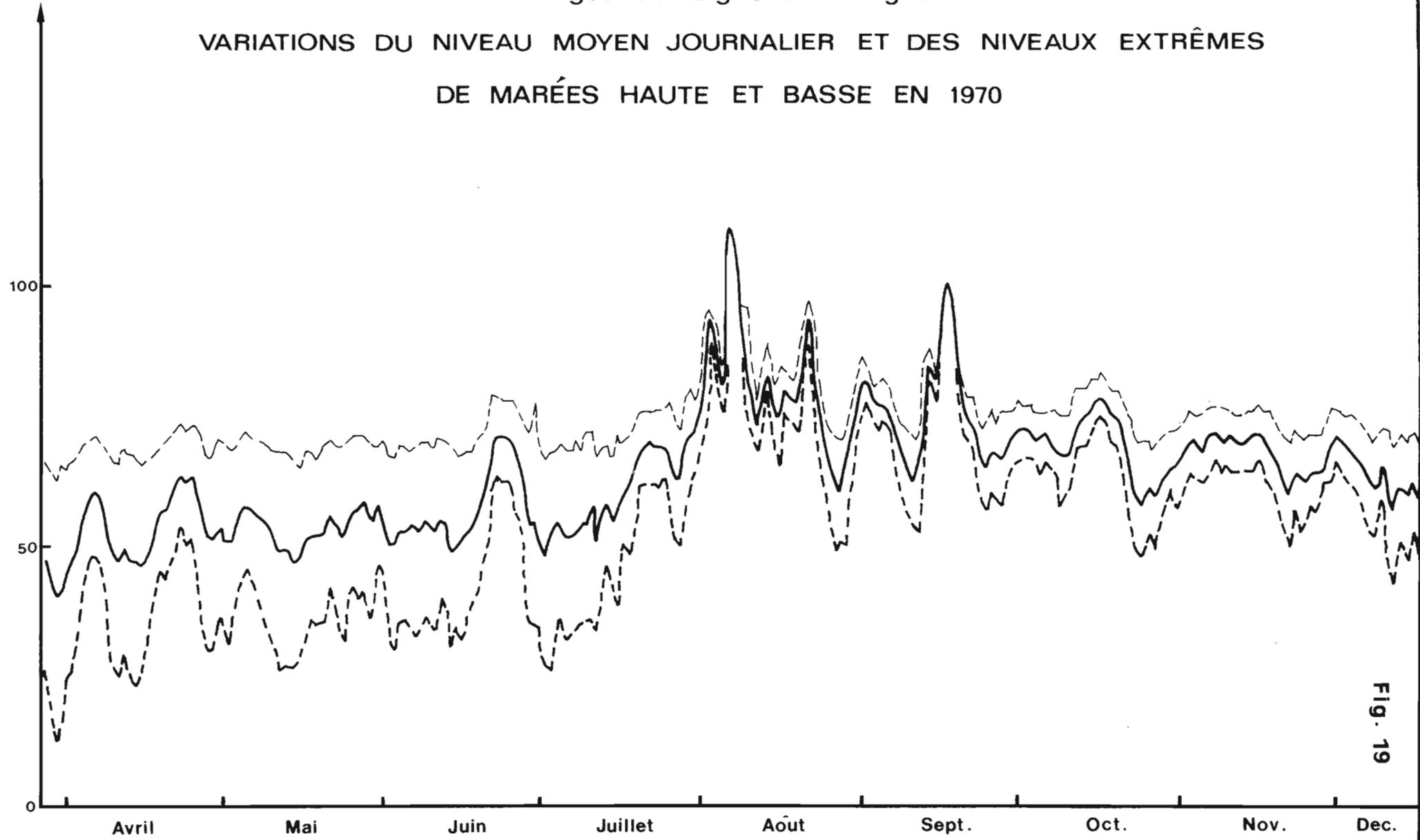
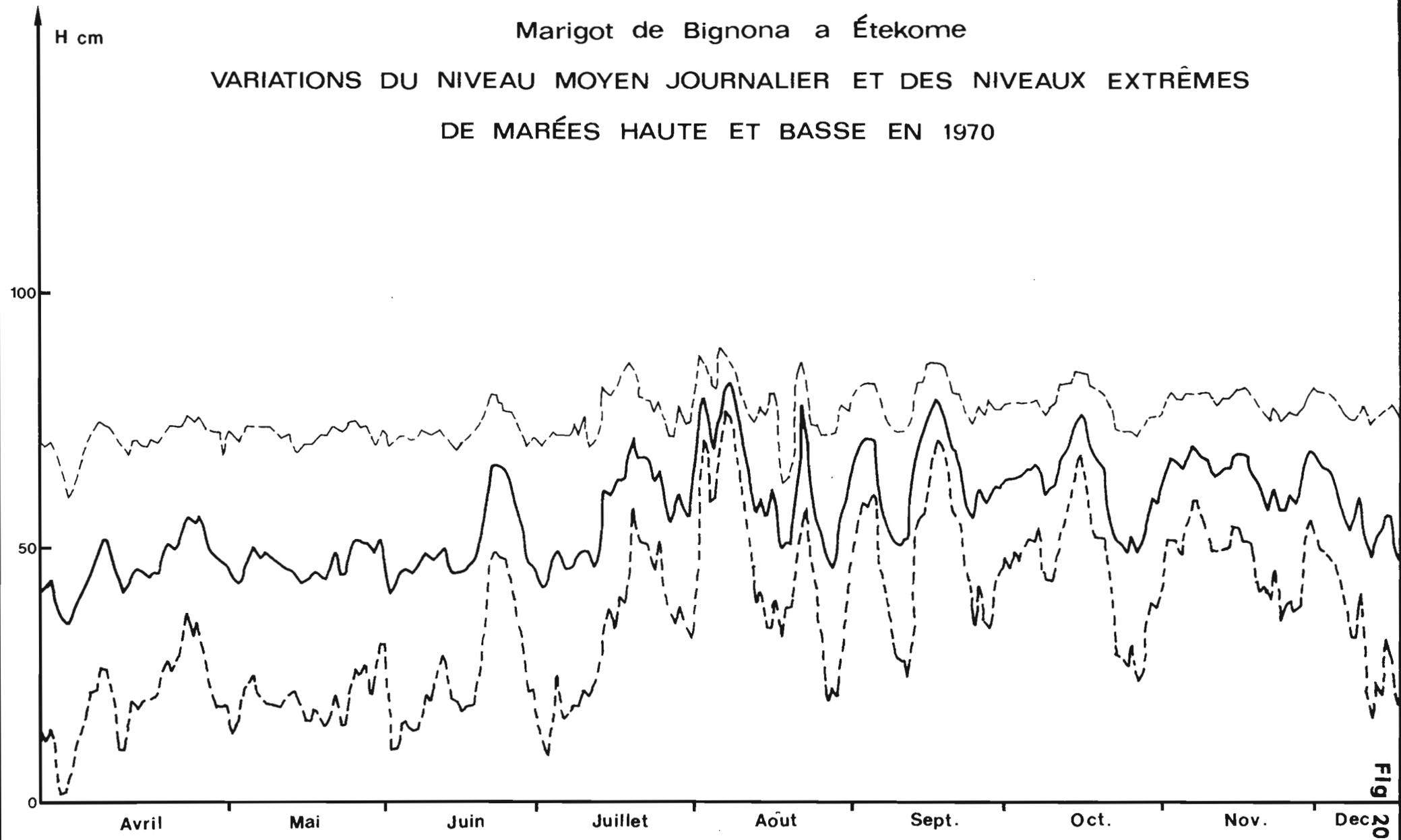


