

1

Jean Luc SAOS
Honoré DACOSTA
Yann LE TROQUER
Jean Claude OLIVRY

LE MARIGOT DE BAILA
(BASSE CASAMANCE)

PLUVIOMETRIE ET ECOULEMENTS

(Résultats des campagnes 1983-1984-1985-1986)



Remplacé et perdu

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : ~~27472 et 9~~

Cote : ~~B~~

19/2/2000

CCD SAO
CRDO - DAKAR
date *7/11/88*
n° *6084* cote

DECEMBRE 1987

STITUT FRANÇAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CENTRE DE DAKAR-HANN



ORSTOM Fonds Documentaire

N° : *27.472 et 9*

Cote : *B P164*

12 FEVR. 1990.

AVANT - PROPOS

L'étude du marigot de Baïla a débuté en 1979 dans le cadre d'une convention entre la Société Louis Berger et l'ORSTOM (R. GALLAIRE - Etude hydrologique du marigot de Baïla - Dakar 1980).

Devant l'intérêt des résultats qui pouvaient être attendus du suivi de l'évolution des paramètres hydrologiques de ce bassin versant représentatif du milieu margino-littoral sud sahélien soumis à d'exceptionnelles conditions climatiques, cette étude a été poursuivie par l'ORSTOM dans le cadre d'un de ses programmes propres.

L'objectif de ce programme est de dresser un bilan des eaux, sels et sédiments le plus complet possible, de déterminer les inter-relations et proposer des modèles qui, tenant compte des pressions anthropiques et des contraintes climatiques, devraient permettre une meilleure gestion des ressources de ce milieu fragile.

Les résultats des campagnes de 1980 à 1983 ont fait l'objet d'un rapport ORSTOM, dans lequel J.C. OLIVRY et H. DACOSTA (1984) font un premier bilan (Bilan des apports hydriques et évolution de la salinité. Résultat des campagnes 1980 à 1983 - Dakar, juin 1984)

Ce présent rapport est le 1er volet des résultats des campagnes de 1983 à 1986, il concerne uniquement la pluviométrie et les écoulements. L'étude de l'invasion marine et des échanges marigot/nappe alluviale ainsi que celle de l'évolution des nappes souterraines (commencée en 1987), feront l'objet de rapports ultérieurs.

INTRODUCTION

Le Baïla, Diouloulou, affluent de la Casamance, qui a son exutoire près de l'embouchure, a subi depuis quelques années, de profondes modifications engendrées par un sévère déficit hydrique persistant. Il fonctionne une longue partie de l'année en estuaire inverse, la salinité des eaux atteint des valeurs très élevées et la mangrove a tendance à périlcliter.

L'étude de la pluviométrie et des écoulements est faite ici sur les 1634 km² du bassin versant de Baïla limité en aval à la station limnimétrique de Kartiack et contrôlé par 3 stations intermédiaires Baïla, Balandine, Djibidione, et une station amont: Toukara, hors de l'influence des eaux marines.

Le bassin versant est localisé entre 12°47 et 13°13 de latitude Nord, et 15°55 et 16°32 de longitude Ouest. Il s'étale sur 70 km du N-E au S-O et 35 km du N-O au S-E, à une altitude peu élevée (de 0 à 37 mètres). Le cours du Baïla s'étire sur plus de 110 km entre Alakounda à la frontière Gambienne et Kartiack.

DESCRIPTION DU BASSIN VERSANT (H. Dacosta 1983) :

Surface du BV : 1634 km² à Kartiack

Périmètre : 200 km

Coefficient de compacité : 1,39

Dimensions du rectangle équivalent : L = 80 km; l = 20 km.

Le relief est ici assez mou et le point le plus élevé du bassin est à 37 m près de Tandine, au Sud-Est de Djibidione (fig. 1). La pente moyenne transversale est faible et évolue peu de l'aval vers l'amont :

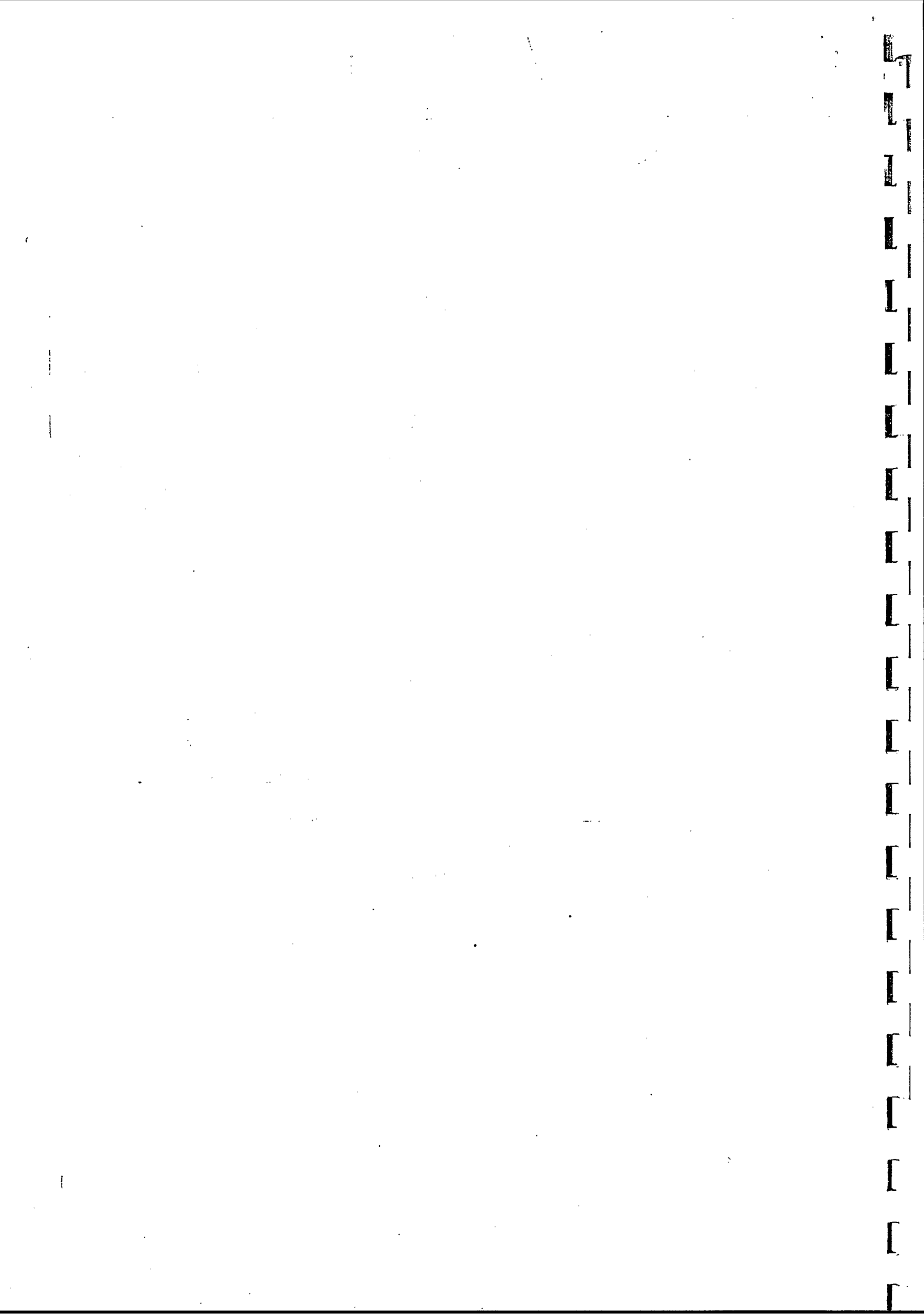
à Baïla : 1,2%

à Balandine : 1,47%

à Djibidione : 1,51%

En amont de Djibidione, la pente moyenne décroît de nouveau pour atteindre la valeur de 1,2%. Par contre en aval de Kartiack, elle n'est plus que de 0,5%.

La profonde pénétration des eaux marines de faible marnage et les nombreuses circonvolutions du lit du marigot indiquent que la pente longitudinale est négligeable sur toute la partie en aval de Balandine et un léger relèvement en amont de cette station. On a ainsi d'amont en aval : Toukara-Djibidione (24 km), p = 0,0125% ; Djibidione-Balandine (8,5 km), p = 0,0027% ; Balandine-Baïla (18 km), P = 0,0009% et Baïla-Kartiack, p = 0,0002%.



A. ANALYSE DES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

Le réseau pluviométrique sur le BV de Baïla est très jeune puisqu'il date de 1979, ce qui rend malaisée l'analyse de la pluviométrie. Dans l'environnement immédiat du bassin, les seules stations ayant une longue période d'observation sont Ziguinchor et Bignona au Sud; Diouloulou au Nord-Ouest; Inor à l'Est. Les périodes d'observation de ces stations sont :

Ziguinchor: 1918 - 1986; Bignona: 1954 - 1986; Inor: 1944 - 1986; Diouloulou: 1937. Il s'y ajoute la station de Kartiack, à l'exutoire du BV, observée de 1931 à 1959 et de 1982 à 1986 et Sindian depuis 1975.

En 1979 un réseau de six stations, dont deux pluviographes et une station météo, a été installé sur le BV. Mais après la campagne 1979-80, ce réseau est passé de 6 à 4 stations en 80-81 puis à 3 en 1981-82. Depuis, le nombre de stations s'est stabilisé à 4 avec des observations d'inégale qualité. C'est sur la base des stations longue-durée que se fera l'analyse de la pluviométrie.

I. Pluviométrie interannuelle

Les séries chronologiques de ces stations présentent des lacunes dues à des observations manquantes ou douteuses. Aussi seules les années sûres ont été retenues soit :

Ziguinchor	: 61 ans	$\bar{P} = 1459$ mm
Diouloulou	: 37 ans	$\bar{P} = 1254$ mm
Bignona	: 31 ans	$\bar{P} = 1195$ mm
Inor	: 30 ans	$\bar{P} = 1136$ mm

Les vingt années d'observation à Kartiack (1931-35; 39-42, 44-48, 50, 1982-86) donne une moyenne de 1317 mm.

Le calcul de moyennes interannuelles par décennie fait apparaître une diminution nette des précipitations dans la région. Dans le Tableau 1 sont indiquées pour les quatre stations retenues :

- la moyenne interannuelle calculée sur l'échantillon total de la station \bar{P}_{mm} ;
- la moyenne des décennies 1957-1966; 1967-1976 et 1977-1986 et leur rapport en % à la moyenne interannuelle (P_A);
- la moyenne des sept dernières années (1980-1986).

Tableau 1.

Stations	\bar{P}_A interannuelle	1957-1966		1967-1976		1977-1986		1980-1986	
		\bar{P}_{mm}	\bar{P}/P_A (%)	\bar{P}_{mm}	\bar{P}/P_A (%)	\bar{P}_{mm}	\bar{P}/P_A (%)	\bar{P}_{mm}	\bar{P}/P_A (%)
Ziguinchor	1459	1497	102,6%	1304	89,3%	1072	73,5%	1032	70,7%
Bignona	1195	1407	117,7%	1121	93,8%	949	79,4%	890	74,5%
Diouloulou	1254	1465	116,8%	1163	92,7%	940	75 %	887	70,7%
Inor	1136	1215	106,9%	1008	88,7%	951	83,7%	927	81,6%

Ce tableau montre qu'à l'exception de la décennie 1957-66, la diminution des pluies va croissante. Pour les sept dernières années dans lesquelles se situent les observations sur le Baïla, le déficit est de l'ordre de 30%.

A partir de la disposition des isohyètes interannuelles d'une part, et d'autre part, les pluies moyennes enregistrées aux stations longue-durée environnant le B.V entre 1954 et 1978. R. GALLAIRE a déterminé les hauteurs de pluies susceptibles d'être reçues en année moyenne dans les différents sous-bassins du marigot. Le tableau 2 ci-dessous en fait la récapitulation.

Tableau 2.

Stations	Surface (Km ²)	Pluie moyenne(mm)
Toukara	324	1175
Djibidionè	644	1190
Balandine	852	1205
Baïla	1342	1230
Kartiak	1634	1245

Ces hauteurs de pluies déterminées en fonction des isohyètes interannuelles ne tiennent pas compte des totaux annuelles des huit derniers hivernages, très déficitaires et qui ont beaucoup affecté la moyenne interannuelle des stations longue-durée. Par exemple, 1231 mm (1954-1978), la moyenne de Bignona passe à 1195mm si on y inclut la période 1979-86). Nous prenons comme référence les valeurs proposées par GALLAIRE compte tenu du caractère exceptionnel du déficit de ces dernières années.

C'est à partir de ces hauteurs moyennes qu'ont été déterminées les principales récurrences de la pluviométrie susceptible d'affecter le B.V à ses différents niveaux de contrôle :

Tableau 3.

Stations	D E F I C I T					Moyenne 1/2	EXCED.				
	1/100	1/50	1/20	1/10	1/5		1/5	1/10	1/20	1/50	1/100
Toukara	290	390	545	685	855	1175	1500	1670	1805	1960	2060
Djibidione	305	405	560	700	870	1190	1515	1685	1820	1975	2060
Balandine	320	420	575	715	885	1205	1530	1700	1835	2000	2100
Baïla	345	445	600	740	910	1230	1555	1725	1860	2025	2125
Kartiak	360	460	615	755	925	1245	1570	1740	1875	2040	2140

C'est sur la base de ces données que sera analysée la pluviométrie des saisons 1983, 84, 85 et 86 pour les situer dans le contexte climatique actuel de la région.

II. Pluviométrie de 1983 à 1986

Remarques : Pendant ces quatre années, les données pluviométriques ont été recueillies à partir de quatre stations implantées spécialement dans le B.V et de 4 stations de la Météorologie Mondiale, situées à proximité du B.V. Cependant, certains relevés comportent des lacunes. La pluviométrie des quatre années sera étudiée séparément.

1. La saison des pluies 1983

1.1. Pluviométrie

La saison des pluies 1983 s'inscrit dans la série d'années à pluviométrie déficitaire que connaît l'ensemble du Sahel. Le bassin de Baïla ne fait pas exception à la règle comme en témoigne le tableau 4 qui regroupe les hauteurs de pluies mensuelles des stations à l'intérieur ou à proximité du bassin. Dans ce tableau figurent également le total annuel de chaque station, le nombre de jours de pluie et le maximum journalier. Pour les stations ayant des lacunes, le maximum indiqué correspond à celui relevé pendant les mois suivis.

BASSIN VERSANT DU MARIGOT DE BAÏLA

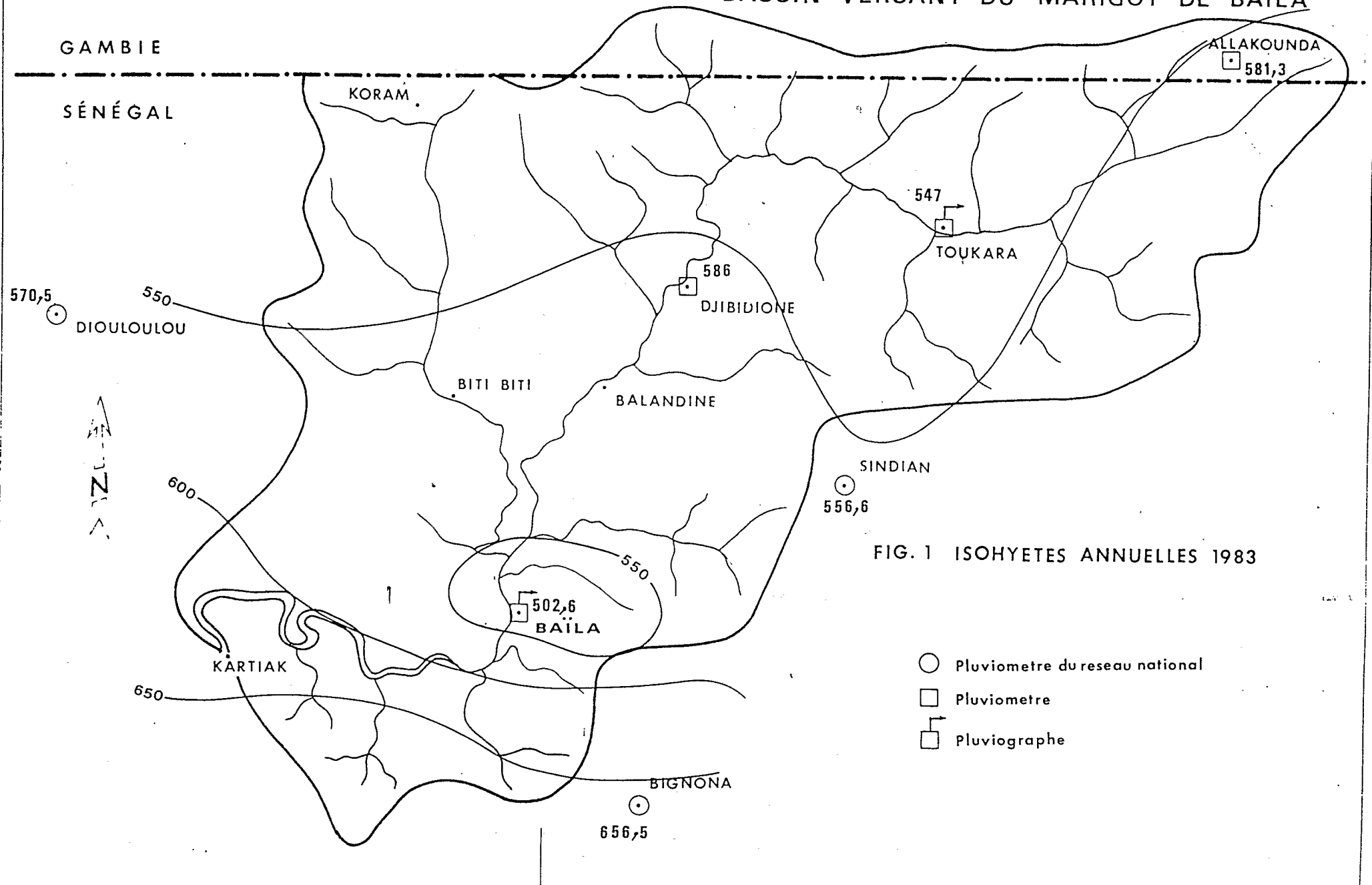


FIG. 1 ISOHYETES ANNUELLES 1983

- Pluviometre du reseau national
- Pluviometre
- Pluviographe

Tableau 4. Précipitations reçues sur le B.V du Baïla en 1983

Stations du B.V 1983	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Total	Nbre j de pluie	Max. journ.(mm) Date
Alakunda	-	(44.5)	(194.4)	(91.8)	(181.3)	(73.2)	-	(581.3)	(32)	
Toukara	-	(46.5)	(192.8)	43.6	202.5	61.5	-	(546.9)	(30)	53.8 (29.9.83)
Djibidione	-	50.0	175.5	122.5	226.4	12.0	-	586.4	37	53.5 (19.9.83)
Baïla	19.2	66.6	138.5	139.5	132.3	6.5	-	502.6	39	47.5 (22.9.83)
Diouloulou*	0.8	106.1	138.7	(150.0)	154.3	20.6	-	(683.5)	-	(60.5) (27.6.83)
Bignona*	3.9	61.4	172.6	104.0	226.5	43.9	-	656.5	60	90.5 (28.9.83)
Sindian*	-	(41.3)	(140.9)	(205.1)	(130.0)	(39.3)	-	(556.6)	-	
Tendouck*	-	104.5	199.8	(200.2)	176.6	5.2	-	681.5	-	
Kartiak	5.5	38.4	179.0	223.5	166.0	19.5	-	631.9	42	50 (9.7.83)

