

17.300,500

: cl. 13 m

SODAGRI
23, Avenue Roume

DAKAR

Aménagement hydro-agricole
du bassin de l'Anambé

Hydrologie et météorologie
Note préliminaire

Electrowatt
Ingénieurs-Conseils S.A.

ZURICH - DAKAR

JUILLET 1978

17.300,500

: cl. 13 m

1. INTRODUCTION

La présente note préliminaire résume les résultats obtenus au cours de la première mission hydro-météorologique effectuée au Sénégal par M. Urech ingénieur-hydrologue d'EWI dans le cadre du projet de l'Anambé entre le 26 juin et le 11 juillet 78. Cette première mission avait essentiellement les objectifs suivants :

- prendre connaissance des études hydro-météorologiques antérieures
- rassembler les données de base disponibles et en vérifier la validité
- visiter les stations hydro-météorologiques intéressantes pour le projet afin de juger la qualité des observations effectuées
- implanter le réseau pluviométrique prévu dans le cadre de l'étude
- procéder à une première évaluation des apports disponibles de la Kayanga et définir la marche à suivre pour la poursuite des études hydro-météorologiques.

Lors de la mission sur le terrain du 1-4 juillet 1978, les stations hydro-métriques de Kayanga/Niapo, Kayanga/Wassadou, Anambé, Tiangol-Dianguina/Sare Sara et Casamance/Kolda ont été visitées ainsi que les postes pluviométriques de Vélingara et Kounkané et la station météo de Kolda.

2. DOCUMENTS CONSULTÉS

Les documents suivants ont été consultés soit à la Sodagri, soit à l'Orstom-Dakar :

- Annales hydrologiques du Sénégal 1974-75, 1975-76 et 1976-77
- Etude Sèneriz - Sodagri sept. 1977
- Etude GERCA - SCET/ILACO campagne 1962
- Note provisoire sur le régime hydrologique de la Casamance à Kolda - Orstom mars 1975

- Etude hydrologique en Casamance - Orstom 1967
- idem - Rapport définitif - Orstom 1970
- Mesures d'étiages en Casamance - Orstom 1971
- Etude générale des averses exceptionnelles au Sénégal - Orstom 1963
- Précipitations journalières de l'origine des stations à 1965 - Orstom 1976
- Etude hydrologique du bassin continental du fleuve Gambie - Rapport terminal, Orstom 1974.

En outre, il a été possible d'obtenir auprès de l'Orstom les débits journaliers de l'année 1977-78 aux stations de Niapo et Wassadou sur la Kayanga, à celle de Kolda sur la Casamance, à celle de Gouloumbo sur la Gambie et à celles de Bakel et de Kidira sur le Sénégal, respectivement la Falémé.

D'autre part l'ASECNA a bien voulu nous fournir les données pluviométriques postérieures à 1965 et concernant les stations de Kolda, Vélingara, Kounkané, Kédougou et Tambacounda.

3. RESUME DES CARACTERISTIQUES DES STATIONS D'OBSERVATION

3.1. Réseau hydrométrique

3.1.1 Kayanga - Station de Niapo

Cette station a été mise en service par la SCET en 1962 et comportait alors une batterie d'échelles en 8 éléments. Les lectures n'ont été effectuées que durant l'hivernage de 1962. Elle a été réactivée en 1967 par ORSTOM qui a installé un limnigraphe enregistreur Ott-X le 9.6.67. Ce dernier a été submergé lors d'une crue et a été déplacé en rive droite en février 1968.

Il a fonctionné ensuite jusqu'en juin 1970 où les mesures ont été interrompues. La station a été réactivée à nouveau en mai 1976 par la pose d'une nouvelle batterie d'échelle complétée en mai 1977 par la mise en service d'un limnigraphe à pression.