Fig. 19

Marigot de Bignona a Étekome

VARIATIONS DU NIVEAU MOYEN JOURNALIER ET DES NIVEAUX EXTRÊMES DE MARÉES HAUTE ET BASSE EN 1970



Marigot de Bignona à Djilouire

VARIATIONS DU NIVEAU MOYEN JOURNALIER ET DES NIVEAUX EXTRÊMES
DE MARÉES HAUTE ET BASSE EN 1970

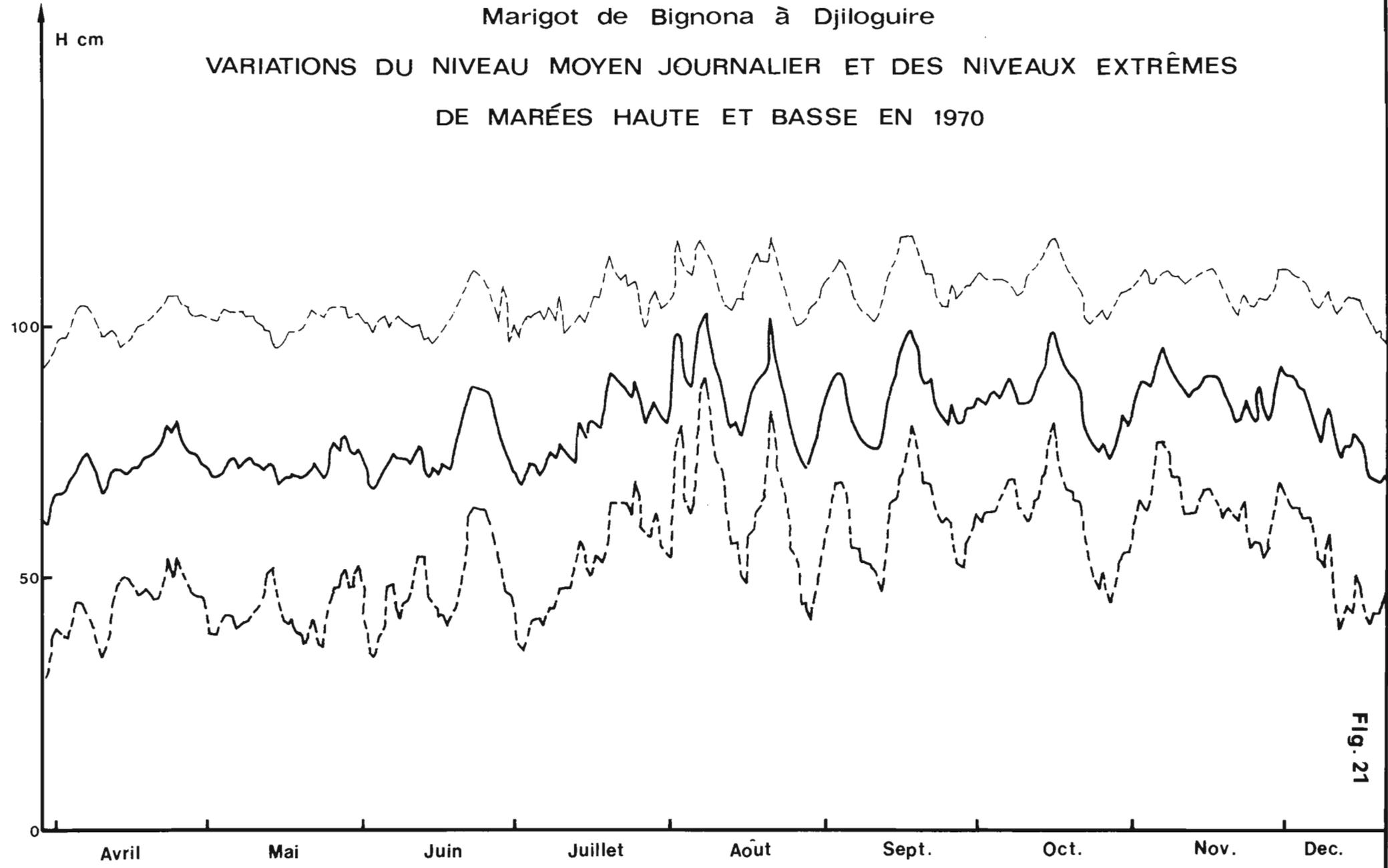


Fig. 21

H cm

Marigot de Bignona à Elora

VARIATIONS DU NIVEAU MOYEN JOURNALIER ET DES NIVEAUX EXTRÊMES DE MARÉES HAUTE ET BASSE EN 1970

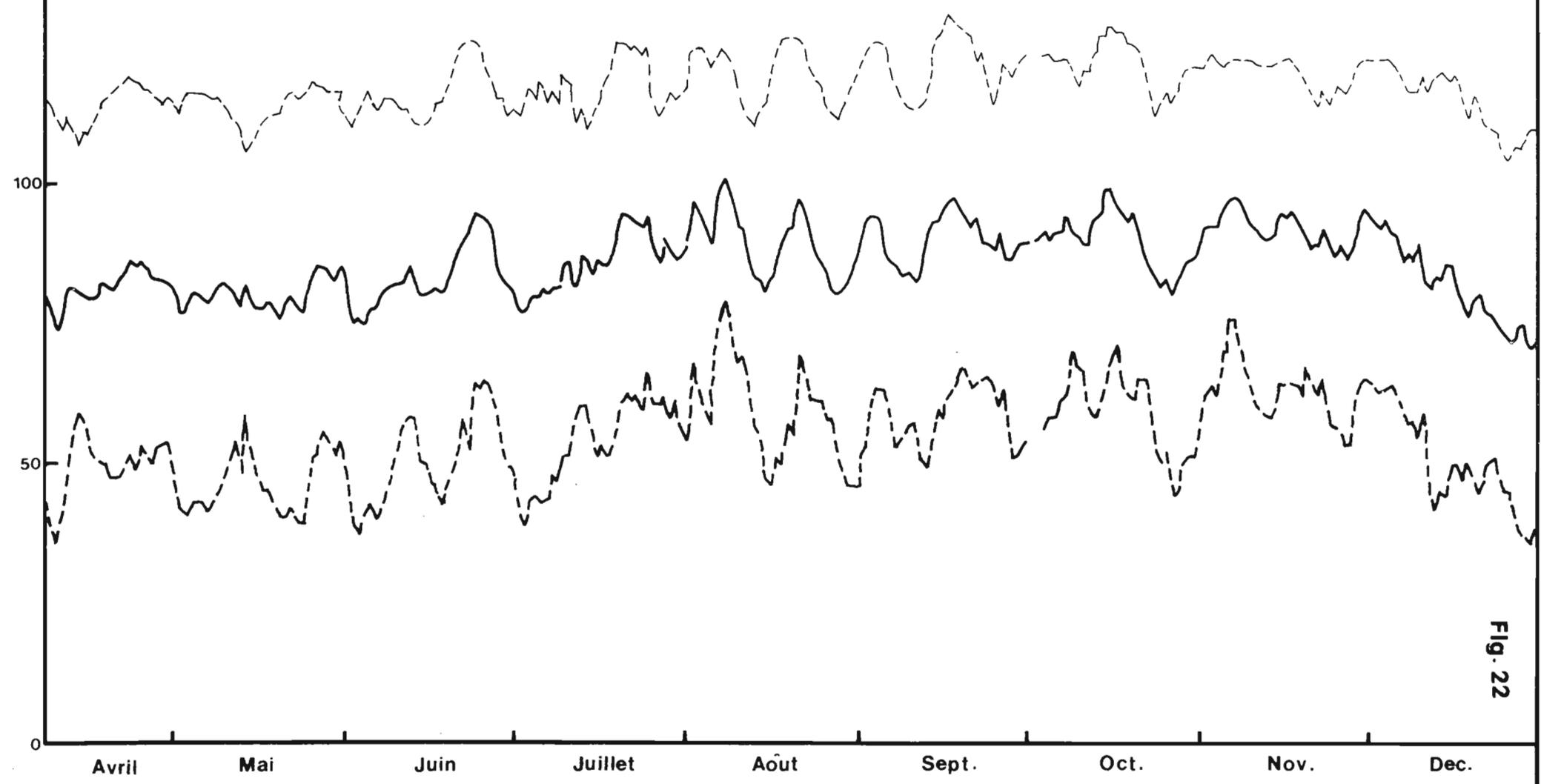


Fig. 22

L'amplitude de ces ondes mensuelles ou annuelles est faible par rapport à celle des marées diurnes et semi-diurnes. Bien entendu la surimposition des maximums de ces ondes à ceux de grandes marées aboutit à l'observation des niveaux les plus élevés.

Les niveaux les plus hauts correspondent à des épisodes de crue : mi-septembre pour ELORA (130 cm) et DJILOGUIRE (118 cm) et début août pour ETEKOME (89 cm) et BIGNONA (111 cm). La marée haute maximale, sans apports de crues, est observée au solstice d'été pour ELORA (125 cm) et BIGNONA (79 cm) à la mi-novembre à DJILOGUIRE (112 cm) et début décembre à ETEKOME (82 cm). La hauteur minimale ou marée la plus basse est observée aux environs du solstice d'hiver, fin décembre, à ELORA (34 cm) et DJILOGUIRE (24 cm) et après l'équinoxe de printemps, fin mars, à ETEKOME (2 cm) et BIGNONA (12 cm). C'est également au cours de ces deux périodes que l'on observe la marée haute la plus basse.

La marée basse la plus haute est observée le 7 novembre 1970 aux quatre stations. Cette période correspond sans doute au maximum de l'onde annuelle.

D'une manière générale, sur la période d'observation, les variations du minimum journalier sont plus grandes que celles du maximum ; elles commandent celles du niveau moyen journalier.