Ce tableau met en évidence :

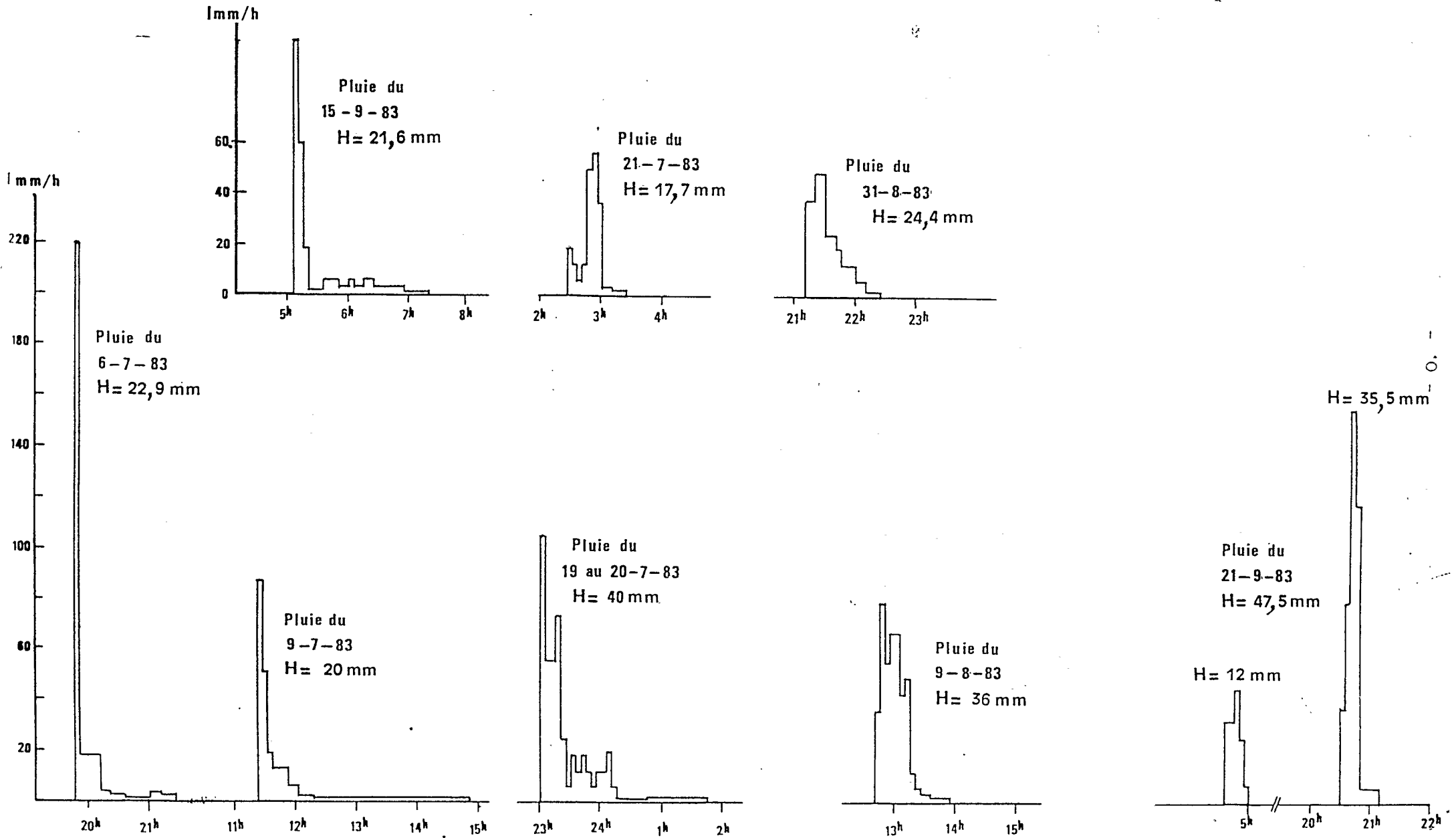
- la faiblesse des totaux annuels. Aucune station n'a enregistré 700 mm. Seules les stations environnant le bassin ont reçu plus de 600mm alors qu'à l'intérieur du bassin le maximum annuel est de 586.mm à Djibidione;
- le peu de jours de pluies: 37 à Djibidione; 39 à Baïla. Par contre à Bignona on a enregistré 60 jours de pluies. La différence que l'on note entre Bignona et Baïla distante de 15 km résulte du caractère très localisé des précipitations. Le maximum journalier est enregistré à Toukara: 53.8mm le 29 Septembre. Le second maximum 55.5mm à Djibidione le 19.8. Si on considère les stations de Baïla et Djibidione, ayant des relevés complets on a la répartition suivante :

	P > 50mm	40 < P < 50	30 < P < 40	20 < P < 30
Baïla	0	2	2	5
Djibidione	1	1	0	9

Un examen des relevés journaliers révèle une grande dispersion des pluies au cours de la saison, ce qui aura une incidence certaine sur le ruissellement compte tenu de la perméabilité des sols, de la forte évaporation qui atteint son maximum en hivernage. La figure I présente les isohyètes annuelles de 1983.

Pour ce qui est des intensités, le dépouillement des pluviogrammes révèle qu'il s'agit en général d'averses simples avec une seule pointe et une forte intensité. Ainsi l'averse du 6 Juillet a duré 30 minutes avec une intensité maximale de 200mm/h. La figure 2 présente les hyétogrammes des principales averses survenues à Baïla.

Fig.2 HYETOGRAMMES DE QUELQUES AVERSES OBSERVEES EN 1983



Pour situer la pluviométrie de 1983, on a comparé le total annuel des stations longue-durée à leur moyenne interannuelle. On obtient :

	Pluie interannuelle	P83	Déficit(%)
Diouloulou	1259	683	45,7
Bignona	1195	656	45,1
Ziguinchor	1459	819	43,8

Cette comparaison sommaire révèle que 1983 est l'année la plus déficitaire de la série sèche que connaît la région puisqu'aucun déficit de cette importance n'a jamais été enregistré auparavant.

1.2. Lames précipitées

A partir de la méthode Theissen, une étude spatiale de la pluviométrie pondérée par la surface, a permis de calculer les lames précipitées sur chaque sous-bassin. Le Tableau 5 ci-dessous donne la pluie pondérée de 1983 (P83), la lame précipitée moyenne attendue dans chaque sous-bassin (\bar{P}_{mm}) et le rapport $P83/\bar{P}$.

Stations	Pluie moyenne (\bar{P})	Pluie pondérée 83 (P83)	$P83/\bar{P}$
Toukara	1175	563.2	0.48
Djibidione	1190	564.8	0.47
Balandine	1205	568.6	0.47
Baïla	1230	565	0.46
Kartiak	1245	560	0.45

Là encore on constate qu'aucune station n'a reçu 50% de sa précipitation moyenne. A Kartiack le déficit est de 55% et au niveau des autres stations de contrôle il varie entre 52% et 54%.

Toutes ces précipitations se situent en récurrences sèches avec des temps de retour différents suivant les sous-bassins on a :

Toukara	1/18	Baïla	1/25
Djibidione	1/18	Kartiak	1/28
Balandine	1/22		

Ces temps de retour sont les plus forts jamais enregistrés sur le bassin du Baïla et ils témoignent de l'importance du déficit pluviométrique de 1983.

2. Hivernage 1984

La saison des pluies 1984 a été suivie avec le même dispositif de 1983 : 4 pluviomètres à l'intérieur du bassin et 4 autres aux alentours du B.V. Cependant à Alakunda les relevés étaient de très mauvaise qualité. Il a fallu estimer les pluies mensuelles à cette station.

A Baïla des observations fiables n'ont pu être obtenues qu'en Septembre et Octobre à cause du mauvais fonctionnement du pluviographe et de l'incompétence de l'observateur en Juin, Juillet, Août. Pour cette période les totaux mensuels ont été estimés à partir des données de la station de Bignona distante d'une quinzaine de kilomètres.

2.1. Pluviométrie annuelle

Le Tableau 6 regroupe les totaux mensuels de toutes stations suivies, le total annuel, le nombre de jours de pluies dans l'année et le maximum observé à chaque station et sa date.

Au sein du B.V le maximum annuel probable est relevé à Baïla avec 882.6mm suivi de Djibidione 848.2mm. On remarquera d'ailleurs que les pluies diminuent du Sud au Nord, avec le minimum annuel à Alakunda (755.5mm), la station la plus au Nord.

La pluviométrie de 1984 s'inscrit encore dans la phase sèche puisque toutes les stations sont déficitaires, comme nous allons le voir plus loin. La figure 3 qui fait la synthèse de ces données annuelles indique la disposition des isohyètes annuelles établies à partir des huit postes pluviométriques. On notera la progression de la pluviométrie du Sud au Nord, ce qui est en plein accord avec les mécanismes pluviogéniques de la région. Le maximum mensuel se situe en Juillet.

Tableau 6 : Pluviométries mensuelles de 1984.

Stations du B.V 1984	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov	Total	Nbre j.	Maximum
Alakunda	-	(170.5)	(264.0)	(181.9)	(106.4)	(32.7)	-	(755.5)	-	65.0 (10.7.84)
Toukara	-	(80.9)	268.6	189.1	112.5	32.9	5.8	789.8	40	63.5 (10.7.84)
Djibidione	-	158.5	278.7	237.5	134.0	35.3	4.2	848.2	42	84.8 (8.7.84)
Baïla	-	(190.0)	(320.0)	(210.0)	142.7	16.1	3.8	882.6	-	56.7 (8.9.84)
Diouloulou*	-	126.1	141.6	200.9	170.2	5.7	3.3	647.8	65	40.3 (2.8.84)
Bignona*	-	196.8	348.0	213.0	157.4	-	-	915.2	59	78.0 (8.7.84)
Sindian*	-	182.3	311.7	176.1	102.1	11.4	-	783.6	52	61.0 (26.8.84)
Tendouck*	-	170.9	260.9	152.3	215.0	-	-	(799.1)	55	65.0 (8.9.84)

BASSIN VERSANT DU MARIGOT DE BAÏLA

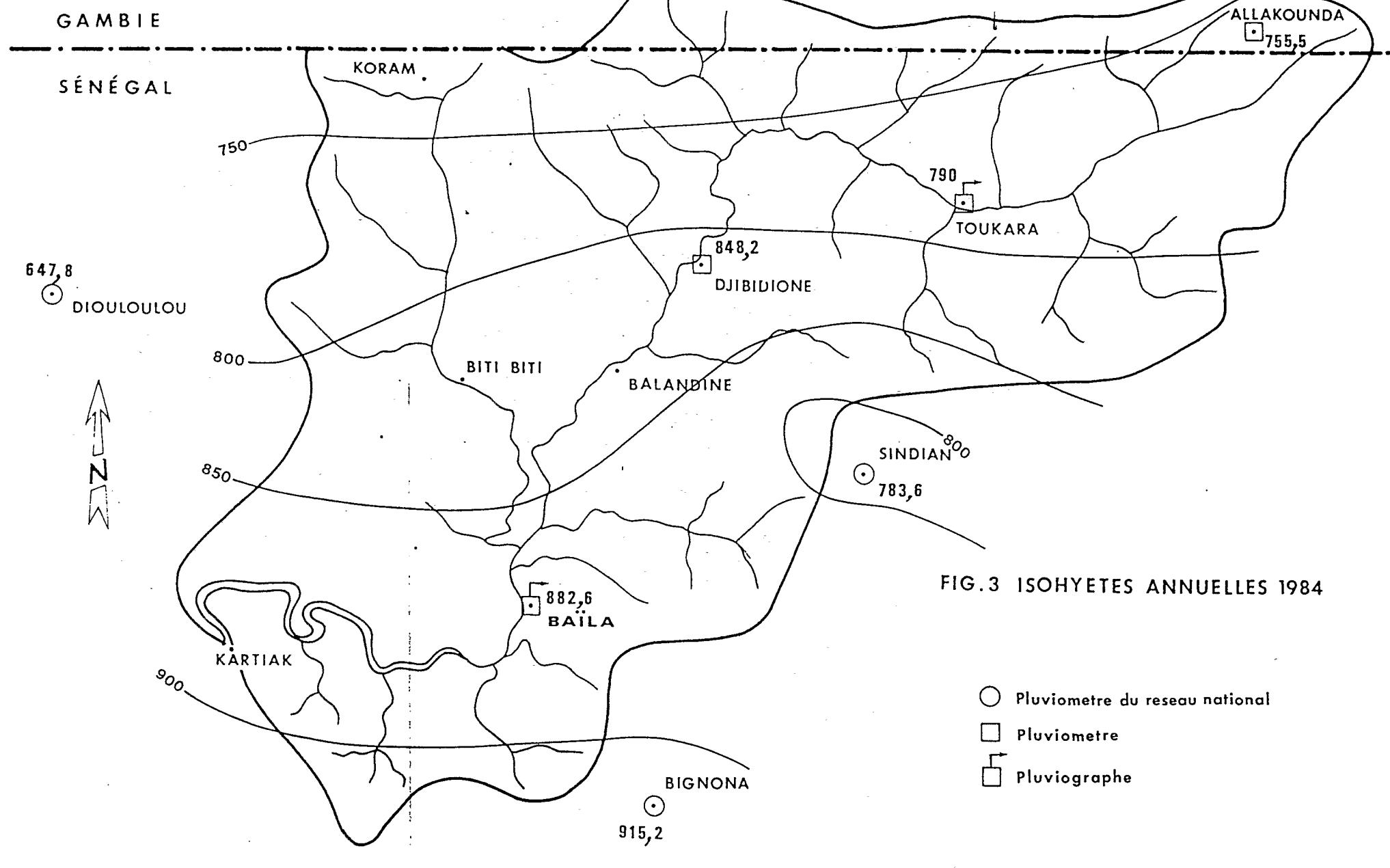


FIG. 3 ISOHYETES ANNUELLES 1984

- Pluviometre du reseau national
- Pluviometre
- ▣ Pluviographe

2.2. Pluviométrie mensuelle

La répartition mensuelle des pluies est la suivante (%).

	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.
Alakunda	22.5	35.0	24.0	14.0	4.50	
Toukara	22.9	34.0	23.9	14.2	4.3	0.7
Djibidione	18.7	32.8	28.0	15.8	4.2	0.5
Baïla	21.5	36.2	23.8	16.2	1.8	0.5

Ce tableau montre qu'il y a un décalage de la saison des pluies. Le maximum mensuel qui se produit en général en Août est observé en Juillet. De plus le mois de Juin a été plus arrosé que le mois de Septembre près de 18 à 20% de la pluie annuelle.

2.3. Pluies journalières

Le maximum de pluie reçue en 24h a été relevé à Djibidione le 8 Juillet 84: 84.8mm. A Toukara le maximum est observé le 10 Juillet. Tout laisse penser qu'il s'agit du même épisode pluvieux, Djibidione recevant la veille 52.6mm et Toukara 46.0mm. A Baïla on a enregistré 56.7mm le 8 Septembre.

Malgré l'augmentation des pluies par rapport à l'année précédente, 1984 reste une année déficitaire comme en témoigne la comparaison des totaux annuels de stations longue-durée avec leur moyenne interannuelle:

	\bar{P}	P.84	$P.84/\bar{P}$
Ziguinchor	1459	1237	0.85
Diouloulou	1254	648	0.52
Bignona	1136	915	0.80

A Ziguinchor et Bignona, le déficit est respectivement de 15% et 20% alors qu'il passe à 48% à Diouloulou.

2.4. Lames précipitées en 1984

Elles ont été déterminées par la méthode de THIESSEN qui consiste à pondérer les pluies ponctuelles par la surface. Les résultats obtenus sont consignés dans le Tableau 7 ci-après dans lequel figurent la pluie moyenne pondérée pour chaque sous-bassin (\bar{P} mm), la pluie pondérée de 1984 (P84) et le rapport $P84/\bar{P}$.

Tableau 7.

Stations	\bar{P}_{mm}	P84 (mm)	$P84/\bar{P}$
Toukara	1175	773	0.66
Djibidione	1190	795	0.67
Balandine	1205	805	0.67
Baïla	1230	814	0.66
Kartiak	1245	822	0.66

Il ressort de ce tableau que 1984 s'inscrit toujours dans la série déficitaire avec un déficit moyen 34%. En 1983 il était enregistré une diminution moyenne de 54%. Il en résulte une amélioration de l'ordre de 20% par rapport à 1983.

Ces précipitations moyennes correspondent aux récurrences sèches suivantes :

Toukara	1/7	Baïla	1/7
Djibidione	1/7	Kartiak	1/7
Balandine	1/7		

3. PLUVIOMETRIE 1985

Les relevés pluviométriques sont sans lacune. Dès le mois de Mai le dispositif de mesure était mis en place. Le suivi des stations d'Alakunda et de Baïla a été confié à de nouveaux observateurs.

3.1. Pluie annuelle

Elle varie entre 858.7mm à Toukara et 983.0 mm à Alakunda. A Djibidione au centre du bassin on a 915 mm, alors qu'à Baïla on enregistrerait 876.5 mm. Sur la figure 4 qui présente la disposition des isohyètes annuelles de 1985 on remarque l'existence de deux pôles de forte pluviosité: Alakunda au Nord-Est du B.V et Djibidione au centre du B.V. Par contre à Baïla on note un affaissement des isohyètes. On pourrait penser à un défaut d'observation d'autant plus qu'à Bignona à 15Km au Sud-Est de Baïla on a relevé 1125 mm; à Sindian au Nord-Est, 913 mm et à Diouloulou au Nord-Ouest 1108 mm. Mais cette situation n'est pas nouvelle car elle apparaît sur les isohyètes de 1980, 1982 (J.C. OLIVRY, H. DACOSTA, 1984) et de 1983.