La station est bien située, le pont permet la réalisation de jaugeages de bonne qualité et les courbes de tarages définies aussi bien par SCET que par ORSTOM prouvent que le lit de la rivière est stable et que seule l'existence d'une végétation aquatique plus ou moins dense en aval de la station influence la stabilité de la courbe de tarage pour les très faibles débits. On constate cependant que la relation hauteur-débit n'est pas parfaitement univoque, pour une même hauteur d'échelle le débit est plus élevé lorsque la rivière est en crue que lorsqu'elle est en décrue. Ceci est dû d'une part à la faible pente de la ligne d'eau et d'autre part au remou provoqué par la confluence de l'Anambé.

3.1.2 Kayanga - station de Wassadou

Cette station qui comprend une échelle limnimétrique de 8 m de hauteur et un limnigraphe à flotteur placé contre une pile du pont-route a été mise en service le 25 avril 1976. 15 jaugeages ont été réalisés, le débit le plus élevé étant de 9,3 m³/s et ont permis de tracer une courbe de tarage provisoire pour des hauteurs d'échelle inférieures à 3,0 m, qui, en raison de l'absence de crue a permis cependant la définition précise des écoulements aussi bien en 1976 qu'en 1977.

Le lit paraît stable, la végétation aquatique qui se développe en aval peut cependant influencer la relation hauteur - débit pour les faibles écoulements. Ceci pourrait d'ailleurs expliquer le fait que les débits d'étiage à Wassadou sont plus faibles qu'à Niapo.

3.1.3. Anambé - station de Kounkané

Un limnigraphe a été installé le 24 juillet 1977, comportant un conduit vertical en PVC placé le long de la culée rive gauche du pont-route et protégeant le flotteur. Une échelle limnimétrique en 5 éléments complète l'installation. Depuis la mise en service de la station aucun écoulement ne s'est produit de sorte que le tarage n'a pas encore pu être réalisé. On doit cependant s'attendre à ce que la relation hauteur-débit ne soit pas univoque en raison de l'influence de la Kayanga, ce qui avait d'ailleurs été constaté en 1962 par la SCET lors des jaugeages réalisés alors.

3.1.4 Casamance - Kolda

La station est située au pont de la route Kolda-Ziguinchor. Une échelle, posée par la SCET a existé de 1962 à 1967 et a été complétée par un limnigraphe entre 1962 et 1964. Une nouvelle échelle a été mise en place par l'Orstom en juin 1967 et doublée par un limnigraphe Ott-X posé en janvier 1970 et qui est toujours en service. Le tarage de la station est difficile car des courbes de tarage non univoques doivent être établies pour les différentes périodes de la saison des pluies en raison d'une part de la pente très faible de la ligne d'eau et d'autre part de la nature et du développement irrégulier de la végétation aquatique en aval. La définition des écoulements de la Casamance au pont de Kolda ne peut donc qu'être approximative en dépit du nombre important de jaugeages réalisés.

3.2. Réseau météorologique

3.2.1. Station de Kolda

Cette station est installée à proximité de l'aéroport de Kolda et est équipée d'un ensemble pluviographe - pluviomètre, d'une batterie de thermomètre (mini-maxi, sec et humide sous abris, ainsi qu'au sol et à diverses profondeurs dans le sol) d'un héliographe et d'un anémomètre.

La station, du moins en ce qui concerne les observations pluviométriques a fonctionné depuis 1922 pratiquement sans interruption puisque seules les années 1931 et 1948 sont incomplètes.

La station est très bien située dans un endroit dégagé correspondant à la nature de la végétation régionale. Les observations sont faites avec soin et les archives de la station sont parfaitement rangées de sorte que l'on peut en extraire des données qui peuvent s'avérer précieuses concernant en particulier la durée des averses par exemple. Le matériel utilisé est en excellent état et très bien entretenu.

3.2.2 Station de Vélingara

Il s'agit d'un poste pluviométrique mis en place en 1932 et qui a fonctionné jusqu'en 1958 avec une seule année incomplète en 1933. Ce poste a été remis en activité en 1962 dans le jardin du centre de l'agriculture . L'analyse des double-cumuls permettra de déterminer si les deux séries d'observation sont cohérentes. Le pluviomètre, du type à lecture directe à une surface de réception de 400 cm² et est placé dans un endroit bien dégagé, le rideau d'arbre entourant le jardin le met cependant à l'abri du vent. Les lectures sont faites 2 fois par jour, le matin et le soir.