3.1.3 Amplitudes

Elles ont été calculées sur la plus forte marée de la journée. Leurs variations journalières ont été reproduites dans la figure 23 pour les quatre stations. L'amplitude maximale est observée fin mars pour les stations amont (65 cm à ETEKOME, 50 cm à BIGNONA) et fin décembre aux stations aval (82 cm à ELORA, 76 cm à DJILOGUIRE).

Les amplitudes minimales correspondent aux périodes de crue et s'annulent même à la station de BIGNONA pour les crues les plus importantes. Hors de l'influence des crues, les amplitudes minimales sont observées dans la première quinzaine de novembre : de l'ordre de 11 cm à BIGNONA, elles passent à 21 cm à ETEKOME, 32 cm à DJILOGUIRE et 46 cm à ELORA.

VARIATIONS DES AMPLITUDES JOURNALIÈRES MAXIMALES AUX QUATRE STATIONS DU MARIGOT DE BIGNONA

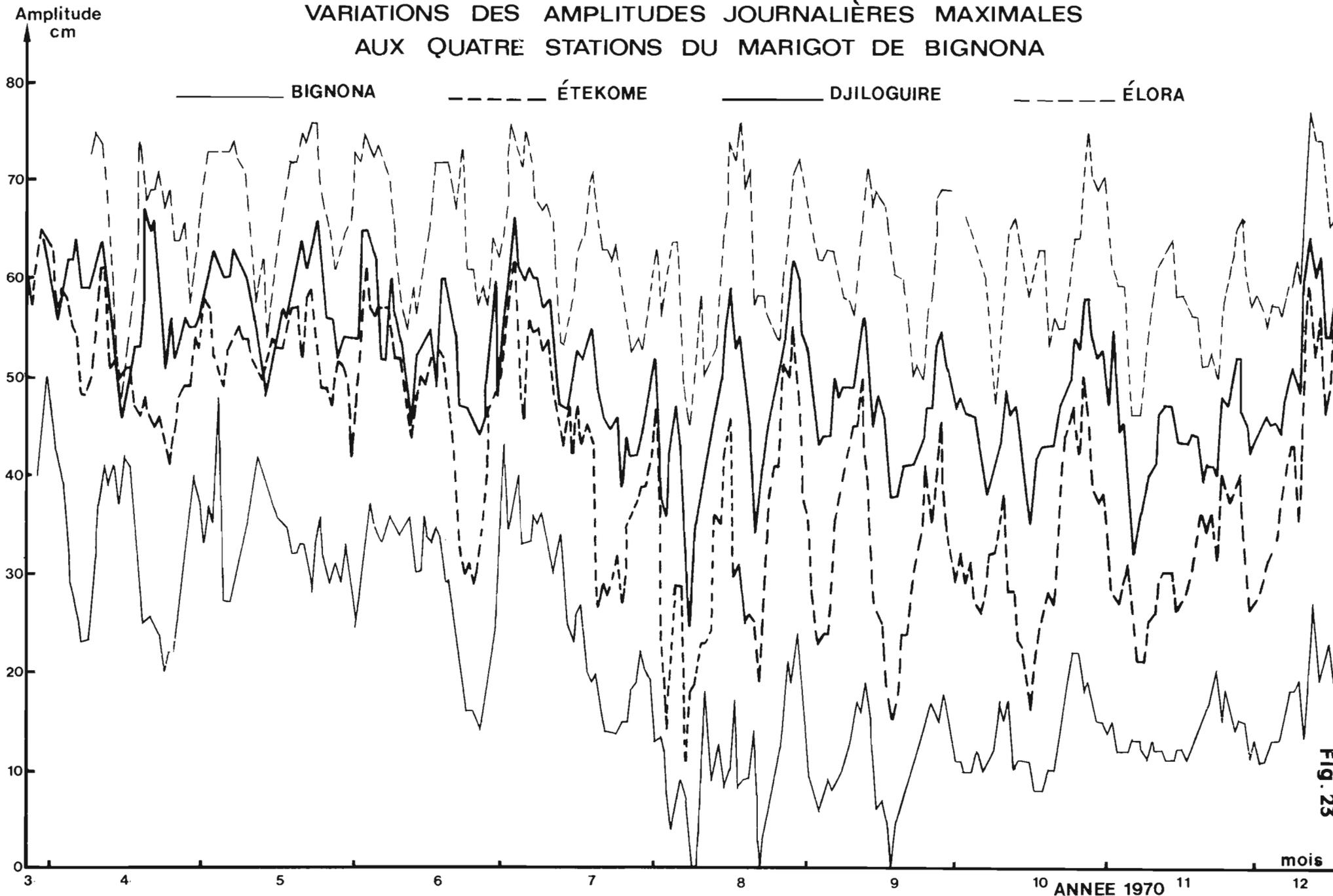


Fig. 23

date des.

ANNEE 1970

mois

Comme cela a été dit, les amplitudes diminuent de l'aval vers l'amont et ce, de façon régulière tant pour les amplitudes maximales que minimales. L'amplitude de la marée diminue environ de 5 cm tous les dix kilomètres de DJILOGUIRE à BIGNONA.

A DIOGUE, embouchure de la CASAMANCE, soit à 59 km en aval d'ELORA, Y. BRUNET-MORET indique une amplitude maximale de 150 cm ; sur l'estuaire de la CASAMANCE la diminution d'amplitude est plus rapide que sur le marigot de BIGNONA (11 cm pour 10 km).

Hors de l'influence des crues, l'amplitude maximale sur la période est de :

- 91 cm à ELORA,
- 88 cm à DJILOGUIRE,
- 80 cm à ETEKOME,
- 67 cm à BIGNONA.

3.1.4 Amplitudes et niveaux moyens mensuels

Par planimétrage, on a déterminé la hauteur moyenne mensuelle du niveau d'eau aux différentes stations ; de même le planimétrage des variations mensuelles de l'amplitude maximale journalière entre les niveaux extrêmes atteints chaque jour par la plus forte marée a conduit à déterminer les amplitudes moyennes mensuelles correspondantes.

Le tableau ci-après en donne les résultats :
(H = hauteur moyenne à l'échelle ; A = amplitude moyenne)

		Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	Moyenne
BIGNONA	H	54	54,2	58,3	60,6	80,6	76,0	69,7	67,3	58,1	64,3
	A	32,5	33,6	28,7	25,8	9,7	10,8	12,9	13,3	23,9	21,2
ETEKOME	H	49,0	48,4	51,0	57,3	64,5	65,0	62,9	64,0	49,4	56,8
	A	52,0	52,3	48,3	43,9	32,7	31,8	32,9	31,3	51,3	41,8
DJILOGUIRE	H	74,0	73,5	77,7	79,5	88,1	86,7	85,5	87,3	74,2	80,7
	A	56,7	58,6	54,7	52,1	46,5	47,3	46,6	43,7	57,4	51,5
ELORA	H	-	81,3	83,7	87,0	90,0	90,7	89,7	92,3	81,6	87,0
	A	-	67,7	66,7	64,5	61,0	62,2	62,3	58	66,5	63,5

Les graphiques de la figure 24 illustrent les variations. On notera, surtout pour BIGNONA, l'incidence des apports amont sur le relèvement du niveau moyen en août. A ELORA, leur incidence n'est pratiquement plus sensible et le maximum atteint en novembre est lié au maximum de l'onde annuelle. La figure présente aussi les relations entre hauteurs et amplitudes moyennes mensuelles. L'amplitude est d'autant plus faible que la hauteur moyenne est élevée. La relation pourrait être linéaire et de la forme $A = -kH + A_0$, k augmentant lorsque l'on va vers l'amont (ce qui signifie que pour une même variation de hauteur, on aura, vers l'amont, une plus forte variation d'amplitude).

Cette relation recoupe d'ailleurs la remarque qui a été faite précédemment rattachant essentiellement les variations du niveau moyen journalier à celles des minimums journaliers de marée basse, avec pour une augmentation du niveau, une diminution de l'amplitude.

Les niveaux moyens sur la période d'observation sont aux échelles respectives de 87,0 cm à ELORA, 80,7 cm à DJILOGUIRE, 56,8 cm à ETEKOME, 64,3 cm à BIGNONA.

L'estimation du niveau moyen annuel des marées doit prendre en considération la période de faible niveau général de janvier, février, mars et supprimer l'incidence des apports de saison des pluies.