BASSIN VERSANT DU MARIGOT DE BAÏLA

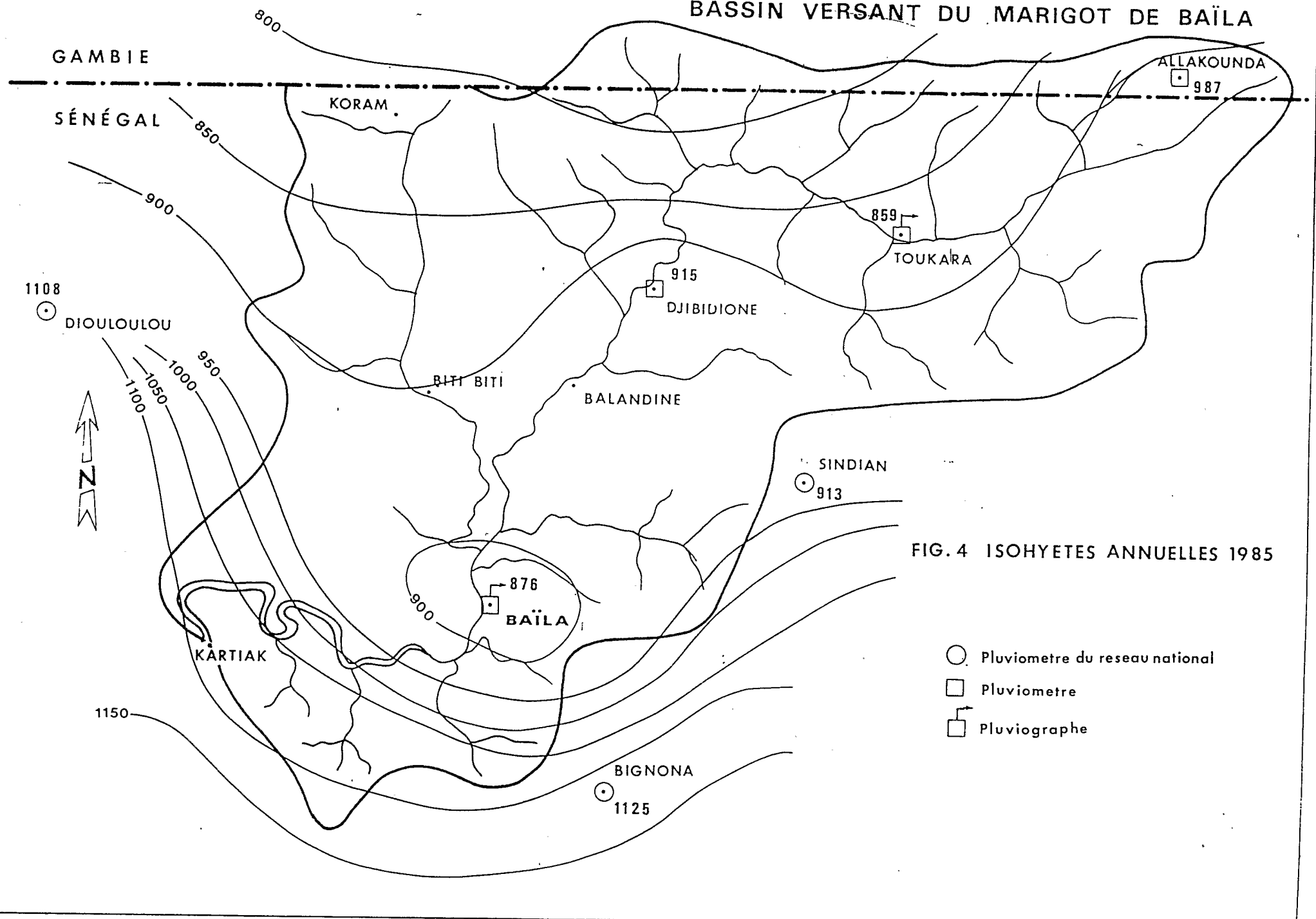


FIG. 4 ISOHYETES ANNUELLES 1985

- Pluviometre du reseau national
- Pluviometre
- Pluviographe

3.2. Pluviométrie mensuelle

Le Tableau 8 ci-dessous donne la répartition mensuelle des pluies en valeur brute, avec le total annuel, le nombre de jours de pluies, la date et la valeur du maximum journalier. On remarquera que le maximum mensuel se situe en Août pour les stations du centre du B.V, Djibidione et Toukara, avec respectivement 33,3% et 38,9% du total annuel. Alakunda et Baïla enregistrent leur maximum en Septembre avec 59.7% pour la première et 32% pour la seconde.

Tableau 8.

1985	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Année	Nbre j.	Max. journal.
Alakunda	-	28.5	136.1	192.8	586.7	38.9	-	983.0	50	95.0(11.9.85)
Toukara	-	68.5	128.0	333.8	269.7	58.7	-	858.7	46	80.7(20.9.85)
Djibidione	-	85.0	223.9	305.2	245.9	55.0	-	915.0	46	136.3(18.8.85)
Baïla	-	123.3	173.0	266.1	280.8	33.3	-	876.5	37	95.9(22.6.85)
Diouloulou	-	43.6	191.8	447.4	383.3	39.8	2.0	1107.9	68	82.7(20.9.85)
Bignona	-	112.6	285.2	285.5	356.5	74.2	11.1 Déc	1125.4	51	83.5(22.7.85)
Sindian	-	137.5	149.5	248.1	298.6	67.9	11.0 Déc	912.6	59	93.0(19.9.85)
Tendouck	-	91.8	327.0	347.3	312.5	65.6	11.2	1155.4	70	116.6(25.7.85)

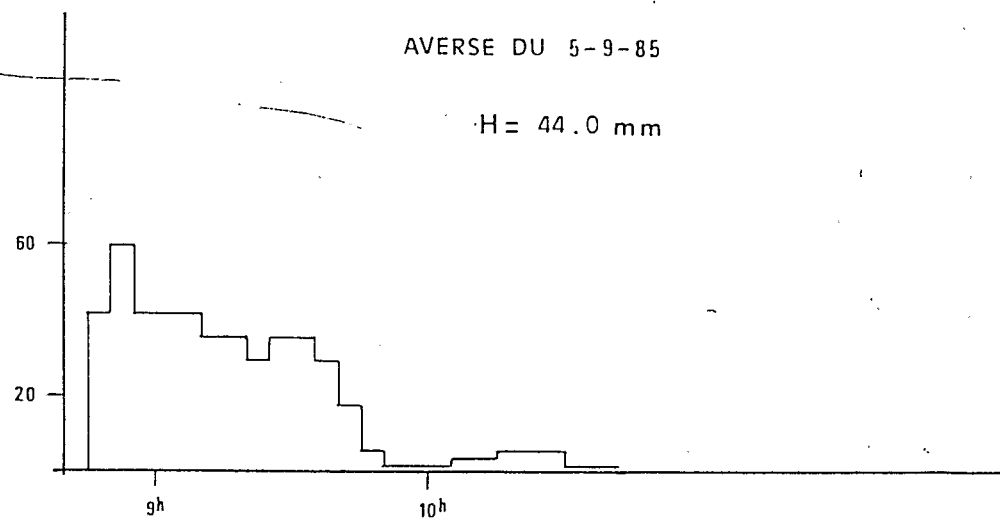
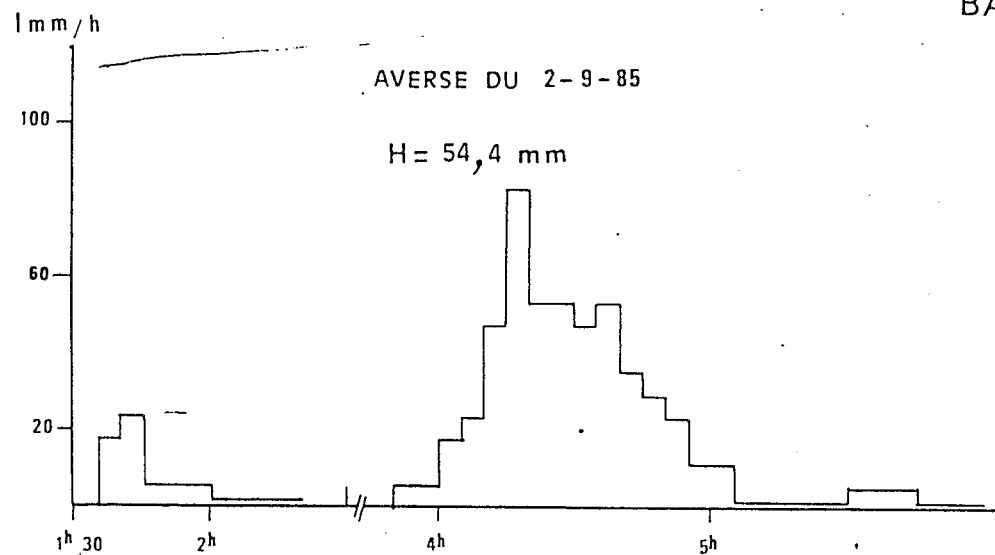
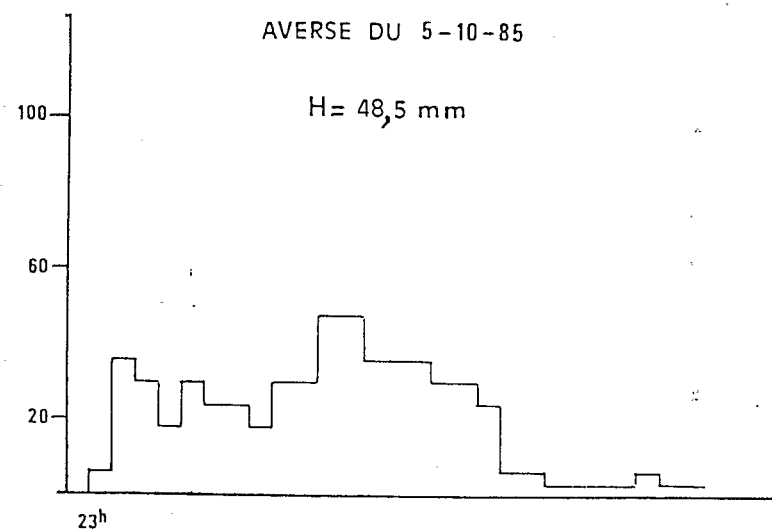
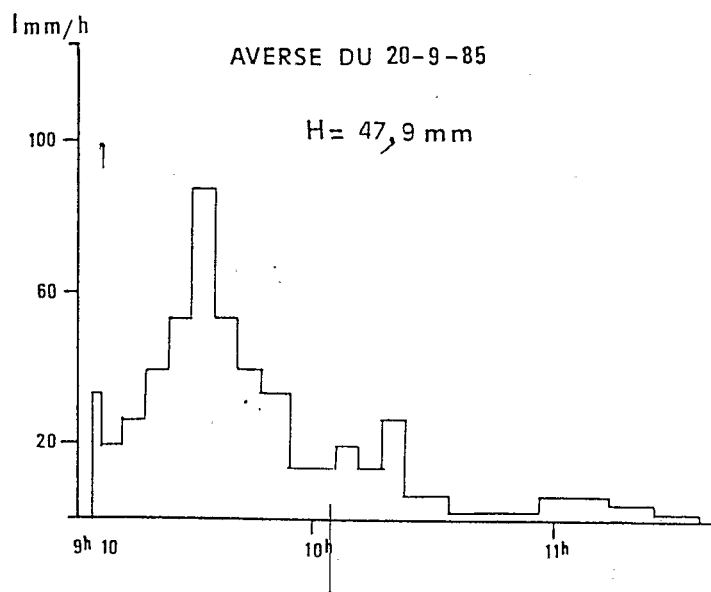
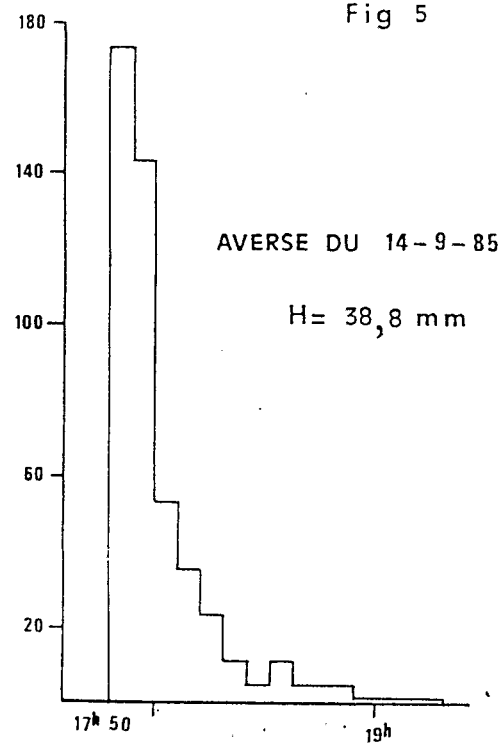
La répartition mensuelle des précipitations en valeur relative (%) s'établit comme suit :

Stations	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.
Alakunda	-	2.9	13.8	19.65	59.7	3.95
Toukara	-	8.0	14.9	38.8	31.4	6.9
Djibidione	-	9.3	24.5	33.3	26.8	6.5
Baïla	-	14.1	19.7	30.3	32.0	3.9

3.3. Pluviométrie journalière.

Comme l'indique le tableau 8 le nombre de jours de pluie varie entre 37 à Baïla et 50 à Alakunda. Le premier maximum journalier est relevé à Djibidione: 136.3mm le 19.8. Cette averse correspond à l'averse décennale (135mm) de cette station. Il s'agit d'une averse qui a intéressé l'ensemble du bassin puisqu'à la même date on enregistrait 52,3mm à Baïla; à Toukara elle est enregistrée le 19.8 : 76.6mm et le 20 80mm; à Alakunda 73.1mm le 19 Août toujours. Il doit s'agir d'un même épisode pluvieux avec migration du centre de gravité de l'averse de l'Ouest vers l'Est. Nous reviendrons sur cette averse dans l'analyse des crues.

Fig 5 HYETOGRAMMES DE QUELQUES AVERSES OBSERVEES EN 1985



Le second maximum journalier (95.0mm) est enregistré à Baïla le 22 Juin et à Alakunda le 11 Septembre. Le maximum de Toukara, 80.7mm survient le 20 Septembre, le dépouillement des pluviogrammes révèle que la plupart des averses sont de forme simple avec une seule pointe et une traîne parfois très longue. Les intensités relevées à Baïla et Toukara sont en général moyennes à l'exception de l'averse du 14 Septembre à Toukara qui a atteint une intensité maximale de 174mm/h. La Figure 5 présente les hyétogrammes de quelques averses observées à Baïla et Toukara.

Nous avons comparé les précipitations de 1985 des stations longue-durée à leur moyenne interannuelle. Les résultats sont les suivants :

	\bar{P}_{mm}	P85	$P85/\bar{P}$
Ziguinchor	1459	1381	0.95
Bignona	1195	1125	0.94
Diouloulou	1254	1108	0.88

On constate que le déficit va croissant du Sud au Nord, mais surtout que l'année 1985 est proche de la normale, le déficit n'étant que 8% en moyenne sur les trois stations considérées.

3.4. LES LAMES D'EAU PRECIPITEES

Les lames précipitées sont obtenues par pondération des précipitations ponctuelles par la superficie des bassins versants. Dans le tableau 9 ci-dessous sont consignés la pluviométrie moyenne interannuelle (\bar{P}), la pluie moyenne pondérée de 1985 (P85) et le rapport $P85/\bar{P}$

Tableau 9. Pluie moyenne en 1985

Stations	\bar{P}_{mm}	P85	$P85/\bar{P}$
Toukara	1175	918	0.78
Djibidione	1190	903	0.76
Balandine	1205	906	0.75
Baïla	1230	912	0.74
Kartiak	1245	913	0.73

BASSIN VERSANT DU MARIGOT DE BAÏLA

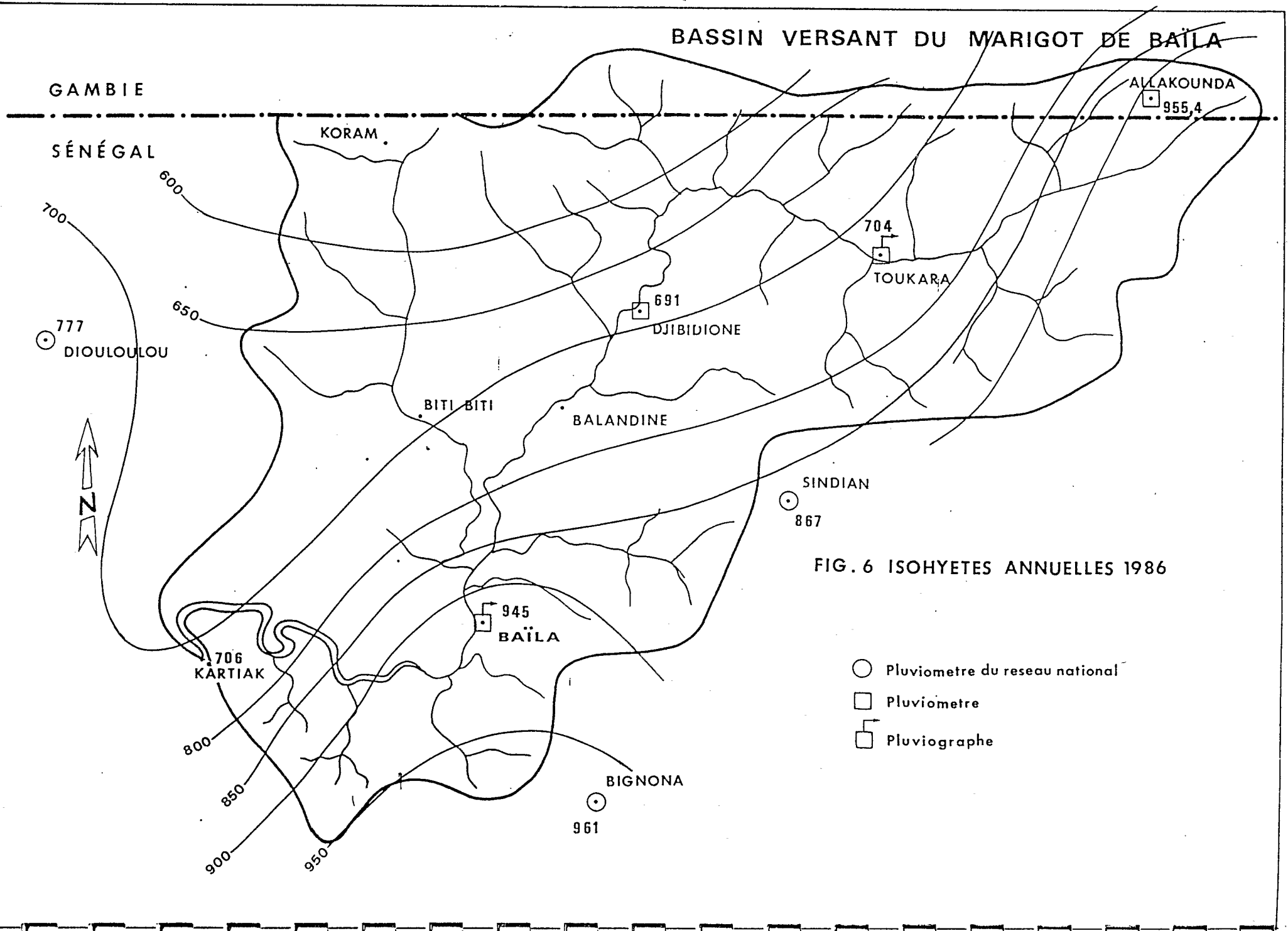


FIG. 6 ISOHYETES ANNUELLES 1986

- Pluviometre du reseau national
- Pluviometre
- ▣ Pluviographe

Ce Tableau révèle une nette amélioration de la pluviométrie en 1985 puisque le déficit moyen n'est que 25%. Ces précipitations moyennes se situent aux récurrences sèches suivantes :

Toukara : 1/4 ; Balandine : 1/5 ; Kartiak : 1/5
Djibidione: 1/4 ; Baïla : 1/5

4. SAISON DES PLUIES 1986

Le dispositif de mesure reste inchangé. Les relevés de toutes les stations sont de très bonne qualité; les observations ayant commencé dès le mois de Mai, elles ont été poursuivies jusqu'au mois de Novembre.