3.2.3 Station de Koukané

Le poste pluviométrique a été installé en 1965 dans le centre de recherches rurales de Koukané. Il s'agit d'un pluviomètre à lecture directe, d'une surface de réception de 400 cm². L'endroit est dégagé et bâtiments à un étage du centre sont situés à des distances suffisantes pour qu'ils ne forment pas écran. Les lectures sont effectuées 2 fois par jour également.

4. IMPLANTATION DU RESEAU D'OBSERVATION DE L'ANAMBE

Les recherches et essais qui seront réalisés dans le périmètre-pilote en cours d'installation dans le bassin de l'Anambé nécessitent la connaissance des conditions climatologiques locales. C'est pourquoi, une station météo doit être mise en place à proximité immédiate des périmètres d'essai. Cette station comprendra l'équipement suivant :

- 1 pluviomètre placé à 1,20 m de hauteur
- 1 héliographe
- 1 thermomètre mini - maxi
- 1 thermomètre normal
- 2 thermomètres enterrés à 0,10 et 0,50 m
- 1 hygromètre
- 1 bac d'évaporation type Orstom enterré de 1,0 X 1,0 m de section
- 1 pluviomètre au sol
- 1 bac lysimétrique de 1,0 X 1,0 X 1,0 m

Afin d'étudier l'homogénéité des averses dans le bassin, 4 postes pluviométriques seront mis en place à proximité des villages suivants :

Awabala
Dialakoni
Saré Ouinor
Toungoulel

.../...

5. DONNEES DISPONIBLES

5.1. Écoulements

5.1.1. Kayanga

La station-clé sur la Kayanga est celle du pont de Niapo où l'on dispose de 6 années complètes d'observation. La station du pont de Wassadou n'a fonctionné que pendant deux ans et n'est utile que pour vérifier la qualité des données de la station de Niapo. Le tableau N° 1 donne les débits mensuels moyens observés à ces deux stations. Les modules annuels des différentes années hydrologiques observées (du 1er mai au 30 avril) sont les suivants :

Kayanga - Niapo - bassin versant 1755 km²

	module m ³ /s	Apport 10 ⁶ m ³	Tame écoulee mm
1962 - 63	13,2	416	237
1967 - 68	13,59	429	244
1968 - 69	3,56	112	64
1969 - 70	4,12	130	74
1976 - 77	1,65	52	30
1977 - 78	0,93	29	18
Moy	6,18	195	111
écart type	5,72		
Coef var	0,93		

Les apports annuels sont caractérisés par leur extrême variabilité. En effet, sur 6 années d'observation le maximum observé représente 220 % de la moyenne et le minimum n'atteint que 15 % de celle-ci.

Il faut cependant se garder de tirer des conclusions hâtives car les 2 dernières années, soit 1976-77 et 1977-78 peuvent être considérées comme extraordinairement sèches dans l'ensemble du pays.

5.1.2 Casamance

Le bassin de la Casamance jouxte celui de la Kayanga sur son flanc Ouest et les régimes des deux cours d'eau devraient présenter certaines analogies. Les débits mensuels observés à Kolda pendant 12 ans sont récapitulés dans le tableau N° 2. Les caractéristiques des années d'observation sont les suivantes :

	Module m ³ /s	Apport 10 ⁶ m ³	lame écoulee mm
1962-63	4,20	135	36
1967-68	8,83	278	75
1968-69	1,96	62	17
1969-70	7,05	222	60
1970-71	3,00	95	26
1971-72	3,64	115	31
1972-73	1,08	34	9
1973-74	2,18	69	19
1974-75	2,30	72	20
1975-76	4,89	154	42
1976-77	2,38	75	20
1977-78	0,52	16	4
Moyenne	3,50	110	30
écart type	2,44		
Coef. de var.	0,70		

La variabilité interannuelle est forte, l'apport annuel maximum observé représente 252 % de la moyenne et l'apport annuel minimum n'atteint que 15 % de cette dernière. Cette variabilité correspond à celle de la Kayanga. En revanche les apports spécifiques sont nettement plus faibles dans le bassin de la Casamance puisqu'ils ne représentent, pour une période de référence identique que 32 % de l'apport spécifique de la Kayanga.