Le niveau moyen interannuel pourrait être de l'ordre de :

84 cm à ELORA,

75 cm à DJILOGUIRE,

50 cm à ETEKOME,

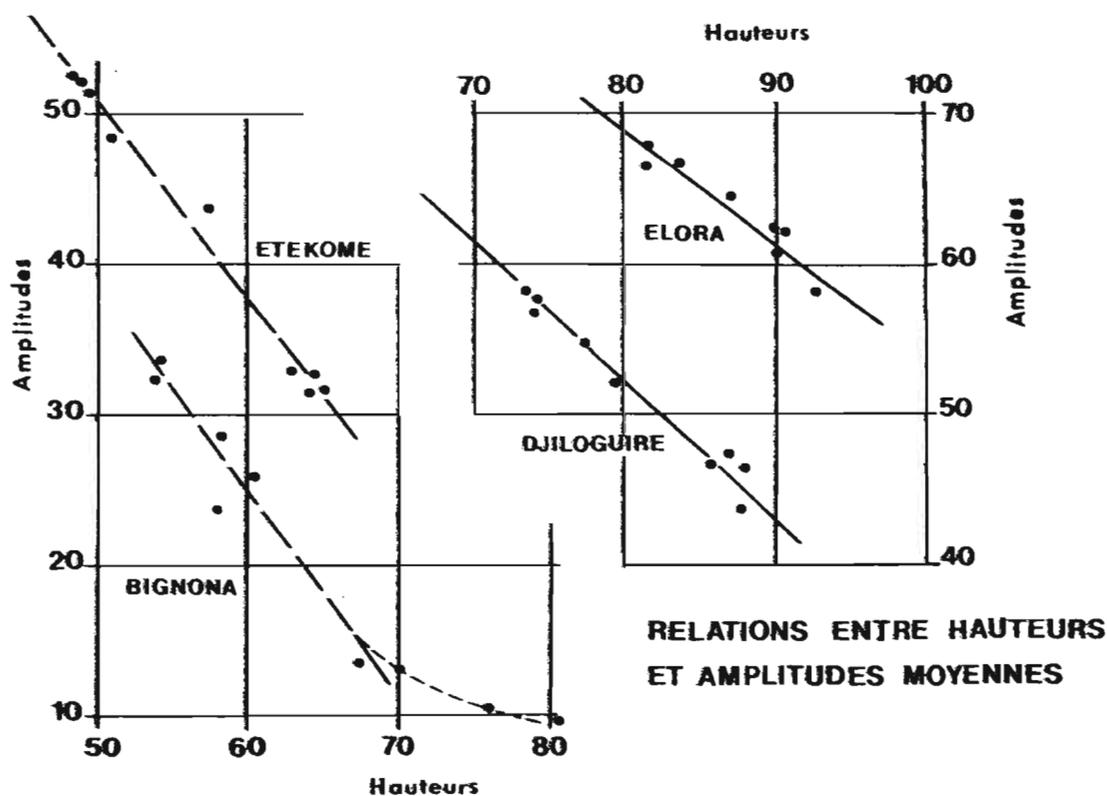
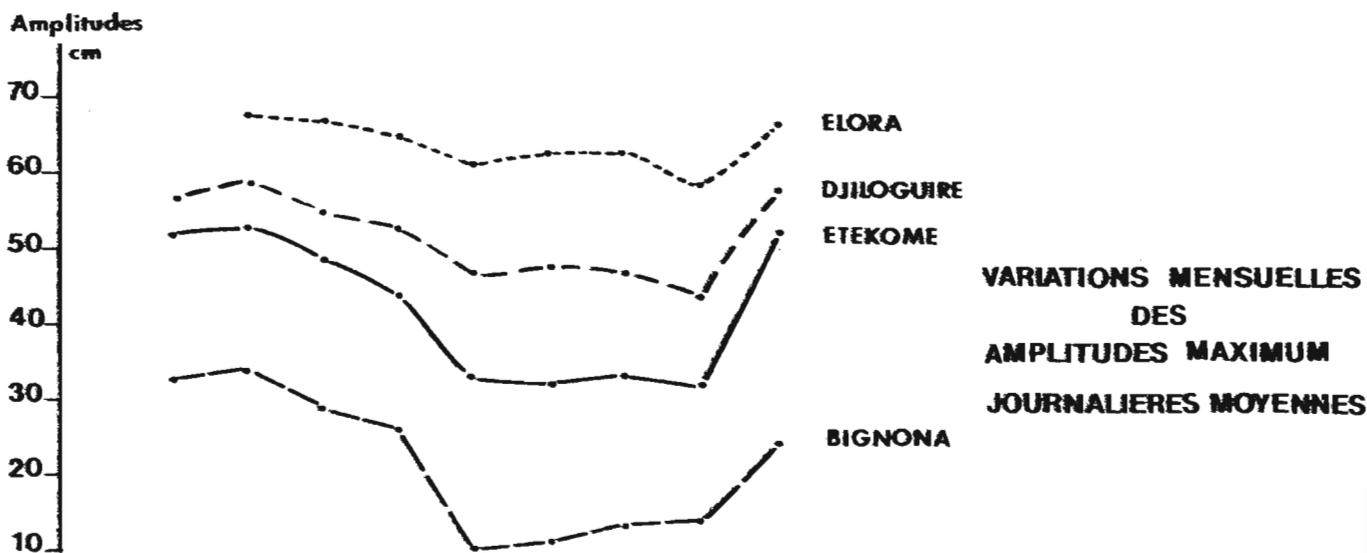
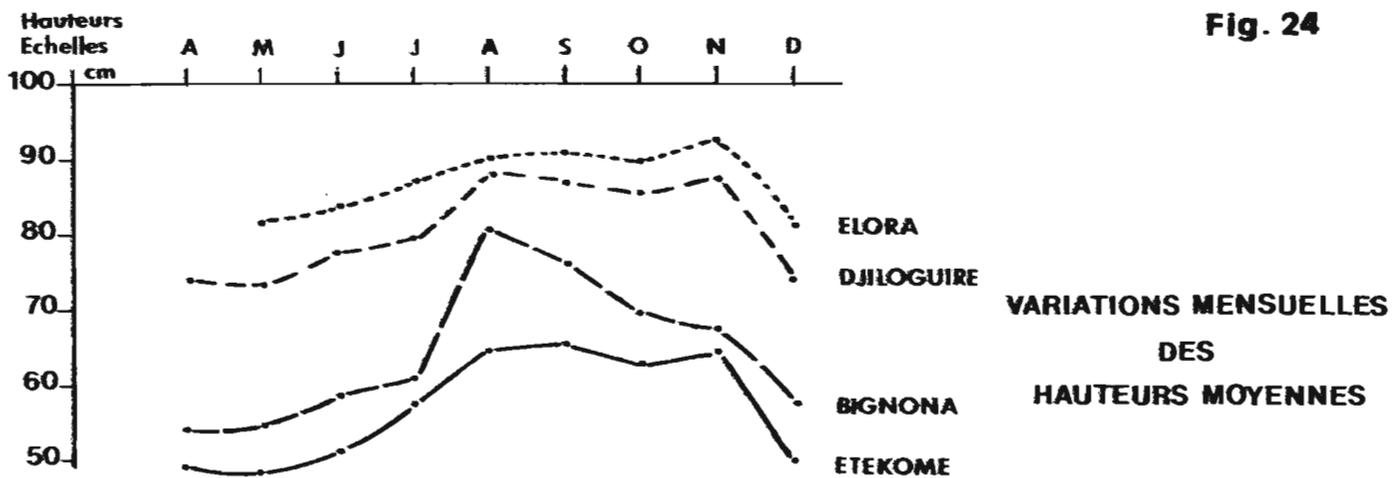
55 cm à BIGNONA.

(Hauteurs lues aux échelles respectives.)

3.1.5 Vitesses de translation de l'onde

Elles ont été calculées pour les minimum et maximum de la marée diurne des 5 et 6 juin pour les biefs ELORA-DJILOGUIRE 14 km, DJILOGUIRE-ETEKOME 23 km, ETEKOME-BIGNONA 23 km à partir des durées de translation de l'onde indiquées précédemment (3.1.1). Les enregistrements d'ELORA ne sont pas assez précis (diagrammes mensuels) pour permettre une détermination fiable de la vitesse dans le bief aval.

Fig. 24



Exemples de vitesses de translation de l'onde de marée en m/s :

	Bief aval ELORA-DJILOGUIRE	Bief médian DJILOGUIRE-ETEKOME	Bief amont ETEKOME-BIGNONA
Minimum			
marée basse 5 juin	<i>1,7*</i>	4,8	3,3
6 juin	<i>1,6</i>	5,4	3,2
Maximum			
marée haute 5 juin	<i>1,1</i>	2,7	2,9
6 juin	<i>1,1</i>	3,2	2,9

* : Les valeurs en italiques sont approximatives.

Bien que les valeurs de la première colonne du tableau doivent être prises avec réserves, une tendance paraît se dégager ; elle est confirmée sur d'autres enregistrements, avec des vitesses très variables cependant (ex : 27-28 janvier 1971, 2 m/s sur le bief aval, 5 et 3 m/s à marée basse et marée haute du bief médian, 2,6 et 2,2 m/s à marée basse et marée haute du bief amont).