4.1. Pluviométrie annuelle

Elle est très variable dans l'espace. Au centre à Djibidione on a 691.1mm et 704 mm à Toukara, du Sud au Nord-Est on note un relèvement du total annuel avec 945.5mm à Baïla et 955.4mm à Alakunda.

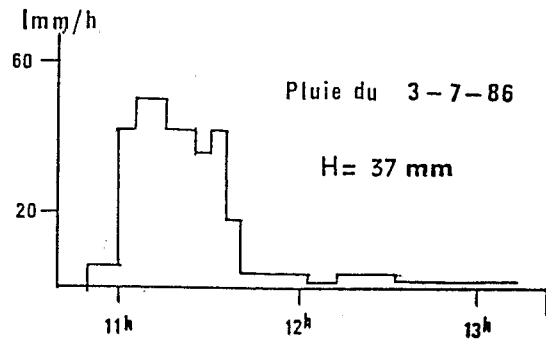
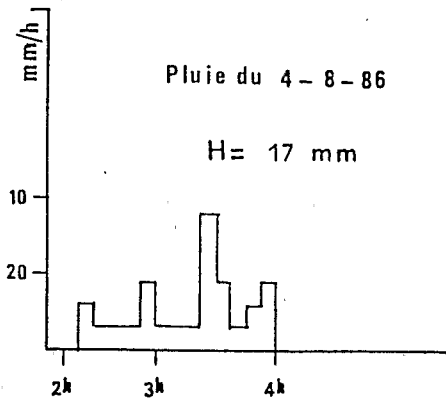
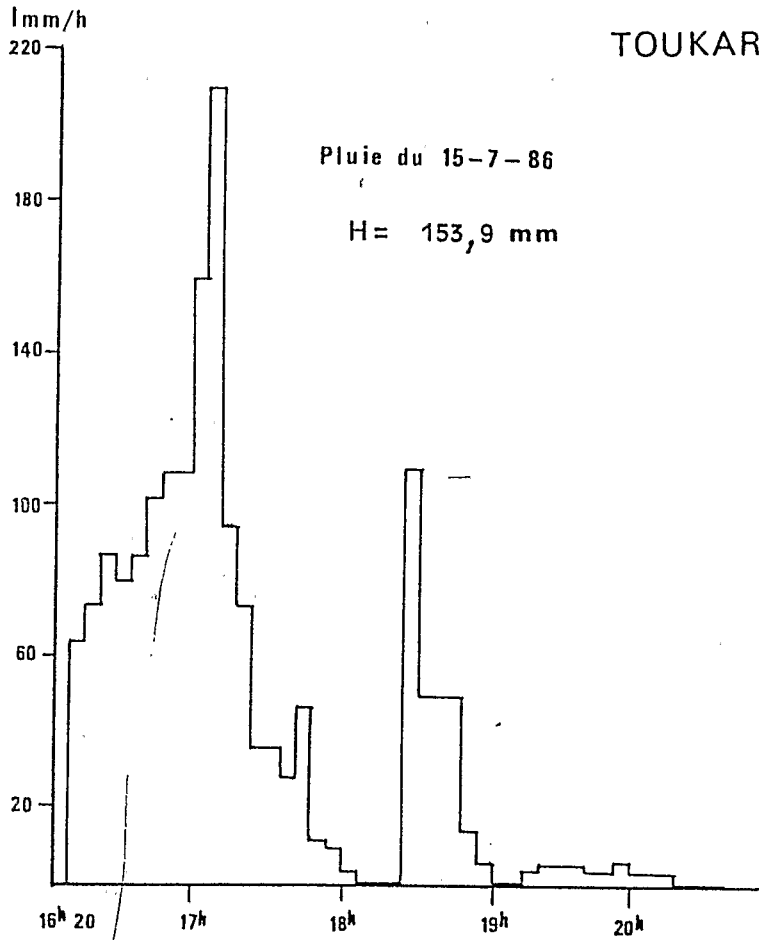
La disposition des isohyètes représentées dans la figure 6 traduit ces disparités spatiale dans la répartition des précipitations. Les isohyètes gardent une disposition zonale. Est-Ouest le pôle de Alakunda perturbe cette disposition. Aux stations environnantes du bassin on a enregistré : Bignona 961; Sindian 867mm; Diouloulou, 797mm; Tendouck, 991mm et Ziguinchor, 974mm. Comparée aux moyennes interannuelles de Ziguinchor, Bignona et Diouloulou, la pluviométrie de 1986 enregistre un déficit de l'ordre de 30% (Ziguinchor 33%; Bignona 20% et Diouloulou, 36%).

4.2. Pluviométrie mensuelle

Le Tableau 10 donne la distribution des précipitations mensuelles. D'une manière générale, le maximum mensuel est en Août à l'exception de Toukara et Baïla. A Alakunda le mois d'Août a reçu plus de 42% du total annuel alors que pour les autres stations Août et Septembre s'équilibrent: Toukara (29%, 30%), Djibidione (35%, 34,6%); Baïla (35%, 44%).

Fig.7 : HYETOGRAMMES DE QUELQUES AVERSES OBSERVEES EN 1986

TOUKARA



BAÏLA

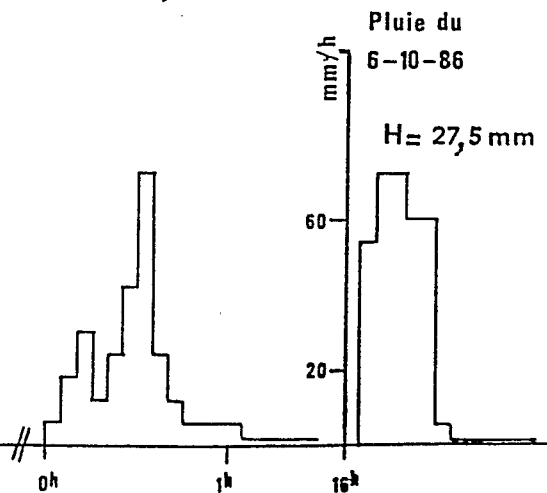
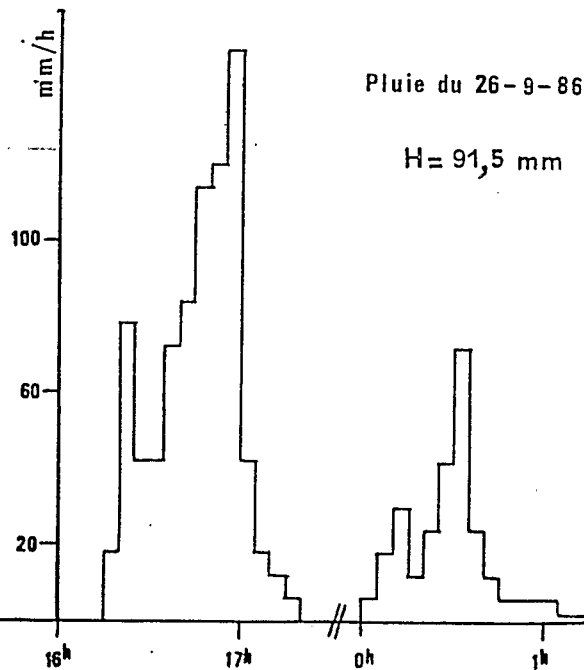
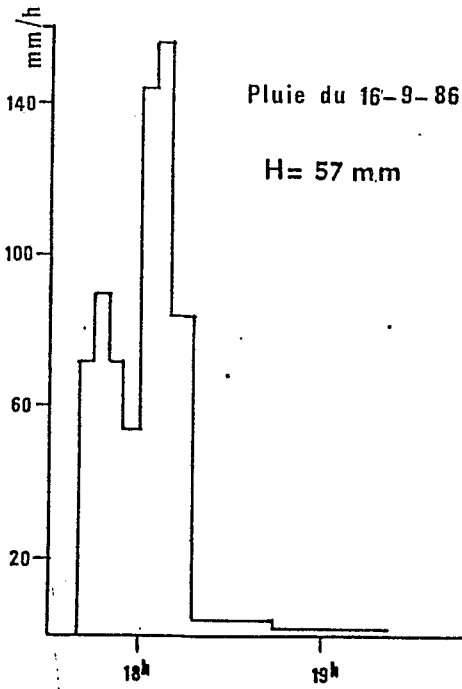


Tableau 10.

1986	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Année	Nbre j.	Date du Max. j.
Alakunda	3.0	17.0	144.5	331.8	352.8	101.3	5.0	955.4	56	79.0 (13.9.86)
Toukara	-	-	210.1	203.7	214.1	75.8	-	703.7	47	153.9 (15.7.86)
Djibidione	-	3.2	93.7	244.1	239.3	110.8	-	691.1	55	98.2 (11.9.86)
Baïla	-	13.3	110.2	331.0	420.7	70.3	-	945.5	47	91.5 (27.9.86)
Diouloulou*	-	6.0	88.8	297.1	290.0	115.0	-	797.0	(50)	58.7 (8.9.86)
Bignona*	0.3	36.6	167.9	380.7	316.4	62.1	-	961.0	71	66.0 (8.8.86)
Sindian*	-	9.7	151.7	307.0	292.2	106.3	-	866.9	70	67.0 (9.9.86)
Tendouck	-	26.7	203.8	382.3	285.0	93.1	-	990.9	-	93.4 (15.7.86)

4.3. LES PLUIES JOURNALIERES

Dans le Tableau précédent, sont inclus le nombre de jours de pluie ainsi la date du maximum journalier de la station. Le nombre minimum de jours de pluie dans le bassin est de 47.

Le premier maximum est de 154mm à Toukara le 15 Juillet. Cette averse est de récurrence humide 1/20, l'averse de fréquence décennale humide étant de 134mm. A Djibidione la pluie forte averse à donné 98.2mm, le 11 Septembre. Par contre à Baïla le maximum journalier de l'année est de 91.5mm.

D'autres averses d'importance non négligeable ont été enregistrées : 57.1mm le 11 Septembre à Toukara; 75.0mm le 27 Août, 62.0mm le 17 Août, 59.5mm le 10 Septembre à Alakunda; 56,7mm le 17 Septembre à Baïla.

. Les averses observées sont généralement de faible intensité (40-60mm/h). Quelques unes ont cependant été de très forte intensité (210mm/h le 15 Juillet à Toukara). A la station de Baïla la pluie du 16 Septembre (57mm) est tombée avec une intensité maximale de 156mm/h, celle du 16/9 (91.5mm) 150mm/h.

A l'exception des averses du 15 Juillet à Toukara et du 26 Septembre à Baïla, la plupart des averses observées se caractérisent par la simplicité de leur hyéto-gramme: une seule pointe survenant en début d'averse puis une traîne plus ou moins prolongée. La Figure 7 présente les hyéto-grammes de quelques averses caractéristiques observées à Toukara et Baïla.

Au vu des totaux annuels il apparaît que 1986 a été moins pluvieux que 1985. Cela se vérifie en comparant les hauteurs annuelles des stations longue-durée avec leur moyenne interannuelle. A Ziguinchor, les précipitations de 1986 ne représentent que 67% de la normale, alors qu'à Bignona on a que 80,4% et à Diouloulou 64%. Ce déficit de l'ordre de 30% traduit l'effet de persistance du déficit hydro-pluviométrique.

4.4. LAMES PRECIPITEES

Le Tableau 11 ci-dessous donne les lames précipitées, déterminées suivant la méthode THIESSEN. Leur comparaison avec les lames moyennes susceptibles d'être reçues par chaque sous bassin, en année moyenne, indique un déficit de 17% pour le sous B.V de Toukara, 30% pour Djibidione et 33% pour Baïla, Balandine, Kartiak. A une station près, ce déficit de 1986 est du même ordre de grandeur que celui de 1984.

Tableau 11. Pluie moyenne pondérée de 1986

Stations	\bar{P}_{mm}	P86	$P86/\bar{P}$
Toukara	1175	≈ 824	0.701
Djibidione	1190	764.0	0.642
Balandine	1205	754.5	0.626
Baïla	1230	783.6	0.637
Kartiak	1245	≈ 810	0.651

Le temps de récurrences de ces pluies moyennes sont les suivantes :

Toukara	:	1/6	Baïla	:	1/8
Djibidione	:	1/7	Kartiak	:	1/8
Balandine	:	1/8			

B. DEBITS ET ECOULEMENTS DE SURFACE

Si le dispositif de mesure des précipitations a subi un allègement à partir de 1980, le réseau hydrométrique quant à lui est resté inchangé: cinq stations dont quatre de marégraphie (Kartiak, Baïla, Balandine et Djibidione) et une station de limnigraphie (Toukara) qui sert aux mesures de ruissellement. C'est donc cette station qui retiendra notre attention pour l'étude des crues. La Station de Toukara est équipée d'un limnigraphe OTTX (réduction 1/10; rotation hebdomadaire). Pour les précipitations la station est dotée d'un pluviographe à augets basculeurs.

Depuis 1982, aucun jaugeage n'a été fait à la station de Toukara. Par conséquent, c'est la courbe de tarage de 1982 et le barème hauteur-débit correspondant qui servira à la traduction des hauteurs d'eau en débits.

Pour la crue du 15 Juillet 1986 dont la hauteur maximale à l'échelle était de 2.20m on a utilisé la formule de MAUMUG-STRICKLER pour estimer les débits correspondants à des côtes supérieures à 1.34 m (limite de la courbe de tarage).

LA STATION DE TOUKARA

Les premières observations à Toukara remontent à 1971, année durant laquelle 9 jaugeages ont été faits. En 1978 un limnigraphe a été installé, mais ce n'est qu'en 1979 qu'on a procédé à des observations systématiques. R. GALLAIRE a fait neuf jaugeages qui lui ont permis de construire une courbe de tarage de la station (R. GALLAIRE, 1980). En 1981 et 1982 de nouveaux jaugeages ont permis de préciser cette courbe de tarage (Fig. 8) et d'établir le barème d'étalonnage de Toukara (Tableau 12) jusqu'à une hauteur de 134cm à l'échelle. Il faut préciser comme l'indique d'ailleurs le tableau qu'il n'y a pas d'écoulement pour des hauteurs d'eau inférieures à 0,225m.