Si l'on considère les années pour lesquelles des observations ont été réalisées sur la Kayanga, on constate que le module de la Casamance à Kolda a été de 4,16 m³/s, avec un écart type de 3,21 m³/s et un coefficient de variation de 0,77. C'est-à-dire supérieur aux valeurs correspondantes des 12 années d'observation.

5.1.3 Gambie

Le bassin de la Gambie jouxte celui de la Kayanga sur son flanc Est et, bien que ses dimensions soient beaucoup plus importantes, pourrait avoir des caractéristiques hydrologiques similaires.

La station d'observation des débits de la Gambie pour laquelle on dispose des données s'étendant sur la plus longue période est celle de Gouloumbo (bassin versant 42.000 km²). Les observations ne sont cependant continues qu'à partir de 1971. L'ORSTOM a cependant procédé à une évaluation des modules annuels en se basant sur l'allure de la courbe de récession et des débits d'étiages effectivement observés, lesquels présentent une relative constance. Ces données figurent dans le tableau N° 3. On dispose ainsi de 23 ans pour lesquelles les modules annuels ont pu être définis.

Les caractéristiques des différentes périodes d'observation sont les suivantes :

Nombre d'année d'obs.	23 ans	12 ans	6 ans
module moyen m ³ /s	279	215	241
écart type m ³ /s	111,5	91,5	118
Coef. de var.	0,40	0,43	0,49

On constate d'une part que le module annuel moyen de la période de 12 ans où les débits de la Gambie et de la Casamance ont été observés simultanément ne représente que les 77 % du module annuel moyen des 23 ans d'observation. La variabilité interannuelle est forte également, les apports annuels maximum et minimum observés représentant respectivement 161 et 32 % de la moyenne.

5.1.4 Sénégal et ses affluents

Les débits du fleuve Sénégal à Bakel et de la Falémé à Kidira ont été observés sans interruption depuis 1903. Comme le Sénégal, et en particulier la Falémé ont leur source à la même latitude que la Kayanga, il est possible que l'on puisse mettre en évidence une relation entre les écoulements de la Kayanga d'une part et du Sénégal ou de la Falémé d'autre part. Les tableaux N° 4 et 5 donnent les débits mensuels et annuels observés à Bakel sur le Sénégal et à Kidira sur la Falémé. Les caractéristiques des écoulements annuels sont les suivantes :

	moyenne 1903 - 77	moy. des 23 ans d'obs Gambie	moy. des 12 ans d'obs Casamance	moy. des 6 ans d'obs Kayanga
Sénégal/Bakel (m ³ /s)	748	752	749	681
Falémé/Kidira (m ³ /s)	182	177	131	144

5.2. Pluviométrie

Les postes d'observation pluviométrique où des données ont été rassemblées régulièrement pendant de longues périodes dans la région du projet sont les suivants :

Kolda	54 années complètes
Vélingara	41 " "
Tambacounda	54 " "
Kédougou	52 " "

En plus on dispose d'observation à Kounkané concernant les 13 dernières années.

Les pluviométries annuelles sont données dans le tableau N° 6 pour les années hydrologiques (du 1er mai au 30 avril) et les valeurs annuelles ne correspondent ainsi pas à celles publiées par l'ASECNA.

Les caractéristiques des pluviométries annuelles observées sont les suivantes :

	moy. mm	écart type mm	coef. var.	moy. 1970-77 mm
Kolda	1214,8	246,1	0,20	1031,1
Vélingara	1046,0	286,2	0,27	788,9
Tambacounda	896,4	181,1	0,20	747,6
Kédougou	1293,9	228,5	0,18	1157,5

On constate d'emblée que les précipitations moyennes de la période 1970-77 ont été très nettement inférieures à celles de la période 1925-1977. Les coefficients de variation sont du même ordre de grandeur, légèrement plus élevés pour Vélingara, ce qui est dû vraisemblablement à l'influence plus grande des années de sécheresse, le nombre total d'années d'observation étant plus faible à cette station.