Cette tendance montre que les vitesses de translation de l'onde sont plus rapides à marée basse qu'à marée haute et, pour le marigot de BIGNONA au moins, qu'on a des vitesses plus grandes dans les biefs médian et amont que dans le bief aval.

On sait qu'en théorie la vitesse maximale possible de translation d'une onde de marée dans un fleuve est donnée par :

$$V = \sqrt{g(H + h)} - u$$

où : g est l'intensité de la pesanteur

H " la profondeur moyenne dans la section pour h = 0

h " la hauteur de l'onde

et u " la vitesse moyenne dans la section du débit d'eau douce, nulle ici.

Cette formule impliquerait des vitesses plus grandes à marée haute qu'à marée basse.

Mais les "frottements", diminuant l'énergie de l'onde de marée et, par suite, sa vitesse de translation, sont bien plus importants à marée haute, du fait des vastes zones envahies et occupées en partie par les palétuviers, qu'à marée basse où ces "frottements" se limitent aux berges du lit mineur du marigot.

Ce coefficient de "frottement" ou de "freinage" à appliquer à la vitesse maximale possible V de l'onde est plus déterminant que la variation de hauteur de l'onde h entre marées haute et basse.

Le peu de différence entre les vitesses marée haute et marée basse du bief aval et leurs faibles valeurs par rapport aux biefs amont s'expliqueraient par de larges zones d'inondation en partie pérennes et une mangrove à forte densité de palétuviers.

Les fortes vitesses dans le bief DJILOGUIRE-ETEKOME et les différences marquées entre les vitesses de marées basse et haute sont liées à l'existence d'un lit mineur large et profond à marée basse et, à marée haute, de zones d'inondation où la densité des palétuviers a beaucoup diminué par rapport aux régions aval. Tout ceci est conforme aux lois de la propagation des ondes à travers différents milieux.

Dans le bief ETEKOME-BIGNONA, le ralentissement des vitesses s'explique par la déduction progressive de la section et de la profondeur du marigot.

Rappelons que la vitesse de propagation de l'onde marée ou vitesse de translation ne doit pas être confondue avec la vitesse du courant de marée (ici la vitesse du flot).

Vitesses du courant de marée

Il n'y a pas eu de mesures systématiques effectuées qui permettent en particulier de calculer les volumes transitant à une station au flot ou au jusant.

Signalons que les observations sur le terrain montrent que l'étale marée haute (EMH) ou l'étale marée basse (EMB) pour lesquelles le courant est nul, surviennent avec un net décalage par rapport à l'observation du maximum ou du minimum. L'étale est de courte durée et la "renverse" du courant est observée en moyenne une demi-heure après l'apparition du maximum ou du minimum.

3.1.6 Conclusions

Les principales hauteurs et amplitudes caractéristiques déterminées en 1970 ont été reportées dans le tableau récapitulatif 6.

La période d'observation limitée, l'imprécision relative de certains enregistrements ne permettent pas une analyse plus détaillée des phénomènes déterminant le transfert de l'onde de marée dans le marigot de BIGNONA.

Sur le plan des hauteurs et amplitudes maximales susceptibles d'être observées sur le marigot de BIGNONA, il paraît raisonnable d'appliquer, avec Y. BRUNET-MORET, un coefficient de 1,05 aux valeurs maximales observées. On obtient :

	Hauteur maximale de l'onde de marée	Amplitude maximale journalière
ELORA	131	86
DJILOGUIRE	118	80
ETEKOME	86	68
BIGNONA	83	53

A ces hauteurs maximales, il convient d'ajouter bien entendu l'incidence éventuelle d'apports dus aux précipitations et aux crues. Cette incidence a été évoquée dans le deuxième chapitre.

Tableau 6

RAPPEL DE VALEURS CARACTERISTIQUES DES MAREES

SUR LE MARIGOT DE BIGNONA EN 1970

Hauteurs ⁽¹⁾ cm	ELORA	DJILOGUIRE	ETEKOME	BIGNONA
moyenne sur la période	87	80,7	56,8	64,3
moyenne journalière				
maximale ⁽⁴⁾	101 (8/8)	103 (8/8)	82 (8/8)	111 (7/8)
moyenne journalière				
minimale ⁽⁴⁾	71 (28/12)	61 (29/3 et 28/12)	35 (29/3)	40 (29/3)
maximale journalière ⁽⁴⁾	130 (17/9)	118 (17/9)	89 (8/8)	111 (7/8)
marée haute maximale ⁽²⁾	125 (22/6)	112 (16/11)	82 (1/12)	79 (22/6)
moyenne maximale mensuelle ⁽³⁾	92,3 (11)	88,1 (8)	65,0 (9)	80,6 (8)
moyenne minimale mensuelle ⁽³⁾	81,3 (5)	73,5 (5)	48,4 (5)	54,0 (4)
minimale journalière ⁽⁴⁾				
(ou marée basse la plus basse)	34 (13/12)	24 (29/12)	2 (28/3)	12 (29/3)
plus basse marée haute ⁽⁴⁾	104 (25/12)	92 (29/3)	59 (29/3)	61 (25/12)
plus haute marée basse ^{(2) (4)}	76 (7/11)	77 (7/11)	59 (7/11)	66 (7/11)
Amplitudes maximales journalières (cm)				
amplitude entre valeurs moyennes mensuelles extrêmes	10,9	14,6	16,6	26,6
maximale journalière ⁽⁴⁾	82 (31/12)	76 (30/12)	65 (29/3)	50 (29/3)
maximale mensuelle ⁽³⁾	67,7 (5)	58,6 (5)	52,3 (5)	33,6 (5)
maximale sur la période	91	88	80	67
minimale mensuelle ⁽³⁾	58 (11)	43,7 (11)	31,3 (11)	9,7 (8)
minimale journalière ⁽⁴⁾				
. avec influence de la crue	45 (7/8)	25 (7/8)	11 (7/8)	0 (7/8)
. hors crue	46 (6/11)	32 (6/11)	21 (7/11)	11 (7/11)

(1) : hauteurs lues à l'échelle de chaque station.

(2) : hors épisodes de crue.

(3) : le mois correspondant est indiqué entre parenthèses.

(4) : la date correspondante est indiquée entre parenthèses.

3.2 ETUDE DE LA SALINITE DU MARIGOT DE BIGNONA

3.2.1 Généralités

Quatre stations principales de salinométrie ont été retenues ; elles correspondent aux stations de marégraphie-limnométrie de BIGNONA, ETEKOME, DJILOGUIRE et ELORA. Deux points de mesure entre DJILOGUIRE et ELORA ont été suivis épisodiquement : le premier, juste avant le premier affluent de rive gauche en aval de DJILOGUIRE ; le second, après la cabane "gare-pirogues" d'AFINIAN. Une mesure a été effectuée au confluent avec la CASAMANCE.

Les prélèvements ont été effectués sur plusieurs verticales de la section matérialisées par des bouées, ou par alignement sur des repères (dans le cas d'ELORA où les bouées ont été volées par des pêcheurs), et à différentes profondeurs des verticales. L'exploration de la salinité dans la section devait permettre de mettre en évidence d'éventuelles variations pouvant montrer par exemple l'existence d'une langue plus salée en profondeur, d'une stratification d'eaux de différentes densités.

Les mesures ont été faites par conductivité avec prise de la température. Les hydrologues ont utilisé un appareil CENCO n° 257 avec sonde combinée température-conductivité fréquemment testé par rapport à un appareil restant au laboratoire et étalonné par des analyses faites au laboratoire de l'ORSTOM à DAKAR⁽¹⁾.

3.2.2 Résultats

Les résultats des mesures montrent qu'il n'y a pas, d'une manière générale, de variations significatives de la salinité dans la section à un "instant" donné (elle varie déjà naturellement pendant la durée des prélèvements). Comme cela a déjà été observé sur la CASAMANCE par Y. BRUNET-MORET, on ne note pas l'existence de langue salée ; il y a pratiquement mélange homogène des eaux dans la section. Ce mélange est probablement favorisé par les courants rapides créés par le drainage des zones envahies à marée haute pendant la phase descendante.

(1) : cf. BRUNET-MORET [4].

La salinité moyenne dans la section à un "instant" donné a été obtenue par la moyenne arithmétique des prélèvements effectués.