I. DEBITS ET ECOULEMENT DE SURFACE EN 1983

L'écoulement de surface en 1983 se réduit à une seule crue survenue en début de saison des pluies: du 14 au 17 Juillet. Le reste de la saison aucun écoulement n'a été enregistré à la station de Toukara, et cela malgré les précipitations non négligeables relevées à Alakunda et Toukara. La Figure 9 présente le limnigramme de Toukara et la fréquence des précipitations survenues aux deux stations du sous-bassin. On note la concentration des pluies entre le 20 Juillet et qui explique la crue du 14 au 17 Juillet. Par contre entre le 20 Juillet et le 20 Août la station

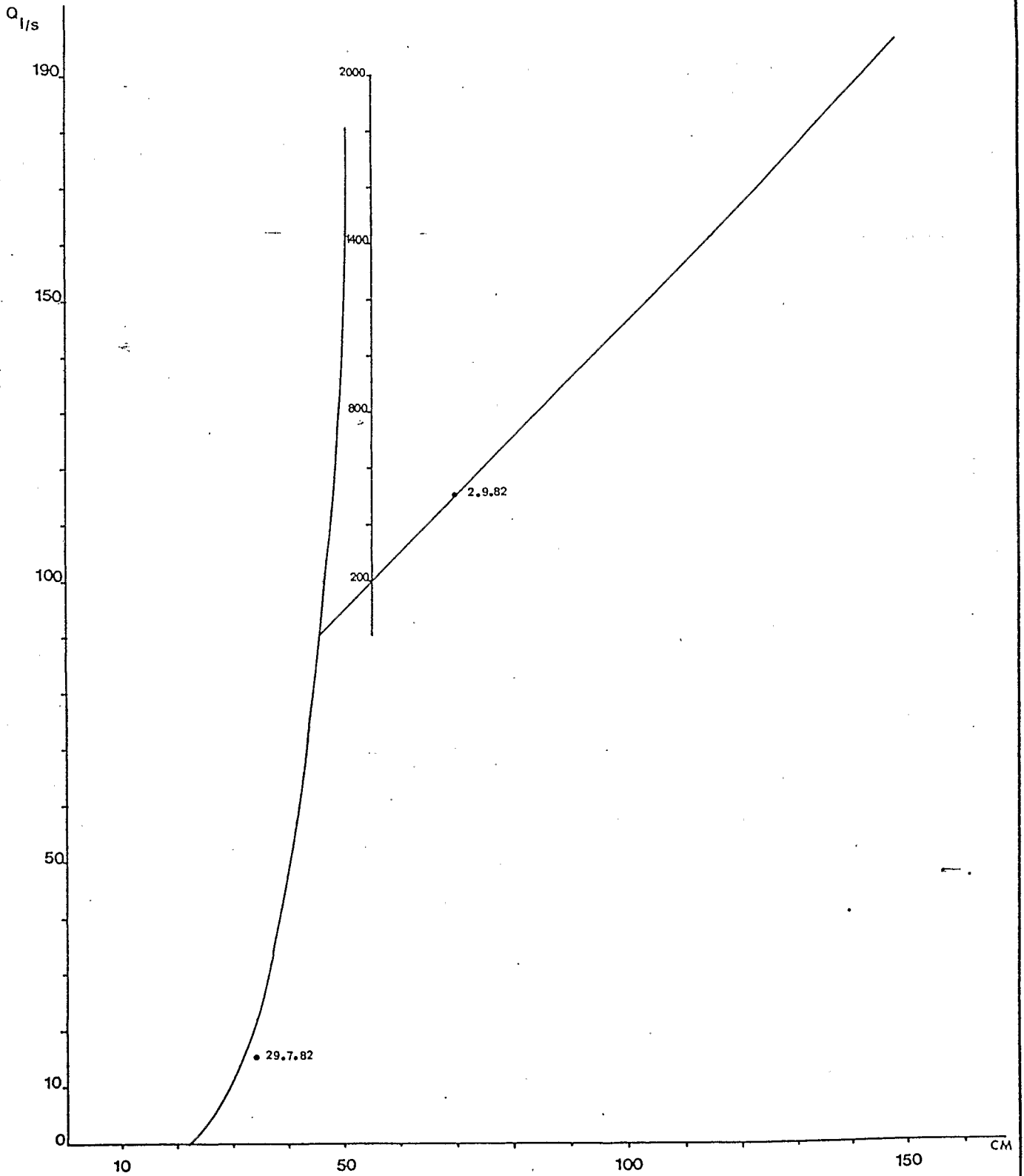


FIG. COURBE DE TARAGE DE TOUKARA EN 1982

Tableau 12 :

BAREME D'ETALONNAGE DE LA STATION
DE TOUKARA (relation Hauteurs-Débits)

H cm	Q l/s	H cm	Q l/s	H cm	Q l/s	H cm	Q l/s
22.5, seuil d'écoulement	-	50	170	79	710	107	1280
		51	177	80	730	108	1300
23	0.5	52	185	81	750	109	1320
24	1	53	190	82	770	110	1340
25	2	54	200	83	780	111	1360
26	4	55	220	84	805	112	1380
27	4.5	56	240	85	825	113	1400
28	6	57	260	86	850	114	1420
29	7	58	280	87	870	115	1445
30	9	59	300	88	890	116	1460
31	11	60	320	89	910	117	1480
32	14	61	340	90	935	118	1500
33	16	62	360	91	955	119	1520
34	20	63	380	92	980	120	1550
35	23	64	400	93	995	121	1560
36	26	65	420	94	1015	122	1580
37	29	66	435	95	1035	123	1600
38	33	67	460	96	1050	124	1630
39	38	68	480	97	1080	125	1640
40	44	69	500	98	1100	126	1665
41	48	70	525	99	1120	127	1680
42	55	71	540	100	1140	128	1700
43	70	72	560	101	1155	129	1730
44	88	73	580	102	1180	130	1750
45	95	74	600	103	1200	131	1770
46	110	75	620	104	1220	132	1790
47	115	76	641	105	1240	133	1810
48	140	77	662	106	1260	134	1835
49	160	78	685				

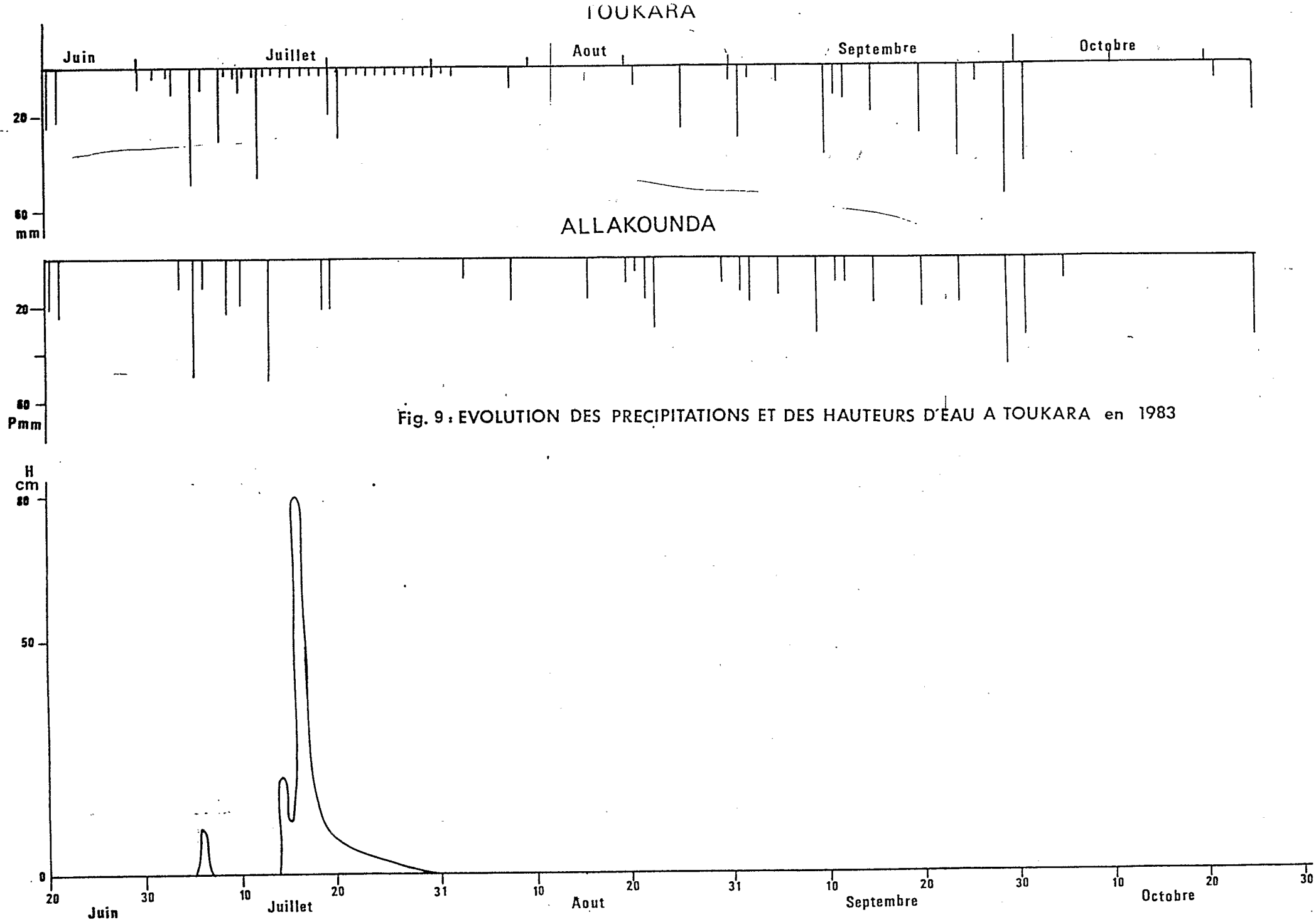


Fig. 9 : EVOLUTION DES PRECIPITATIONS ET DES HAUTEURS D'EAU A TOUKARA en 1983

de Toukara n'a reçu que 36mm de pluie et Alakunda 58mm, alors que les besoins de l'évapotranspiration potentielle sont estimés 200mm. Il en résulte que la reprise des pluies dans la 3^e décade du mois d'Août et durant le mois de Septembre, d'ailleurs des averses faibles et assez espacées n'a pas créer les conditions satisfaction de l'EPT reconstitution de la réserve utile, saturation des sols favorables à l'écoulement de surface. Le volume d'eau total écoulé à Toukara s'élève à 78 480m³ pour une pluie moyenne de 563mm, soit un coefficient d'écoulement de 0,043%. Il s'agit du coefficient d'écoulement le plus faible après celui de 1980 qui était de 0,021%.

Ce coefficient d'écoulement a été retenu pour la partie du bassin versant non influencée par la marée. Par contre pour les zones basses (Slikkes et Schovres) envahies en totalité ou en partie par la marée on a retenu un coefficient d'écoulement moyen de 80%.

C'est à partir de ces Ke qu'on a déterminé la Ke moyen pour chaque sous-bassin, zones hautes et basses confondues. Pour l'année 1983 on obtient le Tableau 13.

Tableau 13. Coefficient d'écoulement

Caract. zones écou. Stations	Surface B.V km ²	Surf. à Ke = 0.043	Surf. à Ke = 80%	Ke moyens %
Toukara	324	324	-	0.043
Djibidione	644	632	12	1.53
Balandine	852	816	36	3.42
Baïla	1342	1241	101	6.06
Kartiak	1634	1438	196	9.63

Ces Ke ont permis de calculer pour chaque sous-bassin les paramètres suivants :

- la lame d'eau écoulée (P'mm)
- le volume ruisselé (Vr, m³)
- le débit spécifique (l/s. km²)

Fig.10 HYDROGRAMMES DE LA CRUE DU 14 au 17-7-83

TOUKARA

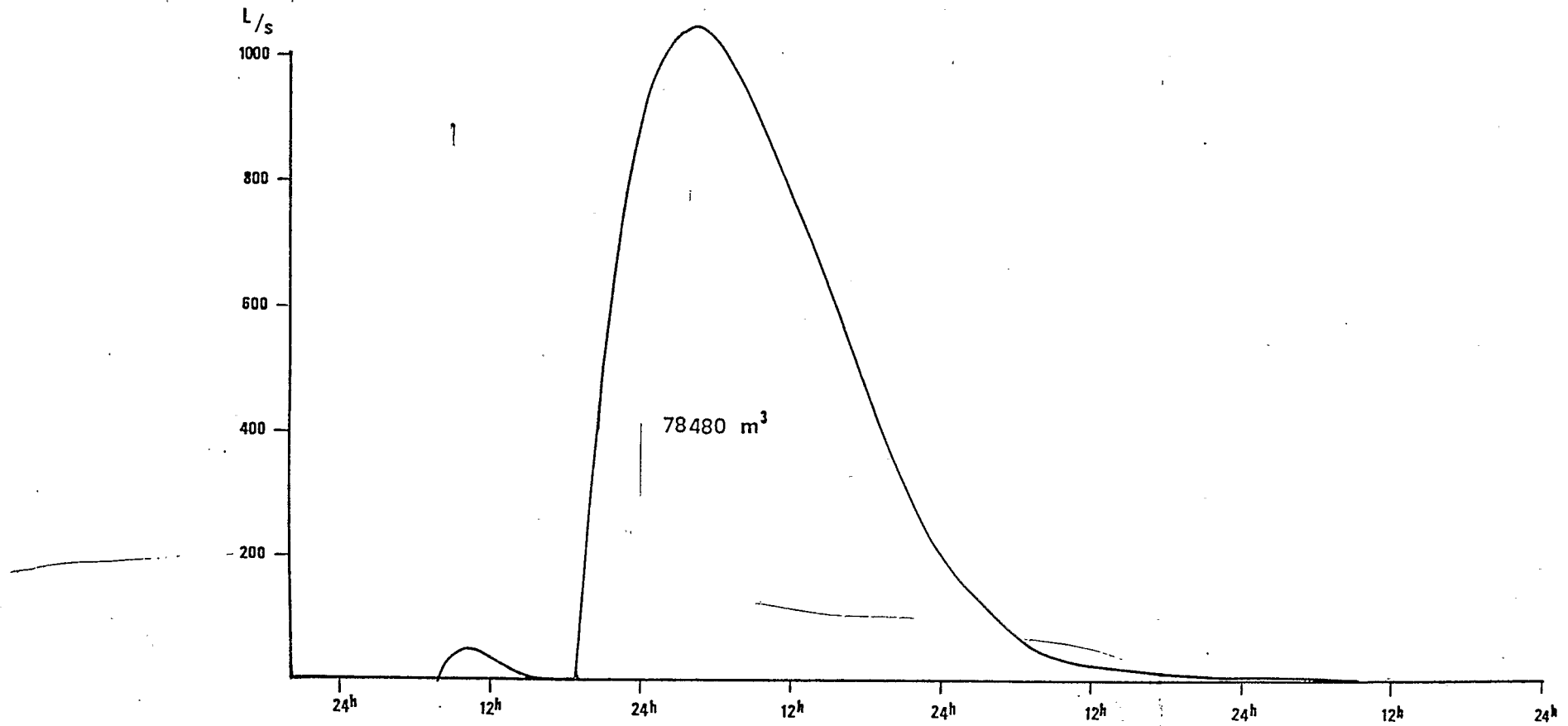


Tableau 14. Bilan écoulement de surface

Caractères Stations	S(Km ²)	P.Moyenne (mm)	Récurrance sèche 1983	Ke	P'(mm)	Vol.ruisselé (10 ⁶ m ³)	Qs (l/s.Km ²)
Toukara	324	563	1/18	0,043	0.242	0.7848	0.0076
Djibidione	644	565	1/18	1.53	8.64	5.564	0.27
Balandine	852	568	1/22	3.42	19.42	16.550	0.61
Baïla	1342	565	1/25	6.06	34.24	45.948	1.08
Kartiak	1634	560	1/28	9.63	53.93	88.118	1.71

Ce tableau fait ressortir la faible variation des coefficients d'écoulement dont l'importance dans les sous-bassins aval est due au poids du Ke des zones basses. La faiblesse des écoulements apparait également à travers le débit spécifique qui dépasse à peine l'unité.

LA CRUE DU 14 AU 17 JUILLET

Cette crue est générée par l'averse du 13 Juillet qui a intéressé le haut bassin puisqu'elle n'a été enregistrée qu'à Djibidione (41.9mm) à Toukara (45.0mm) et à Alakunda (50.0mm). Le mauvais fonctionnement du pluviographe de Toukara n'a pas permis la détermination ni la forme ni des intensités de cette averse.

A partir des deux relevés pluviométriques on a dégagé les caractéristiques de cette averse :

Pluie maximale : 50.0mm

Pluie moyenne : 47.4mm

K : 0.95

Il s'agit d'une averse homogène comme en témoigne le coefficient d'abattement (K). Les caractéristiques de cette crue sont :

$$Q \text{ max.} = 1.01 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q \text{ moyen} = 0.519 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Qs = 1.602 \text{ l/s.km}$$

$$\text{Temps de base} = 42^{\text{h}}$$

$$\text{Temps de montée} = 10\text{h}$$

$$Q \text{ max.}/Q \text{ moyen} = 1.95 \approx 2$$

$$Hr = 0.242 \text{ mm}$$

$$Kr = 0.511\%$$

$$\text{Volume écoulé} = 78,48.10^3 \text{ m}^3$$

On remarque l'importance du coefficient de ruissellement (Kr) et de la lame ruisselée (2.4mm) qui est dû certainement aux précipitations antérieures à cette averse et qui ont réalisé la saturation des sols.

La Figure 10 présente l'hydrogramme de cette crue.

Le Bilan hydrologique de 1983

L'étude des différents paramètres du cycle de l'eau permet de dresser un bilan hydrologique qui dans son ensemble s'avère défavorable à l'écoulement de surface. Un bilan sommaire établi d'après la formule ($D = P_{mm} - P'_{mm}$) donne pour chaque sous-bassin :

Stations	P _{mm}	P' _{mm}	Déficit
Toukara	563	0.242	562.7
Djibidione	565	8.64	556.4
Balandine	568	19.4	548.6
Baïla	565	34.2	530.8
Kartiak	560	53.9	506.1

Ce tableau montre l'importance du déficit d'écoulement pour tous les sous-bassins déficit qui varie entre 99.95% à Toukara à 90.4% à Kartiak.

Pour le bassin de Toukara un bilan plus complet établi à l'échelle du mois donne les résultats consignés dans le tableau 15 ci-dessous.

	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
\bar{P} (mm)	-	45.0	193.0	66.0	192.0	67.0	-	-	-	-	-	-	563
P'(mm)	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24
D.E	-	45.0	192.7	66	192.0	67.0	-	-	-	-	-	-	562.7
ETP	175	152	114	93	86	106	96	106	106	122	170	172	1496
EV	-	45.0	114	93	86	106	(70)	(50)	(30)	(20)	(10)	(4)	628.0
Réserves	-	-	+78.7	- 27	+106.0	- 39	(-70)	(-50)	(-30)	(- 20)	(-10)	(- 4)	- 65.3

Ce Tableau confirme ce qui a été dit plus haut mais montre, pour ce qui est du sous-bassin de Toukara, que l'apport de la saison est insuffisant pour satisfaire les bassins de l'évapotranspiration réelle. Ceci révèle le caractère particulier de l'année hydrologique 1983.

II. ÉCOULEMENT DE SURFACE EN 1984

Les observations ont commencé en 1984 dès la fin du mois de Mai par la mise en marche du limnigraphe, mais dès la fin du mois de Juin l'appareil était en panne sans doute à cause d'une mauvaise manipulation par l'observateur chargé de changer le diagramme chaque semaine. Le limnigraphe n'a été remis en marche qu'au début du mois d'Août.

Pendant les périodes observées, il n'y a pas eu d'écoulement à Toukara. Cependant durant le mois de Juillet les importantes précipitations qui se sont abattues sur le bassin ont certainement provoqué un écoulement, notamment l'épisode pluvieux survenu du 7 au 11 Juillet et qui a intéressé le Nord-Est du bassin versant. On a recueilli pour cette averse les hauteurs suivantes :

Djibidione :	161,4mm	Toukara :	127,6mm
Alakunda :	125,0mm	Sindian :	135,5mm

Pour le bassin de Toukara, on a pour cet épisode pluvieux une pluie moyenne de 126mm avec un coefficient d'abattement égal à 0.99. Il serait assez surprenant qu'il n'y ait pas eu d'écoulement à la suite de ces pluies. Mais ne disposant d'aucune information dessus il serait très hasardeux d'avancer quoi que se soit, même si une telle donnée est indispensable pour connaître le coefficient d'écoulement des zones hautes du bassins versant.

Dans ce qui suit, nous considérerons que l'écoulement est nul à Toukara même si en réalité il n'est qu'inconnu. Les caractéristiques de l'écoulement de surface notamment les coefficient d'écoulement sur les autres sous-bassins sont résumées dans le Tableau 16 ci-dessous.

Tableau 16 : Cefficients moyens d'écoulement

1984	S	Ke = 0	Ke = 80%	Ke Moyen.
Toukara	324	324	(0)	(0)
Djibidione	644	632	12	1.49
Balandine	852	816	36	3.38
Baïla	1342	1241	101	6.021
Kartiak	1634	1438	196	9.59

On remarque d'ailleurs que le coefficient d'écoulement des zones hautes influe très peu sur le coefficient d'écoulement moyen des sous-bassins soumis à l'influence de la marée si on les compare à ceux de 1983.