Ces résultats sont indiqués dans les tableaux 7 à 10. On a précisé dans ces tableaux l'état de la marée au moment des prélèvements (marée montante MH, marée descendante MB, étales marée haute EMH et marée basse EMB). Les variations de salinité entre étales marée haute et marée basse, suivent l'importance des transferts vers l'amont ou vers l'aval (flot ou jusant) de volumes d'autant plus importants que les marées seront fortes et leurs amplitudes importantes, dans des conditions identiques de variation de la salinité de l'amont vers l'aval. Elles sont plus marquées en saison sèche.

3.3.3 Les variations de salinité au cours de l'année 1970-1971

Les figures 25 et 26 illustrent les variations de la salinité aux 4 stations étudiées pour l'année 1970-1971.

L'examen des graphiques montre que :

- . Le maximum de salinité est atteint en fin de saison sèche, fin juin-début juillet, avec peut-être un petit décalage dans le temps pour les stations de DJILOGUIRE et ELORA moins affectées par les premières pluies de la saison.
- . Les maximums augmentent de l'amont vers l'aval mais se stabilisent à partir de DJILOGUIRE pour des concentrations en sels de l'ordre de 40 g/l, salinités que l'on retrouve les années précédentes (Y. BRUNET-MORET) dans la CASAMANCE à ZIGUINCHOR et qui diminuent plus en aval pour retrouver la salinité des eaux marines à l'embouchure.
- . Le maximum atteint est de 23 g/l à BIGNONA, 34 g/l à ETEKOME et de 41 et 43 g/l à DJILOGUIRE et ELORA.
- . La chute des salinités est très brutale avec les apports de saison des pluies. Elle survient avec un décalage de 10 jours entre BIGNONA et ETEKOME, ce qui traduit la prédominance de l'écoulement des zones amont sur l'apport direct des précipi-

tations. Elle est pratiquement simultanée à ETEKOME et DJILOGUIRE (poids de l'apport direct des pluies) de même qu'à ELORA où la chute est cependant moins brutale.

- . La décroissance des concentrations en sel évolue plus lentement dès le début du mois d'août à BIGNONA, à la mi-août pour ETEKOME et DJILOGUIRE, fin août pour ELORA.
- . Le minimum de salinité est observé fin août et dans le courant du mois de septembre. On a de l'eau douce à BIGNONA (0,1 g/l) (pratiquement de l'eau douce du mois d'août au mois de décembre). A ETEKOME, le minimum est de 0,79 g/l fin août ; les salinités restent inférieures à 2 g/l pendant 3 mois. A DJILOGUIRE, le minimum est de 1,5 g/l fin septembre ; les salinités restent inférieures à 3 g/l pendant 2 mois environ. A ELORA, le minimum est de 8,27 g/l le 1/10/1970 ; les salinités sont inférieures à 10 g/l pendant 1 mois et demi environ.
- . L'augmentation des concentrations en sel commence dès la fin de la saison des pluies. Il y a pénétration des eaux plus salées de l'aval du fait de l'onde de marée (dont le maximum de l'onde annuelle est observé en novembre), du renouvellement des volumes évaporés et de la diffusion d'une solution plus concentrée vers une solution moins concentrée. On observe d'abord une période de faible croissance des salinités d'autant plus courte que l'on va vers l'aval (elle n'apparaît pas à ELORA), puis une croissance plus forte et linéaire en fonction du temps, de pentes voisines pour les 4 stations (+ 5 g/l par mois aux stations aval ; + 7 g/l par mois aux stations amont).
- . Il y a bien entendu une progression de la salure de l'aval vers l'amont. On atteint une salinité de 20 g/l vers le 20 janvier à DJILOGUIRE, vers le 10 mars à ETEKOME et vers le 10 mai à BIGNONA, soit 2 mois plus tard qu'à ETEKOME.
- . Enfin, les salinités en mai 1971 sont grosso modo au même niveau qu'en mai 1970.

Tableau 7

MARIGOT DE BIGNONA A BIGNONA

Date	Salinité en g/l				Date	Salinité en g/l			
	NB	EMB	MH	EMH		NB	EMB	MH	EMH
27.03.70			5,14		02.09.70				0,125
02.04.70		5,80			05.09.70				0,19
20.04.70			8,25		07.09.70				0,155
24.04.70				9,05	10.09.70			0,22	
04.05.70			12,10		14.09.70			0,115	
07.05.70			11,45		21.09.70	0,10			
04.06.70	16,80				28.09.70				0,19
09.06.70				19,0	30.09.70		0,21		
20.06.70	22,5				05.10.70		0,17		
22.06.70				22,5	10.10.70				0,23
29.06.70		23,5			12.10.70		0,23		
06.07.70			23,5		14.10.70		0,20		
13.07.70		22,2			17.10.70			0,18	
20.07.70				20,0	22.10.70		0,14		
24.07.70				20,0	09.11.70				0,42
30.07.70	3,4				16.11.70		0,39		
03.08.70			0,40		18.11.70			0,41	
10.08.70			0,195		23.11.70			0,47	
17.08.70				0,18	25.11.70		0,43		
22.08.70			0,15		26.11.70				0,55
24.08.70			0,16		12.12.70		0,50		0,61
26.08.70		0,29			19.12.70				0,74
27.08.70		0,34			05.01.71	1,15		1,25	
28.08.70	0,39				14.01.71	1,45		1,65	
31.08.70				0,25	01.02.71			2,40	
					09.02.71			2,55	2,85

Tableau 8

MARIGOT DE BIGNONA A ETEKOME

Date	Salinité moyenne g/l				Date	Salinité moyenne g/l			
	MB	EMB	MH	EMH		MB	EMB	MH	EMH
25.03.70				14,65	01.09.70				1,40
26.03.70	11,75				02.09.70				1,30
30.03.70			14,95		09.09.70	0,97			1,11
02.04.70		13,0			02.10.70	1,22		1,25	
19.04.70				20,1	03.10.70		1,25	1,25	
20.04.70			20,5		04.10.70	1,25		1,25	
28.04.70				24,4	13.10.70	1,20			1,25
04.05.70	30,0				15.10.70	1,25			1,27
10.05.70	29,0				23.10.70		1,0		1,15
03.06.70			31,0		10.11.70		2,10		2,10
04.06.70		31,0		31,0	16.11.70	2,10		2,40	
09.06.70			32,5		27.11.70		2,85		3,15
11.06.70	32,0				08.12.70		3,35		3,75
20.06.70		35,0		35,0	18.12.70			3,85	
22.06.70				32,0	05.01.71	5,15		6,10	
23.07.70		31,8			14.01.71	6,35		7,10	
25.07.70			31,8		01.02.71	9,75			
29.07.70			28,8		04.05.71			31	
16.08.70	1,27				14.05.71			32	
21.08.70			1,10		18.05.71			32	
23.08.70		0,79		0,84	28.05.71			32	

Tableau 9

MARIGOT DE BIGNONA A DJILOGUIRE

Date	Salinité en g/l				Date	Salinité en g/l			
	MB	EMB	MH	EMH		MB	EMB	MH	EMH
29.03.70		23,0			01.09.70			1,75	
03.04.70		26,0			08.09.70		1,90		1,90
07.04.70				30,0	15.09.70			2,35	
21.04.70				31,5	22.09.70			2,80	
28.04.70	34,5				29.09.70			1,50	
09.06.70			40,0		01.10.70	1,90		2,11	
30.06.70				40,5	06.10.70	2,65		3,42	
07.07.70		41,0			13.10.70			2,40	3,07
14.07.70				39,0	20.10.70		2,90	3,65	
21.07.70	36,2				27.10.70			2,58	
28.07.70				31,8	17.11.70	8,70		10,10	
05.08.70			15,2		24.11.70	8,00			9,90
11.08.70	4,25				22.12.70	14,70		14,70	
18.08.70			2,20	2,20	31.01.71	20,5		20,5	
25.08.70				2,12	04.05.71			35	
					18.05.71			37	

Tableau 10

MARIGOT DE BIGNONA A ELORA

Date	Salinité en g/l			
	MB	EMB	MH	EMH
07.04.70	32,0			
21.04.70			34,1	
05.05.70				43,0
09.06.70			40,0	
04.07.70			41,0	
05.08.70			21,0	
18.08.70				14,0
25.08.70	10,25			
01.09.70				11,25
08.09.70				9,26
15.09.70			8,90	
01.10.70			8,27	
06.10.70		8,65		
13.10.70				10,40
20.10.70		9,88		
27.10.70				9,40
17.11.70	13,70			
24.11.70	14,0			15,70
22.12.70			19,8	
31.01.71		26,0		
04.05.71			37	
18.05.71			36,5	

MARIGOT DE BIGNONA

Evolution de la salinité en 1970-71

à Etekome et Bignona

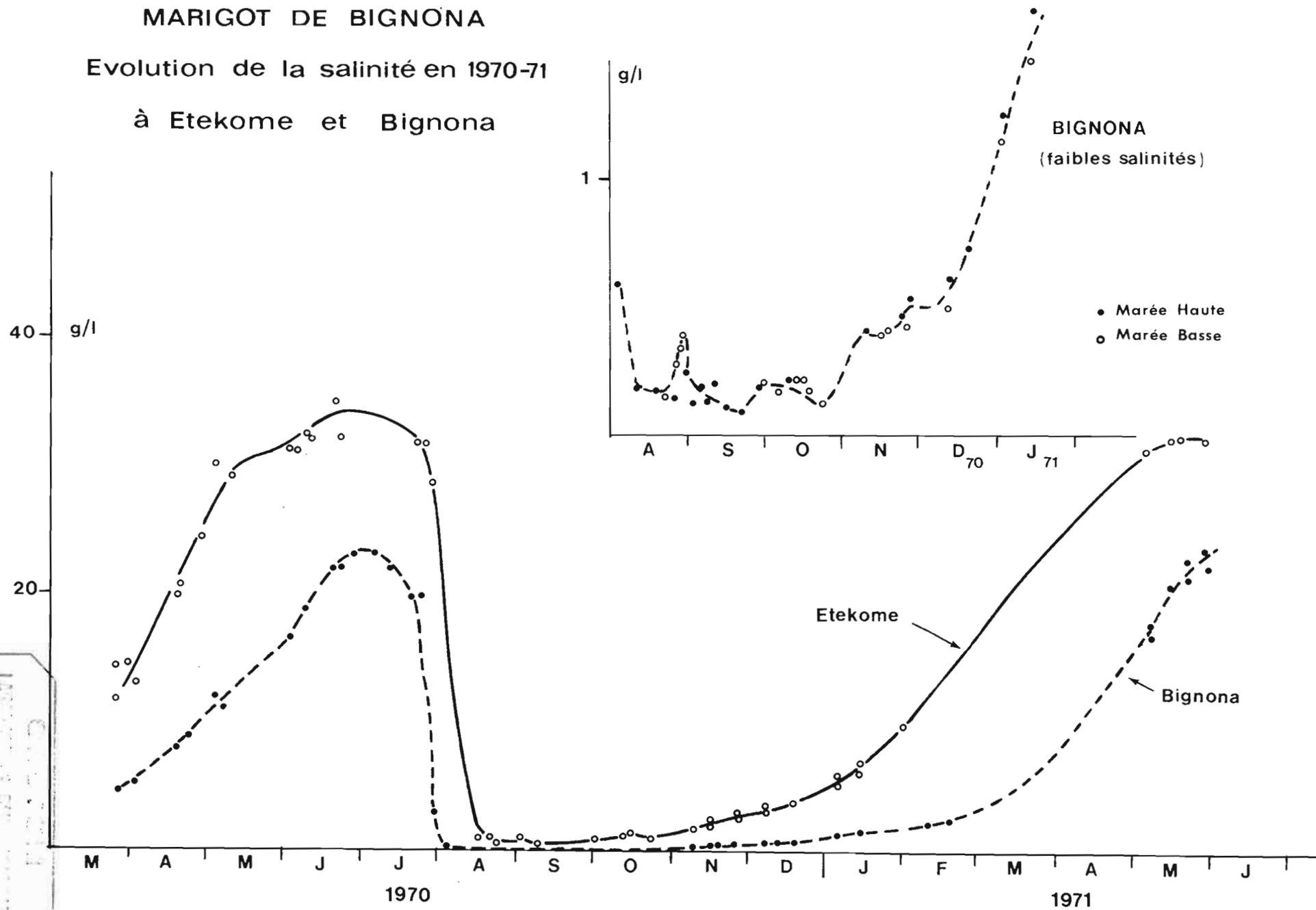


FIG. 25

MARIGOT DE BIGNONA
 Evolution de la salinité en 1970-1971
 à Elora et Djilloguire

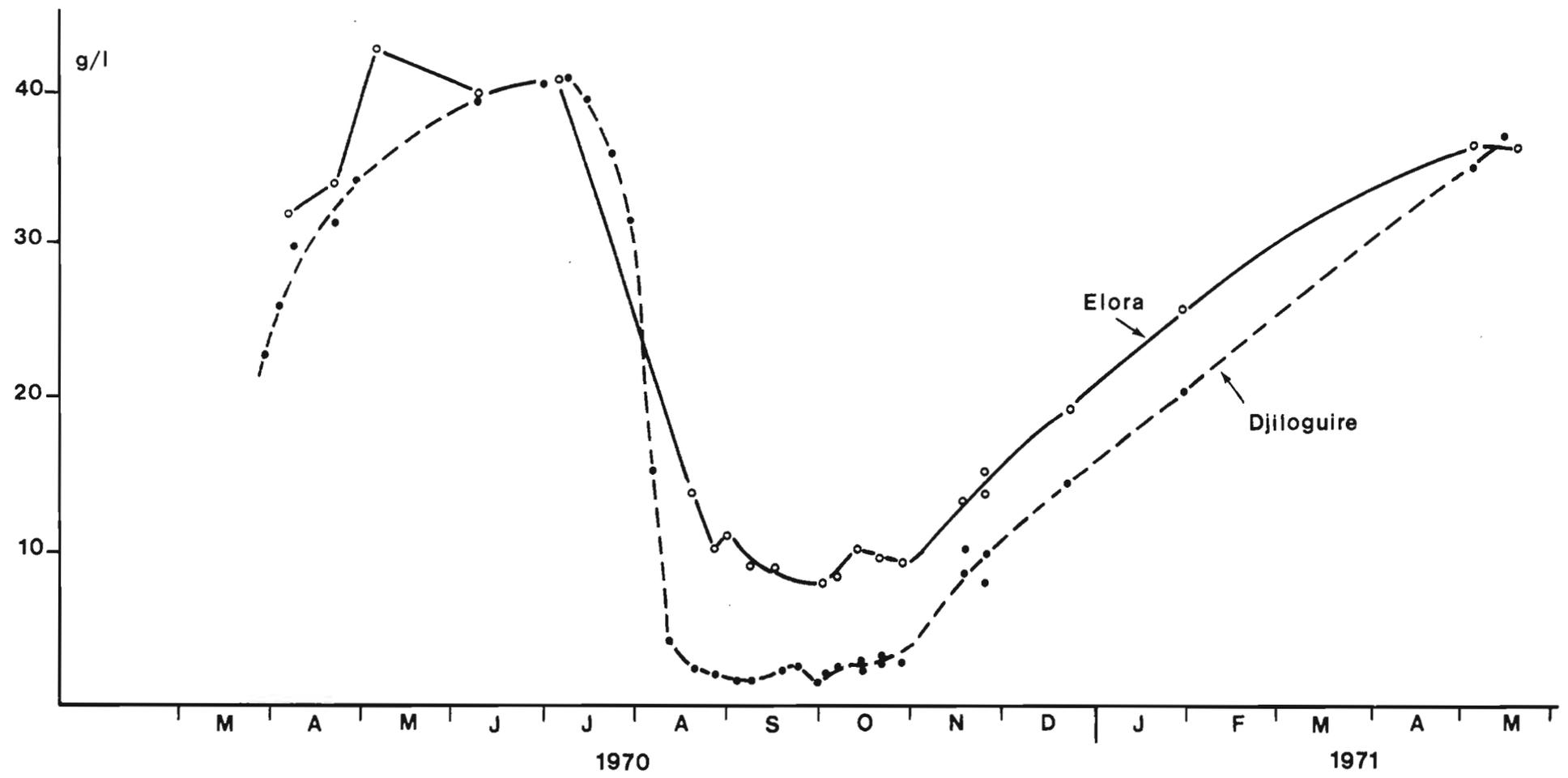


Fig. 26

Ce schéma, pour être particulier à l'année 1970-1971, n'en présente pas moins un certain nombre de points communs avec les observations d'Y BRUNET-MORET sur la CASAMANCE proprement dite.

3.3.4 Variations spatiales de la salinité en 1970-1971

En complément aux mesures données dans les tableaux précédents, nous donnons dans le tableau 11 les concentrations mesurées entre le confluent et BIGNONA pour différentes dates.

La figure 27 donne quelques courbes de ces variations spatiales le long du marigot. Les distances indiquées en kilomètres sont mesurées à partir du confluent avec la CASAMANCE. Le schéma général montre qu'aux faibles concentrations de la saison des pluies correspond une plus grande variation de salinité le long du bief aval du marigot de BIGNONA. Inversement, en fin de saison sèche, la salinité varie plus rapidement dans le bief amont.

On observe les stades intermédiaires de cette évolution de la salinité de l'aval vers l'amont du marigot de BIGNONA avec passage par une relation linéaire fonction de la distance à la fin janvier 1971.