De ces coefficients on a déterminé, la lame d'eau écoulee (P'mm) le volume ruisselé (V_r, M^3) et les débits spécifiques.

Tableau 17.

B.V	S (Km ²)	P mm	Réurrences 84/sèche	Ke	P'(mm)	Vol. ruisselé 10 ⁶ m ³	Qs (l/s.km ²)
Toukara	324	773	1/7	(0)	(0)	-	-
Djibidione	644	795	1/7	1.49	11.85	7.629	0.375
Balandine	852	805	1/7	3.38	27.21	23.182	0.862
Baïla	1342	814	1/7	6.02	49.0	65.762	1.55
Kartiak	1634	822	1/7	9.59	78.83	128.808	2.5

Il va sans dire que les lames écoulees, les volumes ruisselés et les débits spécifiques contenus dans ce tableau sont sous-estimés. Il nous est impossible de dresser un quelconque bilan hydrologique pour l'année 1984.

III. ÉCOULEMENT DE SURFACE EN 1985

Contrairement à 1984, en 1985 les observations ont été faites sans interruption de la fin du mois de Mai jusqu'au début Novembre avec des données de bonne qualité. La Figure 11 présente le limnigramme de Toukara surmonté des précipitations recueillies à Alakunda et Toukara. De Juin à la mi-Août il n'y a pas d'écoulement. On remarque d'ailleurs sur cette Figure que jusqu'à la fin Juillet les pluies étaient très faibles dépassant très rarement 40mm, de surcroît très espacées et qui satisfont plutôt aux besoins de l'évaporation. On note également que les écoulements enregistrés résultent de pluies concentrées dans le temps en mi-Août et dans les 2 premières décades de Septembre.

Le Tableau 18 donne les hauteurs d'eau et leur traduction en débit. Le module annuel est 3,65 l/s, ce qui correspond à un écoulement global de 116 000m³. Intéressant un bassin versant de 324 km² avec une pluviométrie moyenne de 918mm ce volume écoulé donne lieu à un coefficient d'écoulement (Ke) de 0.039% très faible par rapport au volume précipité.

Tableau 18. Relevés limnigraphiques moyens journaliers en cm et débits moyens journaliers en l/s.

Mois	Août		Septembre		Octobre	
	H	Q	H	Q	H	Q
Jours						
1			14	0	13	0
2			14		13	
3			14		13	
4			14		12	
5			19		17	
6			20	0	23	0.5
7			17		19	0
8			15		14	
9			14		12	
10			14		12	
11			14		12	
12			14		12	
13			14		11	0
14			22	0	11	
15			21		11	
16	12	0	17		10	
17	12	0	14		10	
18	21		14		10	
19	21		14		9	
20	64	400	29	7	9	
21	63	380	41	48	8	
22	42	55	48	140	8	
23	30	9	51	177	7	
24	20	0	44	88	7	
25	15		36	26	6	
26	14		29	7	6	
27	14		26	4	5	
28	14		23	0.5	0	
29	14		21	0		
30	14		18	0		
31	14					
Moyenne		27.23		16.6		0.016

Module annuel 3.654 l/s ou 0.00365 m³/s

Pour H 22.5cm, Q = 0

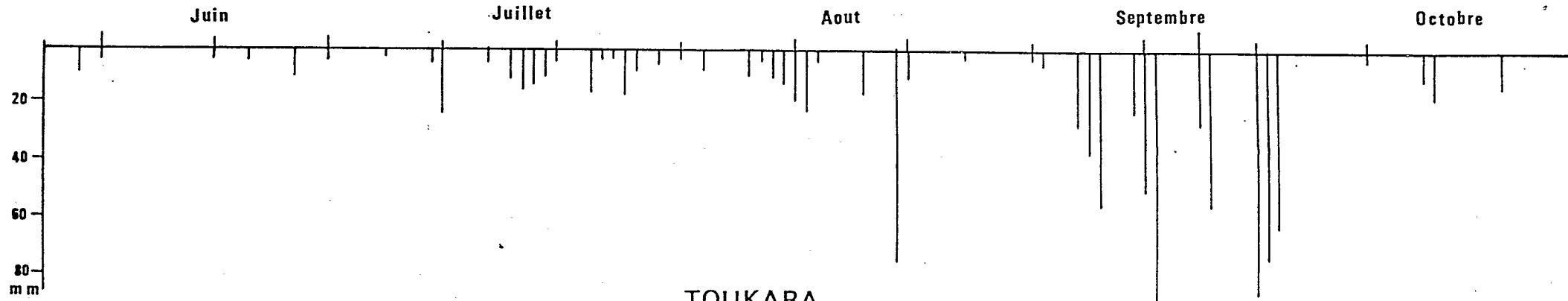
Ces coefficients d'écoulement moyen ont permis de calculer la lame d'eau écoulée (P'mm) pour chaque sous-bassin ainsi que le volume écoulé (Vr) et les débits spécifiques qui sont consignés dans le Tableau suivant.

Compte tenu de la configuration du bassin, de l'existence de zones hautes (plateaux et terrasses) et de zones basses en permanence inondés, ce coefficient d'écoulement de Toukara servira à déterminer l'écoulement des zones hautes tandis qu'on affectera aux zones basses un coefficient moyen de 80% comme précédemment. Nous regroupons dans le Tableau ci-dessous les coefficients d'écoulement des différents sous-bassins.

1985	Surface	Ke = 0.039%	Ke = 80%	Ke Moyen
Toukara	324	324	0	0.039
Djibidione	644	632	12	1.53
Balandine	852	816	36	3.42
Baïla	1342	1241	101	6.06
Kartiak	1634	1438	196	9.63

Fig.11 EVOLUTION DES PRECIPITATIONS ET DES HAUTEURS D'EAU A TOUKARA en 1985

ALLAKOUNDA



TOUKARA

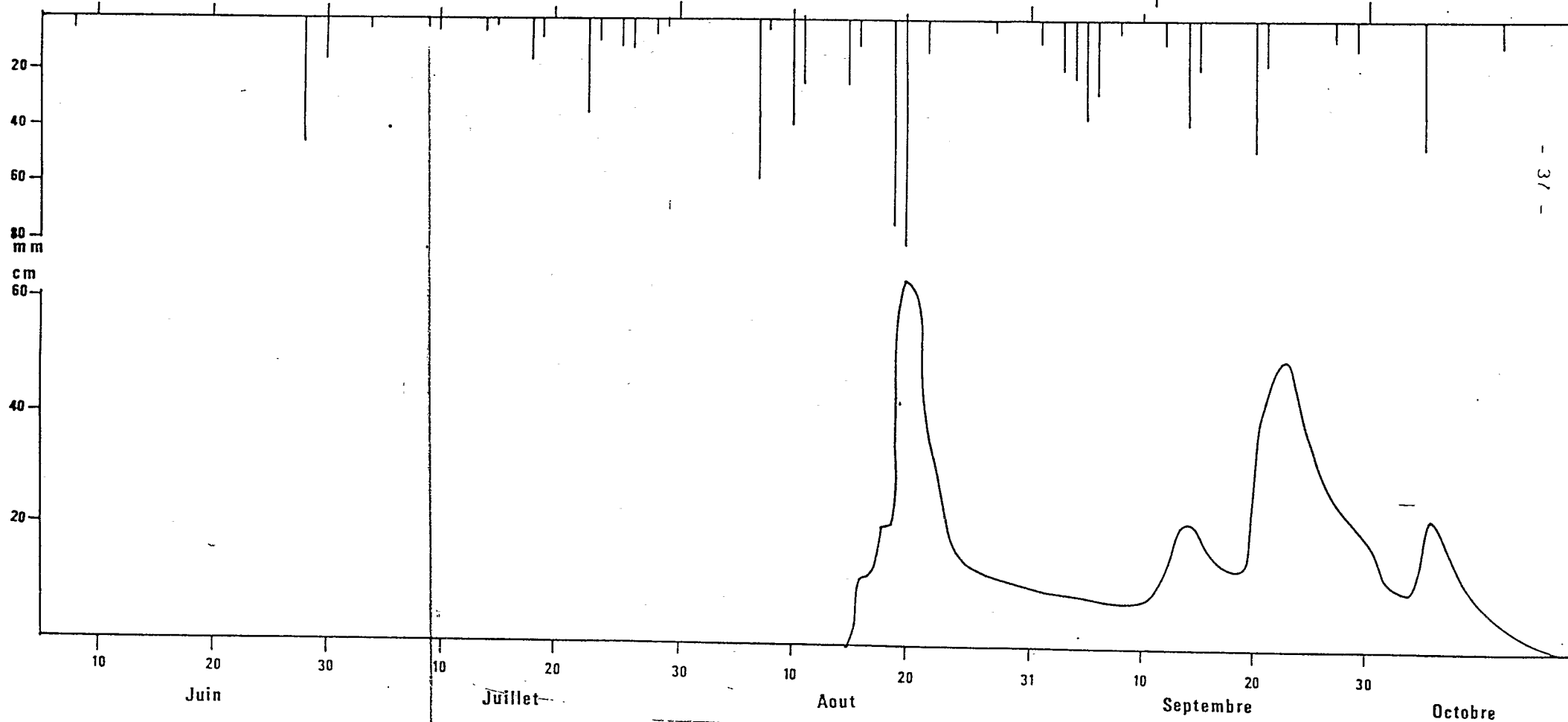


Tableau 19.

B.V	S (Km ²)	P.moy	Réurrences 85 sèches	Ke	P'mm	Vol. écoulés 10 ⁶ m ³	Qs (L/s. Km ²)
Toukara	324	918	1/4	0.039	0.358	0.116	0.011
Djibidione	644	903	1/4	1.53	13.8	8.897	P.437
Balandine	852	906	1/5	3.42	31.0	26.4	0.982
Baïla	1342	912	1/5	6.06	55.27	74.169	1.75
Kartiak	1631	913	1/5	9.63	87.9	143.665	2.784

On note la faiblesse de la lame écoulée à Toukara comparativement à la pluie moyenne, ce qui se ressent au niveau des débits spécifiques. La grande perméabilité des sols principalement sableux favorise beaucoup l'infiltration au détriment du ruissellement. L'importance des lames écoulées aux stations de contrôle des autres sous-bassins s'explique par l'importance de la fraction de pluie écoulée par les zones basses qui influe beaucoup sur le coefficient d'écoulement moyen.

1. Etude des crues de 1985

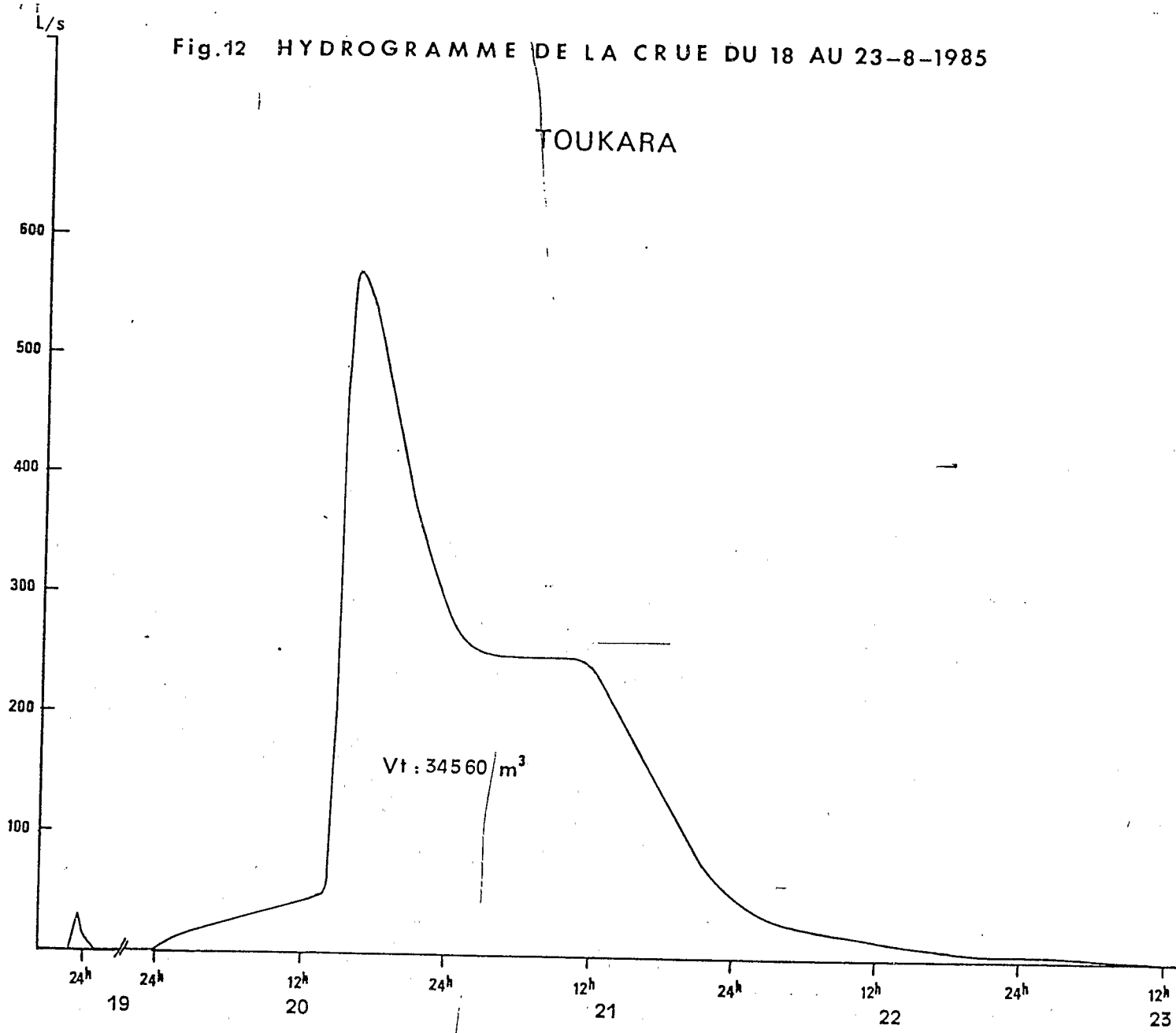
Deux crues ont été observées durant l'année 1985. L'essentiel de l'écoulement annuel est provoqué par ces deux évènements hydropluviométriques. La première crue est survenue du 20 au 21 Août. Elle est provoquée par une averse qui a intéressé tout le bassin versant, du 19 au 20. Pour la station de Djibidione il s'agit d'une averse décennale puisque celle-ci est estimée à 135mm alors que la pluie du 19 était de 136.3mm.

Pendant ces deux jours, les hauteurs suivantes ont été relevées aux différentes pluviomètres du bassin et aux postes extérieures.

Stations	19	20
Diouloulou (18: 57.7)	63.4	0
Baïla	52.3	4.1
Sindian (18: 6.7)	22.0	0
Djibidione	136.3	1.8
Toukara	72.6	80.7
Alakunda	73.1	10.1
Bignona	25.8	54.0

Fig.12 HYDROGRAMME DE LA CRUE DU 18 AU 23-8-1985

TOUKARA



BAÏLA

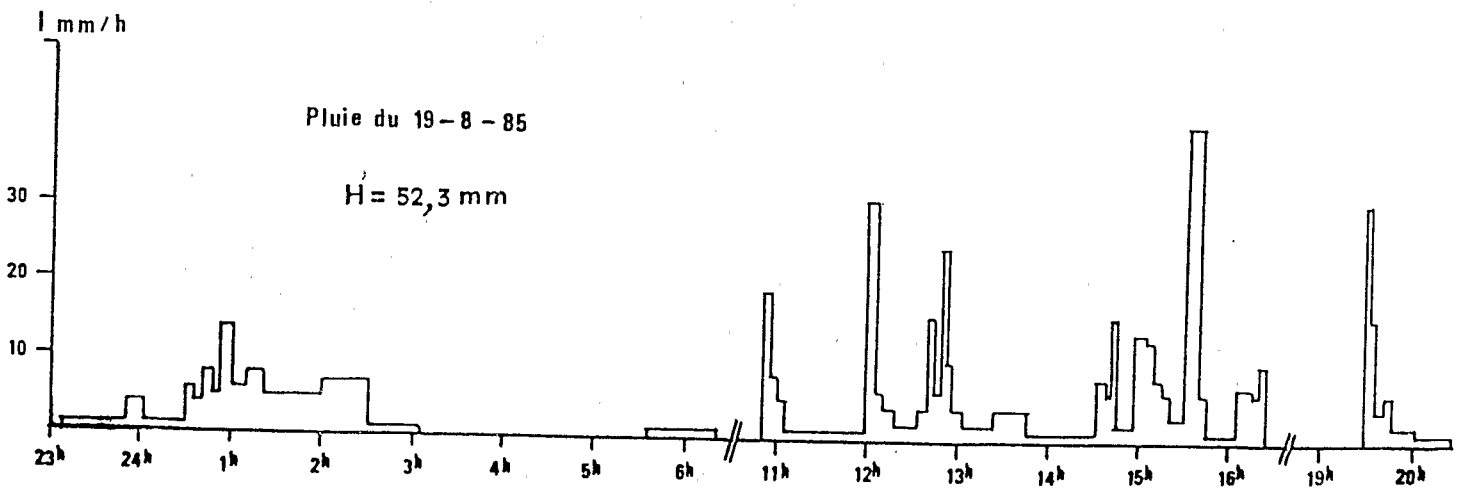
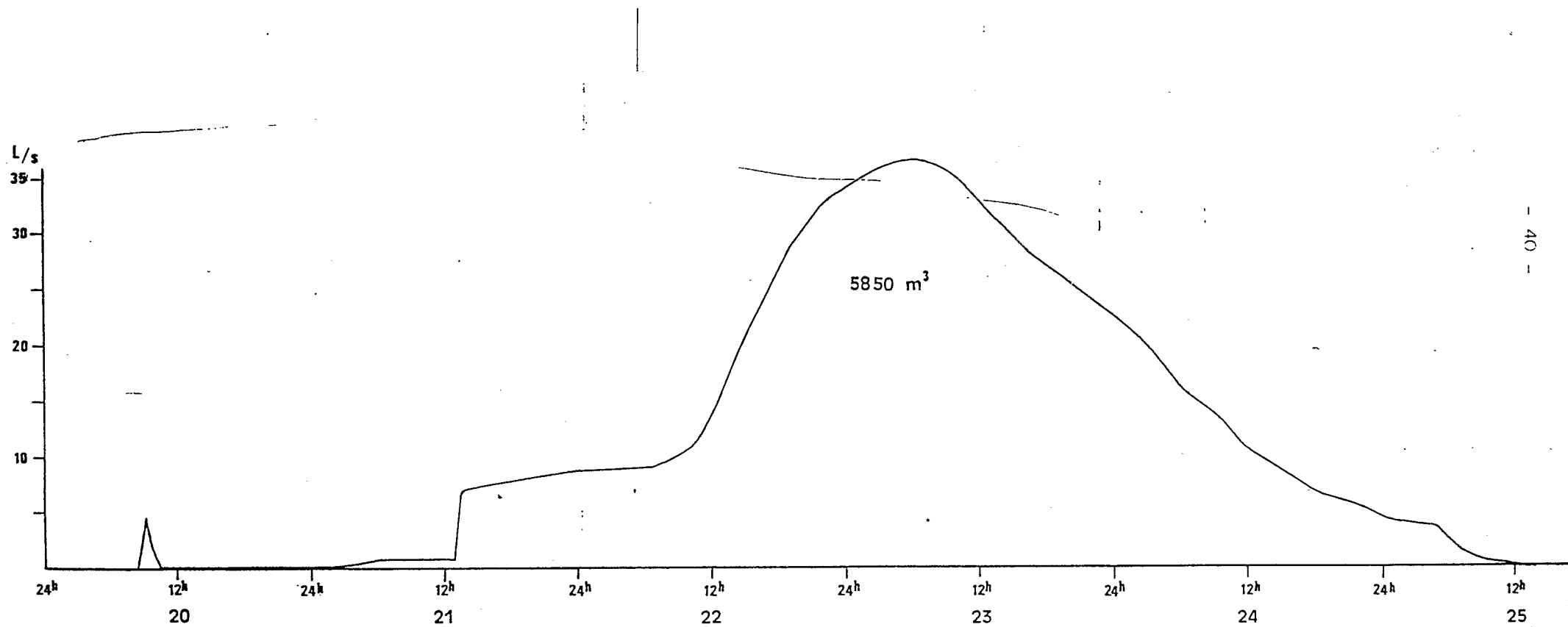


Fig. 13 HYDROGRAMMES DE LA CRUE DU 20 au 25-9-85

TOUKARA



Ces relevés montrent le décalage de l'épicentre de l'averse de l'Ouest vers l'Est. Le pluviographe de Toukara étant en panne lors de cette averse, seul le pluviogramme de Baïla permet d'avoir une idée de la forme de l'averse, ce dernier indique une averse complexe avec plusieurs pointes et une intensité maximale de 41mm/h. La Figure 12 représente le hyétogramme de cette averse à Baïla.