Cette relation, propre à l'année s'écrit :

$$C \text{ g/l} = - 0,4 d + 27.$$

d : distance en kilomètres mesurée à partir du confluent avec la CASAMANCE.

Fig. 27

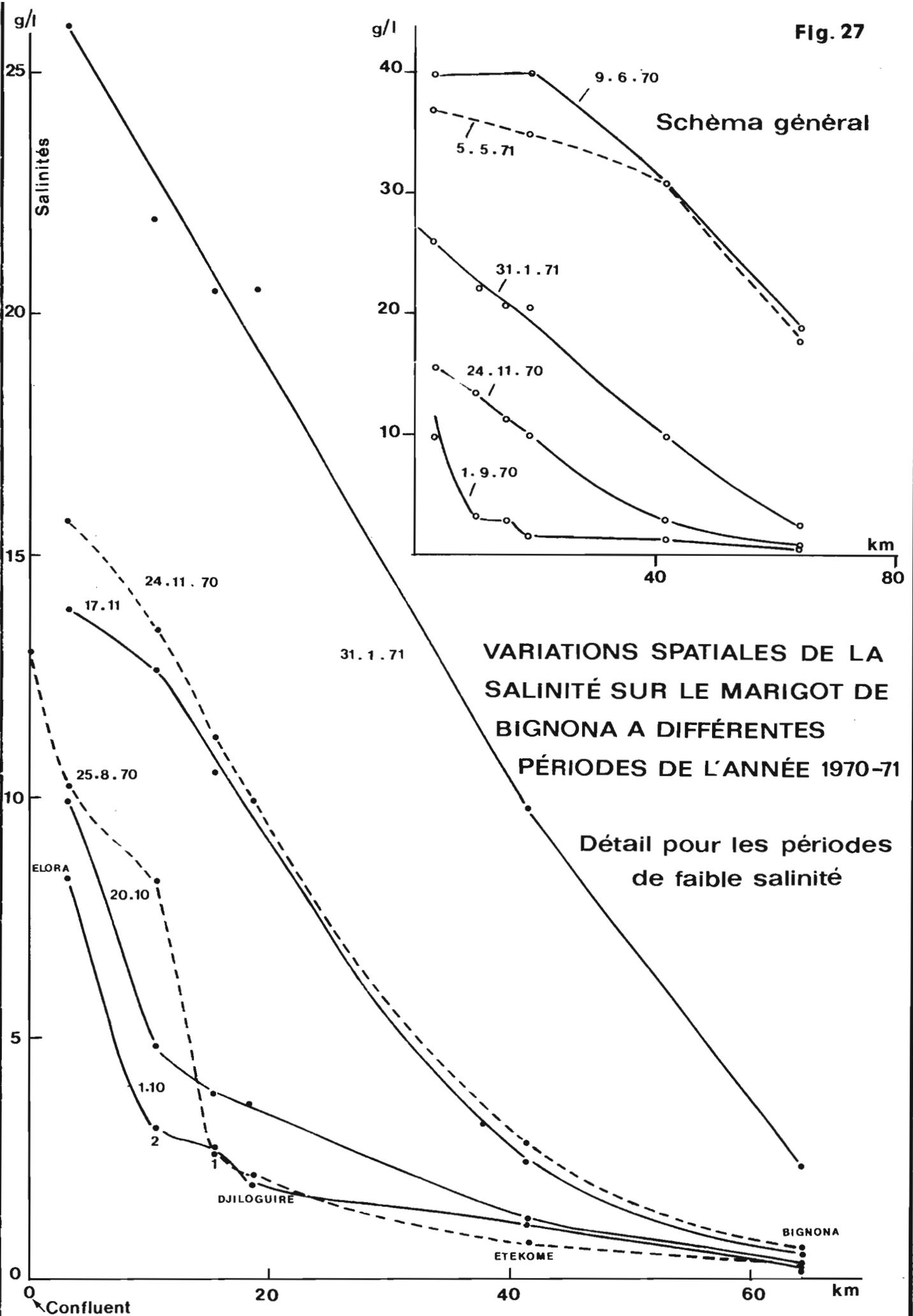


Tableau 11

VARIATIONS SPATIALES DE LA SALINITE EN 1970-1971

	Distance en km	25/8/70	8/9	8/9	15/9	1/10	6/10	13/10	20/10	27/10	17/11	24/11	31/1/71
BIGNONA	64	(0,25)	(0,2)	(0,15)	(0,11)	(0,2)	(0,17)	(0,2)	(0,18)	(0,2)	(0,4)	(0,44)	2,4
ETEKOME	41	(0,8)	1,4	(1,0)	-	(1,2)	(1,25)	1,2	(1,15)		(2,3)	(2,7)	9,75
DJILOGUIRE	19	2,12	1,75	1,90	2,35	1,90	3,42	2,40	3,65	2,58	10,1	9,9	20,5
1	15,5	2,55	2,80	2,60	3,20	2,70	3,55	3,75	3,80	3,70	10,5	11,2	20,5
2	10,5	8,30	3,35	3,07	3,85	3,05	4,35	4,35	4,82	4,80	12,6	13,5	22,0
ELORA	3,2	10,25	11,25	9,26	8,90	8,27	8,65	10,40	9,88	9,40	13,7	15,7	26,0
Confluent CASAMANCE	0	13,0											

C O N C L U S I O N S

L'étude proposée ici ne constitue évidemment pas une analyse complète de ce qui aurait pu être exploité à partir des mesures effectuées en 1970-1971. Certains points seulement ont été abordés. Ils l'ont été dans le contexte de l'époque sans tenir compte des données obtenues ultérieurement. Ce respect de la chronologie conduit à certains résultats qui pourraient être infirmés par les observations récentes. Mais celles-ci réalisées dans une période de fort déficit pluviométrique concourent davantage à élargir l'éventail de notre connaissance du milieu de Basse-CASAMANCE, à mieux définir certains mécanismes de phénomènes hydrologiques qu'à réfuter les explications qui ont pu être proposées ici. L'étude des crues en tête de bassins constitue, par exemple, encore à l'heure actuelle, la seule analyse basée sur des observations assez précises ; c'est un domaine où les mesures doivent donc être poursuivies. De même les études sur le bilan hydrologique ont peu fait de progrès et dans ce sens les essais de modélisation ne constituent qu'exercices d'école s'ils ne s'appuient pas sur de réelles observations régulièrement actualisées.

On ne saurait donc trop recommander la poursuite d'études en CASAMANCE.

Il conviendra de préciser certains paramètres par une analyse fine, de reprendre certaines hypothèses pour éventuellement les vérifier. Dans ce sens, des synthèses spécifiques à tel ou tel problème paraissent préférables à une monographie qui se voudrait exhaustive.

Pour terminer, les résultats publiés ici constituent une contribution complémentaire des hydrologues de l'ORSTOM aux projets d'aménagements hydro-agricoles de CASAMANCE. En ce qui concerne BIGNONA, il s'agit en particulier du projet de Barrage anti-sel d'AFFINIAM, peu en aval d'ELORA, dont les études sont bien avancées.

B I B L I O G R A P H I E

- [1] AUBREVILLE (A.) - La CASAMANCE.
L'Agronomie Tropicale - Vol. III n° 1-2,
p. 25-52, 1948.
- [2] BRUNET-MORET (Y.) - Etudes hydrologiques en CASAMANCE.
38 p. + annexes.
multigraphie ORSTOM, PARIS, Novembre 1967.
- [3] BRUNET-MORET (Y.) - Etudes hydrologiques en CASAMANCE.
Campagne 1967-1968 - Rapport provisoire.
23 p. + figures.
multigraphie ORSTOM, PARIS, Novembre 1968.
- [4] BRUNET-MORET (Y.) - Etudes hydrologiques en CASAMANCE.
Rapport définitif.
52 p. + 104 figures et tableaux.
multigraphie ORSTOM, PARIS, 1970.
- [5] GERCA-ILACO - SCET-COOP - Aménagements hydro-agricoles en CASAMANCE
et Haute-GAMBIE - Tome 4, Vol. 2 : CASAMANCE
maritime - Etudes complémentaires, Mai 1963.
- [6] MICHEL (P.) - Recherches géomorphologiques en CASAMANCE
et en GAMBIE méridionale.
B.R.G.M., DAKAR, 1960.
- [7] RODIER (J.A.), AUVRAY (C.) - Estimations des débits de crues
décennales pour les bassins versants de super-
ficie inférieure à 200 km² en AFRIQUE Occidentale.
ORSTOM, PARIS, 1965.
- [8] VIEILLEFON (J.) - Recherche sur la genèse et l'évolution des sols
de mangroves et de tannes du SENEGAL.
ORSTOM, DAKAR, 1969.