Dans le calcul de la pluie moyenne on a pris en compte l'averse du 20 puisqu'elle intervient dans le volume écoulé par la crue comme cela ressort de la forme de l'hydrogramme de la crue (Fig.13). On détient pour Toukara 153.3mm et 83.2mm pour Alakunda soit une pluie moyenne pondérée de 120mm pour le sous-bassin de Toukara. Le coefficient d'abattement K est à 0.78.

Les caractéristiques majeurs de cette crue :

Q max.	0.570 m ³ /s	Temps de montée (T _M)	: 16 h
Q moyen.	0.160	Q max./Q moyen	: 3.56
Vol. écoul.	34560m ³	Hr	: 0.107mm
Qs.	0.494 l/s.km ²	Kr	: 0.089%
Temps de base (T _B)		: 60	

On peut noter la faiblesse de la lame écoulée par rapport à la précipitation moyenne reçue. Cette lame écoulée ne représente que 1,4% de la lame attendue (7.7mm) pour une averse décennale humide ponctuelle à Toukara.

Crue du 20 au 24 Septembre à Toukara

L'averse ayant provoqué cette crue a été enregistrée à toutes les stations du bassin le 20 et 21, avec une pluie moyenne pondérée de 75.5mm pour l'ensemble du bassin versant du Baïla. Par contre pour le sous-bassin de Toukara, cette lame moyenne passe à 1386mm. En effet on a enregistré en 13 jours consécutifs à Alakunda et Toukara respectivement 219.6mm et 65.8mm soit un coefficient d'abattement K égal 0.63.

Les caractéristiques de la crue résultante dont l'hydrogramme est représentée dans la Figure 13 ainsi que le hyétogramme de Toukara sont :

P max.	: 219.6mm		
P moy.	: 138.6mm	T _M	: 40 h
Q max.	: 0.0355 m ³ /s		
Q moy.	: 0.017 m ³ /s.	T _B	: 96 h
Q max./Q moy.	: 2		
Vol. écoulé	: 5850m ³		

On note la faiblesse du débit maximum comparé à la lame moyenne précipitée. Mais ceci s'explique par la répartition spatiale et temporelle de la pluie :

	20 Septembre	21	22
Alakunda	85.0	72.6	62.0
Toukara	47.9	17.9	0

Il en résulte que l'essentiel de l'écoulement ou du volume ruisselé de cette crue provient des pluies d'Alakunda. D'ailleurs un examen de l'hydrogramme montre un premier pic dû au ruissellement immédiat provoqué par l'averse relevée à Toukara, comme cela ressort du hyétogramme, la distance entre Alakunda et Toukara a certainement contribué à amortir le débit de point. Ce phénomène s'observe sur l'hydrogramme de la crue du 20 Août, à la différence près que l'épicentre de l'averse était à Toukara d'où le débit de pointe résultant.

On note aussi un intervalle de temps d'environ 24 h entre le pic préliminaire et le début de la courbe de concentration de la crue. Mais sur deux crues on ne peut affirmer qu'il s'agit du temps de transfert de l'onde de crue d'Alakunda à Toukara.

2. Bilan hydrologique de 1985

Nous procéderons de la même manière comme pour 1983 en établissant un bilan sommaire pour les cinq sous-bassins d'après la formule $D = P_{mm} - P'_{mm}$ puis un bilan complet prenant en compte les autres paramètres climatiques pour le sous-bassin de Toukara

Pour les cinq stations de contrôle le bilan s'établit comme suit :

Stations	Pmm	P'mm	DE
Toukara	918	0.358	917.6
Djibidione	903	13.8	889.2
Balandine	906	31.0	875.0
Baïla	912	55.3	856.7
Kartiak	913	87.9	825.1

Exprimé en pourcentage le déficit d'écoulement, s'élève à 99.95% à Toukara et 90.4% à Kartiak. On remarquera qu'en 1983 on avait les mêmes valeurs relatives du déficit et malgré une augmentation de la lame précipitée de 355mm à Toukara et 353mm à Kartiak.

Pour la station de Toukara le bilan hydrologique mois par mois donne les résultats du Tableau 20.

	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
\bar{P}_{mm}	0	49.5	131.8	266.7	420.6	49.1	0	0	0	0	0	0	918
P'_{mm}	0	0	0	0.225	0.133	0	0	0	0	0	0	0	0.358
D.E.	0	49.5	131.8	266.5	420.5	49.4	0	0	0	0	0	0	917.7
ETP	175	152	114	93	86	106	96	106	106	122	170	172	1496
EV	0	49.5	114	93	86	106	(70)	(50)	(30)	(20)	(10)	(4)	632.5
Réserves	0	0	+ 17.8	+173.5	+334.5	-56.6	(-70)	(-50)	(-30)	(-20)	(-10)	(-4)	+285.2

Les 285mm en réserves constituent un stock éventuellement disponible pour les nappes.

IV. ÉCOULEMENT DE SURFACE EN 1986

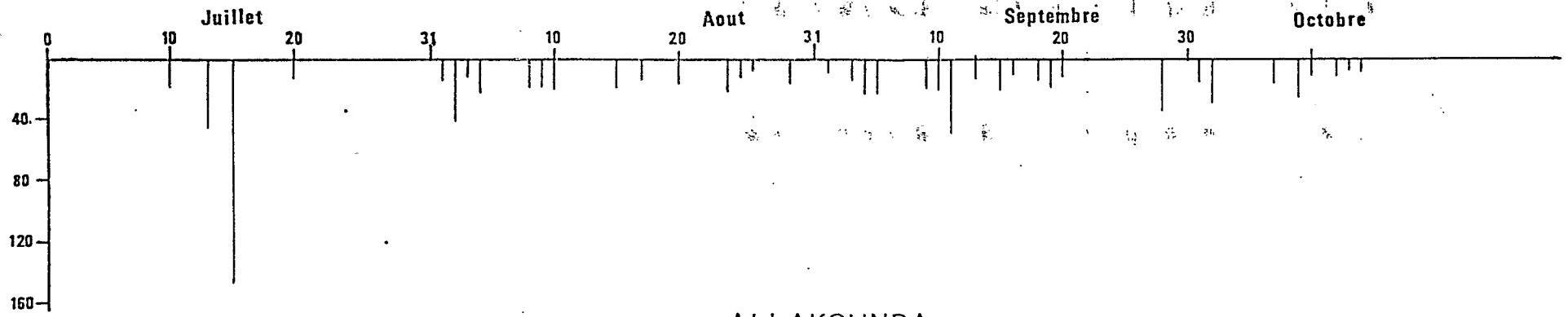
Le limnigraphe a été remis en marche dès la seconde quinzaine du mois de Mai et a fonctionné sans arrêt jusqu'en Novembre. Ceci a permis de disposer de relevés de très bonne qualité. La Figure 14 présente le limnigramme de Toukara ainsi que les précipitations journalières à Alakunda et Toukara. On remarque que tout l'écoulement de l'année s'est produit entre le 10 Juillet et le 10 Août. Toutes les pluies de la troisième décade d'Août à la seconde décade de Septembre n'ont donné lieu à aucun écoulement à Toukara.

La forte averse du 15 Juillet a généré une crue dont la hauteur maximale était de 2.42m à l'échelle. La courbe de tarage de la station ne permettant pas de déterminer des débits correspondants à des côtes supérieures à 1.34m, la formule de Manning-Strickler a été utilisée pour estimer les débits instantanés de cette crue.

1. La Crue du 15 au 17 Juillet

Elle est provoquée par une averse ponctuelle vicennale pour la station de Toukara qui a reçu 153.9mm. Cette averse, qui a commencé le 15 à 16h 20, est constituée de deux corps d'averse séparés par une traine de 30 minutes. La première pointe est atteinte avec une intensité de 210mm/h à 17h 10 et la seconde 112mm/h à 18h 30. A partir de 19h la pluie se poursuit par une traine dont l'intensité

TOUKARA



ALLAKOUNDA

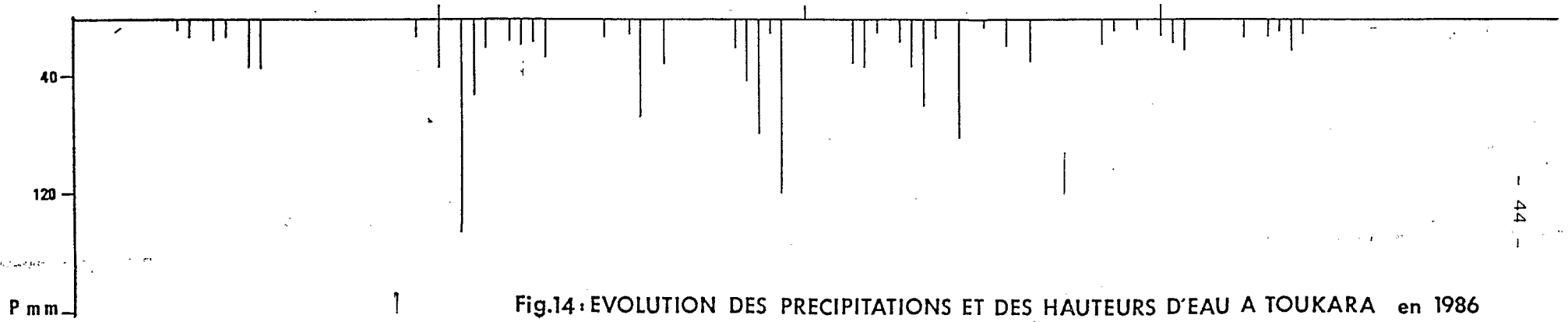
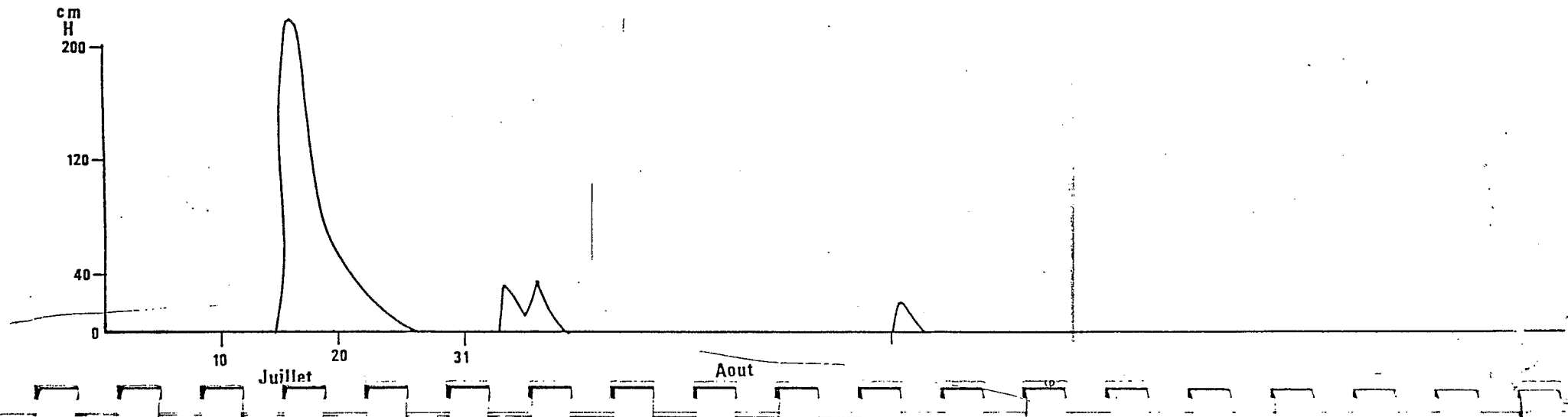


Fig.14: EVOLUTION DES PRECIPITATIONS ET DES HAUTEURS D'EAU A TOUKARA en 1986



ne dépasse pas 8mm/h jusqu'à 22h. Le premier corps de l'averse a précipité en deux heures 117mm et le second corps 28.4mm; la traine de 3 heures n'apportant que 8.5mm. A la station d'Alakunda il a été relevé 61.3mm. Aux stations alentour on a enregistré 61.9mm à Djibidione; 33.6mm à Baïla; 91.5mm à Sindian. Ceci indique que l'épicentre de l'averse se trouvait à Toukara ou dans ces environs immédiats. La pluie moyenne pondérée pour le sous-bassin de Toukara est de 109.8mm soit un coefficient d'abattement K égal à 0.714.

La montée du plan d'eau a été très rapide: de 17h 30 à 20h 30 la cote est passée de 0.21m à 2.42m. Pour estimer les ébits correspondants aux côtes supérieures à 1.34m on a utilisé la formule de Manning-Strickler qui s'écrit :

$$V = K \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

- avec :
- V - vitesse moyenne dans la section en m/s assimilée à la vitesse de surface
 - R - rayon hydraulique en m; pour une rivière il est pratiquement égal à la profondeur moyenne, rapport de la section mouillée à sa largeur en surface
 - I - pente de la ligne d'eau. Elle a été déterminée à partir du profil en long établi de part et d'autre de la station, après la crue : $I = 0.000125$. Cette pente est très faible mais il faut souligner que la pente du radier est aussi faible. Entre Toukara et Djibidione la pente est de 0.000125 sur 24 km.
 - K - coefficient de rugosité dit de Manning-Strickler estimé en fonction de la hauteur à l'échelle. Grâce aux treize jaugeages effectués à la station il est permis d'estimer le palier des valeurs de K:

$$K = f(H) ; K = \frac{V}{R^{2/3} I^{1/2}}$$

La Figure 15 montre l'évolution de K en fonction de la hauteur à l'échelle (H). On a retenu un K moyen égal à 20.

En fonction de K, de la hauteur d'eau à l'échelle (H), de la section mouillée (S) et sa largeur (L), du rayon hydraulique (R), de la pente (I) et de l'abaque de Manning-Strickler, s'est fait le calcul des vitesses moyennes et partant des débits (Q) pour H supérieures à 1.34m.

L'évolution des débits en fonction du temps et de la hauteur à l'échelle est consignée dans le Tableau 21 ci-après.

Fig 15: EVOLUTION DU COEFFICIENT DE RUGOSITE EN FONCTION DE LA HAUTEUR A L ECHELLE

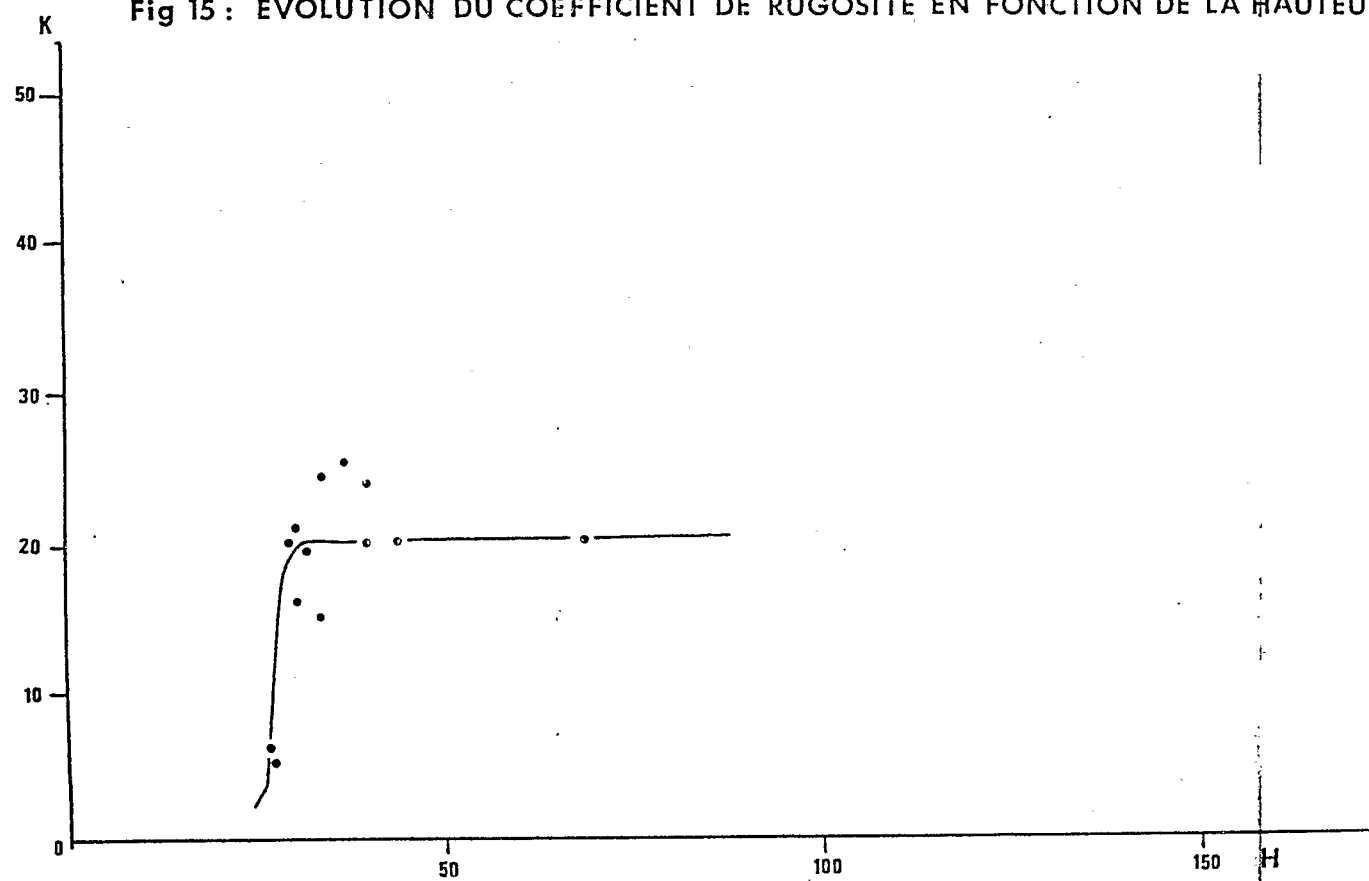


Fig.16 : HYDROGRAMME DE LA CRUE DU 15 JUILLET 86

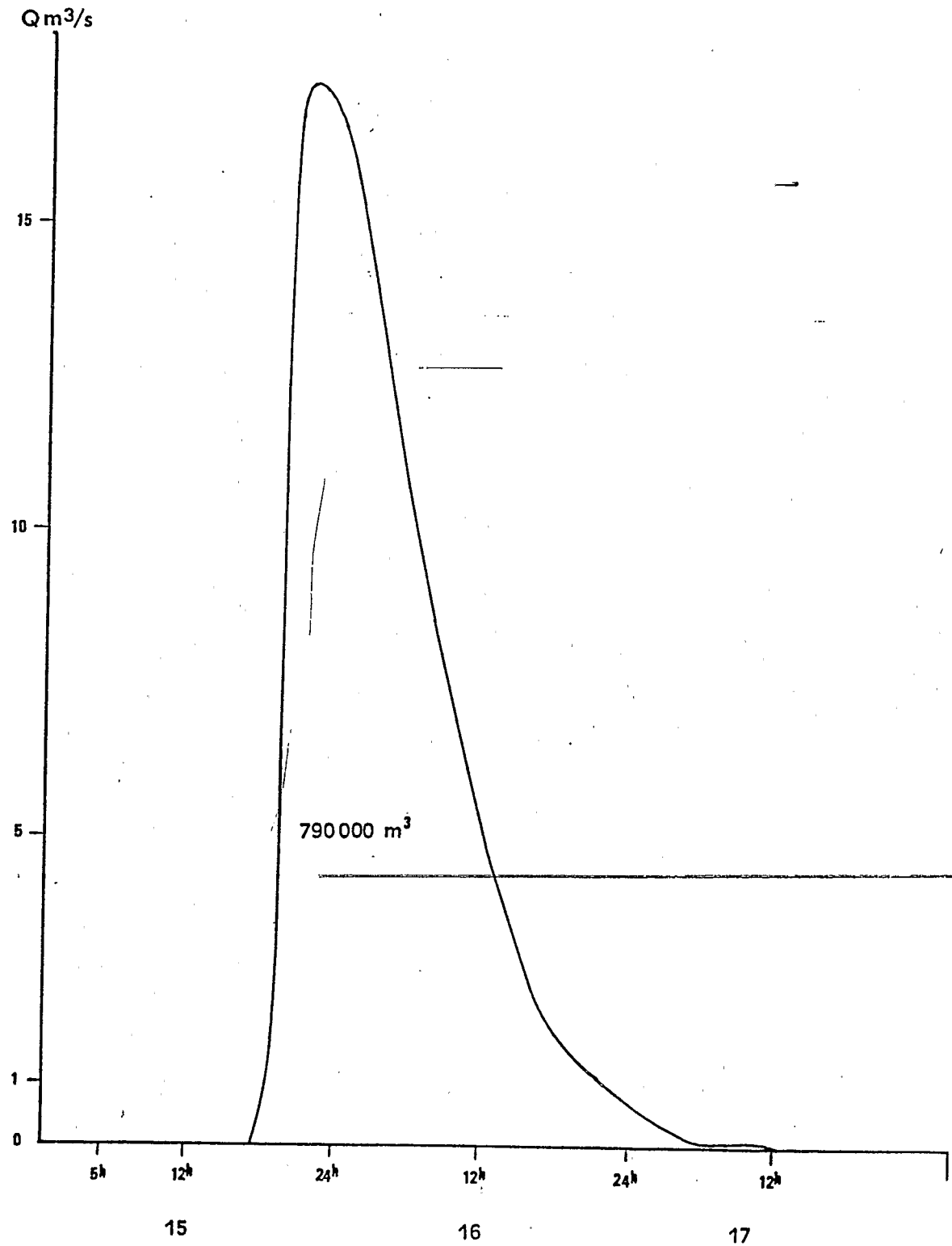


Tableau 21.

Dates	Heures	H (m)	Q (m ³ /s)	Dates	Heures	H (m)	Q (m ³ /s)	
15-7	17h30	0.20	0	16-7	16h	1.4	5.03	
	18h	0.76	0.641		18h	1.30	1.75	
	18h30	1.0	1.260		20h	1.18	1.50	
	19h	1.28	1.70		22h	1.08	1.30	
	19h30	2.00	12.40	17-7	0h	0.96	1.050	
	20h	2.10	14.8		3h	0.78	0.685	
	20h30	2.20	17.2		5h	0.66	0.435	
	23h	2.20	17.2		7h	0.56	0.240	
	16-7	2h	2.10		14.8	8h	0.52	0.185
		4h	2.00		12.4	10h	0.42	0.055
6h		1.90	10.36		11h	0.38	0.038	
9h		1.75	8.70	13h	0.32	0.014		
11h		1.65	7.52	17	0.26	0.004		
14h	1.50	6.15						

C'est à partir de ce tableau que l'hydrogramme de la crue a été tracé (Fig. 16).

Les caractéristiques de la crue sont les suivantes :

\bar{P}_{mm} :	109.8mm	
Q max. :	17.2m ³ /s	$\bar{Q} = 5.852 \text{ m}^3/\text{s}$
Q s :	18.06 l/s.km ²	
T _M :	3 h	
T _B :	37h 30	
V.E :	790 000 m ³	
Hr :	2.44mm	
Kr % :	2.221	

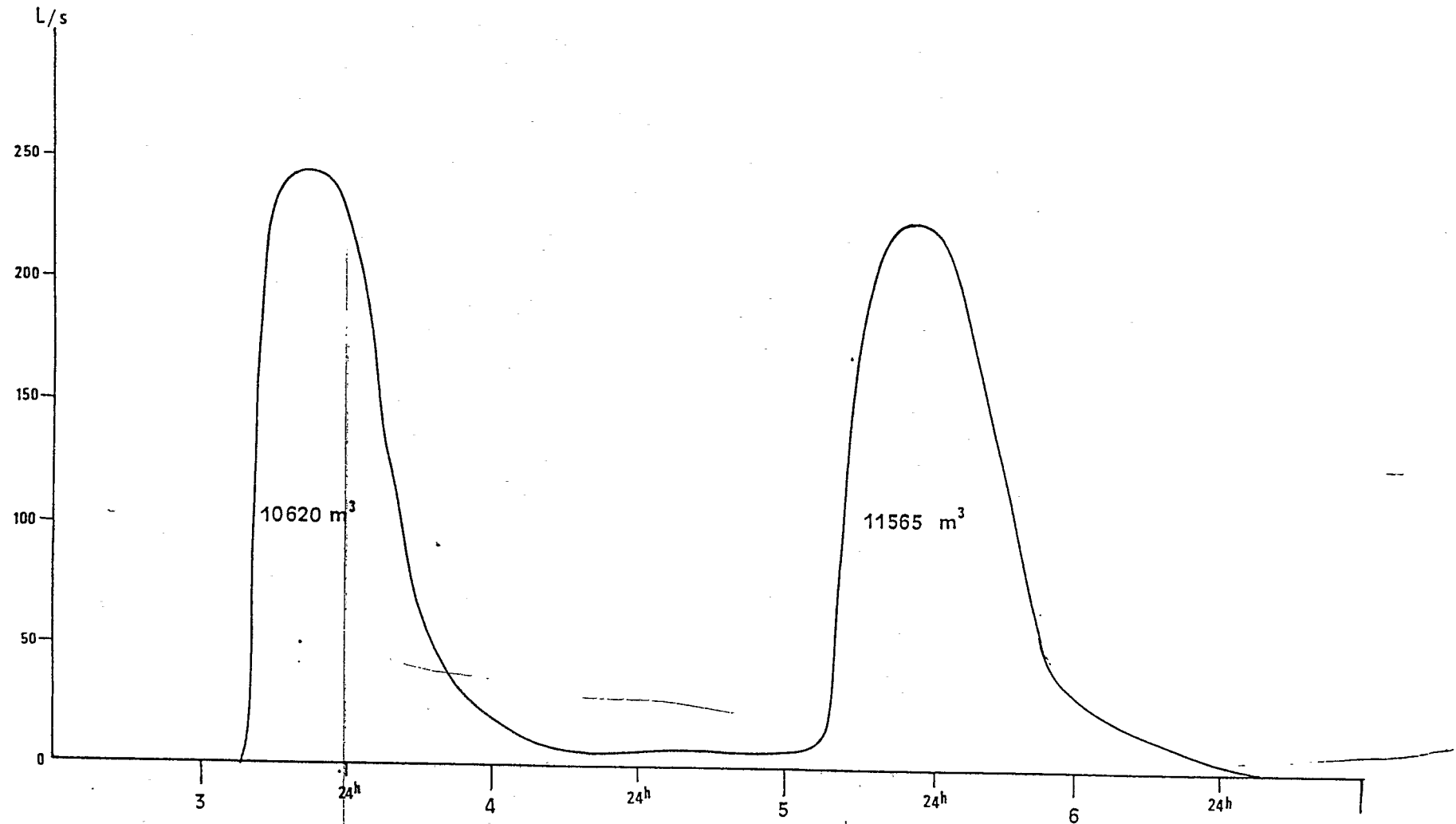
Le débit maximum de 17.2m³/s paraît acceptable pour un bassin de cette étendue et en tenant compte de la lame précipitée et l'intensité de l'averse. On notera la brièveté des temps de montée et de base de la crue.

2. Les autres crues de 1986

Deux autres crues ont été enregistrées à Toukara: les 3-4 Août et les 5-6 Août. Le Tableau ci-après en donne les caractéristiques :

Dates	\bar{P}_{mm}	Q max. m	Q s (L/s:Km ²)	T _M (H)	T _B (H)	V m ³	Hr (mm)	Kr (%)
3-4/8	43.3	0.245	0.331	5.5	27.5	10620	0.033	0.076
5-6/8	23.9	0.220	0.367	7	27	11570	0.036	0.149

Fig. 17 HYDROGRAMMES DES CRUES DU 3 au 7-8-86



3. Bilan de l'écoulement de surface

L'estimation des débits de la crue du 15 Juillet permet de dresser un bilan de l'écoulement annuel. Le Tableau 22 donne les hauteurs limnimétriques moyens journaliers et les débits correspondants ainsi que les module annuel. Ce module conduit à un écoulement global de $820\ 000\text{m}^3$. Ce volume écoulé est peut-être sous-estimé compte tenu de l'imprécision de l'estimation des débits de la crue du 15 Juillet.

Pour un bassin versant de 324 km^2 et une pluie moyenne pondérée de 970mm, ce volume écoulé correspond a un coefficient d'écoulement de 0,261%. A partir de ce K_e considéré comme représentatif des zones hautes du B.V et un K_e moyen de 80% pour les zones basses, il a été déterminé les K_e moyens pour les différents sous-bassins. Le Tableau ci-dessous regroupe ces K_e moyens.

Stations	S (Km^2)	$K_e = 0.307\%$	$K_e = 80\%$	K_e Moyen
Toukara	324	324	0	0.307
Djibidione	644	632	12	1.798
Balandine	852	816	36	3.67
Baïla	1342	1241	101	6.30
Kartiak	1634	1438	196	9.866

De ces K_e moyens, la lame écoulée (P' mm), le volume écoulé (V_e) et les débits spécifiques rassemblés dans le Tableau suivant ont été calculés.

B.V	S (Km^2)	\bar{P} mm	Recurrence sèche	K_e (%)	P' mm	V_e (10^6 m^3)	Q_s (l/s. km^2)
Toukara	324	824	1/7	0.307	2.531	0.820	0.080
Djibidione	644	764	1/7	1.79	13.69	8.8164	0.434
Balandine	852	754	1/8	3.67	27.67	23.575	0.877
Baïla	1342	784	1/8	6.30	49.39	66.281	1.565
Kartiak	1634	810	1/8	9.86	79.86	130.491	2.530

Tableau 22. Relevés limnigraphiques moyens journaliers en cm et débits moyens journaliers en l/s

Mois Jours	Juillet		Août		Septembre		Octobre	
	H	Q	H	Q	H	Q	H	Q
1			21	0				
2			21	0				
3			47	115				
4			56	240				
5			60	320	21	0		
6			57	260	30	9		
7			41	48	29	7	21	0
8			38	33	23	0.5	23.5	0.7
9			38	33	21	0	21.5	0
10			34	20	21	0	21.5	0
11			30	9				
12			24	1				
13	21	0	21	0				
14	21	0	21	0				A
15	70	525		0				
16	165	7420						
17	60	320			21	0		
18	40	44			21	0		
19	29	7		A	27	4.5		S
20	24	1			22	0		
21	23	0.5			21	0		
22	23	0.5		S	20	0		E
23	22.5	0						
24	21							
25	21			E				
26								C
27		S						
28								
29		E		C				
30								
31		C						
Moyenne		271.55		34.8		0.7		0.024

Module : 25.6 l/s ou 0.0256 m³/s

4. Bilan hydrologique

Pour les cinq sous-bassins, le bilan hydrologique révèle que les écoulements de surface ne représentent qu'une infinie part des lames précipitées, notamment pour le sous-bassin de Toukara où ce déficit s'élève à 99.7%. A Djibidione il est de 98.20%; Balandine 96.4%; Baïla 93.7% et Kartiak 90.1%.

En fait l'atténuation du déficit vers l'aval s'explique par l'augmentation de la superficie des zones Ke égal à 80%.

Pour le sous-bassin de Toukara un bilan à l'échelle mensuelle s'établit comme suit (Tableau 22).

	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Total
P mm	3.0	17.0	144.0	331.8	352.8	101.5	5.0	0	0	0	0	0	955.4
P' mm	0	0	2.44	0.091	0	0	0	0	0	0	0	0	2.531
D.E	3.0	17.0	141.56	331.7	352.8	101.5	5.0	0	0	0	0	0	952.6
E T P	175	152	114	93	86	106	96	106	106	122	170	172	1496
EVAP.	3.0	17.0	114	93	86	106	(70)	(50)	(30)	(20)	(10)	(4)	603.0
Réserves	0	0	27.5	238.7	266.8	-4.5	(-65)	(-50)	(-30)	(-20)	(-10)	(-4)	+349.5

Ce Tableau indique que l'évaporation et les réserves se partagent l'essentiel de la lame précipitée au détriment de l'écoulement de surface qui résulte uniquement d'averses brutales.

C O N C L U S I O N S

Les années 1983 à 1986 sont marquées par un très fort déficit pluviométrique sur l'ensemble du bassin. Le déficit record a été atteint en 1983 avec 53,4%.

Pluie moyenne et déficit moyen (en %) de 1983 à 1986

Stations	\bar{P} mm	P 83	P 84	P 85	P 86
Toukara (324 km ²)	1175	563	773	918	970
Djibidione (644 km ²)	1190	565	795	903	837
Balandine (852 km ²)	1205	568	805	906	810
Baïla (1342 km ²)	1230	565	814	912	824
Kartiack (1634 km ²)	1245	560	822	913	841
Déficit moyen en % :		53,4	33,6	24,8	29,4

Le suivi des écoulements de surface à la station de Toukara, non soumise à l'influence de la marée montre des écoulements très faibles, sous forme de crues isolées.

Lames ruisselées (en mm) aux différentes stations				
Stations	1983	1984	1985	1986
Toukara (324 km ²)	0,242	... (0)	0,358	2,53
Djibidione (644 km ²)	8,64	11,85	13,8	13,7
Balandine (852 km ²)	19,42	27,21	31,0	27,67
Baïla (1342 km ²)	34,24	49,0	55,27	49,4
Kartiack (1634 km ²)	53,93	78,83	87,9	79,86

L'année 1983 caractérise le plus fort déficit hydrique, la tendance est ensuite à l'amélioration tout en restant dans des valeurs faibles.

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

BRUNET-MORET (Y) - 1970 - Etude hydrologique en Casamance. Rapport définitif
ORSTOM, Paris, 52 p.

DACOSTA (H.) - 1983 - Mémoire de Maîtrise - Département de Géographie. Université
de Dakar, 121 p.

-DACOSTA (H) - 1986 - Pluie et écoulement sur le bassin de la Casamance. Projet de
recherche, Université Paris I, 37 p.

GALLAIRE (R) - 1980 - Etude hydrologique du marigot de Baïla, ORSTOM Dakar, 50 p.

OLIVRY J.C. et CHOURET A. (1981). Etude hydrologique du marigot de Baïla. Rapport
ORSTOM Dakar.

OLIVRY J.C. et DACOSTA H. 1984. Le marigot de Baïla (Basse-Casamance). Bilan des
apports hydriques et évolution de la salinité (résultats des campagnes
de 1980 à 1983). Rapport ORSTOM Dakar, 146 p.

SAOS J.L et DACOSTA H. 1987. Evolution hydrologique d'un bassin versant margino-lit-
toral: le marigot de Baïla (Basse-Casamance). Rapport EPEEC 1987, à
paraître.