5.3. Qualité des données disponibles

Les données hydrométriques ont été presque essentiellement récoltées dans des stations installées et entretenues par l'ORSTOM qui a procédé également au tarage des stations et au dépouillement des observations. Elles ont d'autre part fait l'objet d'analyses comparatives qui ont été publiées par l'ORSTOM (voir la bibliographie donnée au chapitre 2). Les annuaires hydrologiques du Sénégal sont établis depuis 1974 par l'ORSTOM également qui met au net les données concernant l'année 1977-78 et qui les a mises à disposition avant leur publication. Dans ces conditions on peut admettre que les données hydrométriques ne contiennent pas d'erreurs grossières. Elles peuvent donc être utilisées sans autres vérifications, mais en tenant compte toutefois des appréciations fournies par l'ORSTOM concernant le degré de qualité des données, en particulier en ce qui concerne les débits de la Casamance à Kolda qui n'ont pu être déterminés que d'une manière approximative en raison des variations de la relation hauteur-débit.

En ce qui concerne la pluviométrie, nous avons testé l'homogénéité des précipitations annuelles des stations de Vélingara, Kolda et Tambacounda par la méthode des doubles cumuls, essentiellement en vue de vérifier l'homogénéité des données de Vélingara où les observations ont été interrompues pendant 4 ans de 1958 à 1961.

Les graphiques donnés dans la fig. 1 démontrent l'homogénéité des pluviométries annuelles, les points représentatifs des paires de précipitations annuelles cumulées étaient bien alignés.

Il faut être cependant conscient qu'un tel test ne peut mettre en évidence qu'une modification d'environnement du poste mais ne peut garantir l'exactitude des données qui dépend essentiellement de la conscience des observateurs.

6. EVALUATION PRELIMINAIRE DES APPORTS ANNUELS DE LA KAYANGA

6.1. Méthodologie

On dispose de 6 années d'observation des débits de la Kayanga au pont de Niapo. Un tel laps de temps est très court d'autant plus que les observations s'étendent sur 3 périodes différentes 1962, 1967-69 et 1976-77 présentant des caractéristiques hydrologiques très différentes également. L'analyse d'un échantillon de 6 années présentant de tels écarts conduirait à des conclusions absurdes tant en ce qui concerne l'apport moyen que les extrêmes.

Il est donc indispensable de chercher à étendre la séquence à l'aide de corrélation en utilisant d'une part les données hydrométriques récoltées sur d'autres cours d'eau et d'autre part la pluviométrie régionale.

6.2. Corrélation avec d'autres cours d'eau

A première vue, il semblait que les régimes de la Casamance et de la Kayanga devraient être similaires. Or la fig 1a montre que les points sont dispersés et que le coefficient de corrélation ($r = 0,68$) est relativement bas bien que significatif.

La corrélation avec le fleuve Sénégal à Bakel est légèrement meilleure ($r = 0,72$) mais difficilement utilisable pour une extension de séquence (fig 1b).

En revanche on peut mettre en évidence une corrélation satisfaisante entre les modules annuels de la Kayanga et ceux de la Falémé à Kidira. Le coefficient de corrélation est élevé ($r = 0,93$) et l'équation de la droite de régression est la suivante (fig 2a)

$$Q \text{ Kayanga} = 0,0705 Q \text{ Falémé} - 3,98 \text{ m}^3/\text{s}$$

Nous avons cherché à améliorer la corrélation en ne considérant que les apports de juillet à novembre pour éliminer l'influence des étiages relativement importants de la Kayanga. Ce mode de faire permet d'augmenter légèrement le coefficient de corrélation qui passe à $r = 0,94$. (fig 3a)

Etant donné la mauvaise corrélation observée entre la Casamance et la Kayanga, nous avons cherché à tester l'homogénéité des observations au pont de Kolda en corrélant les modules annuels de la Casamance avec ceux du Sénégal à Bakel (Fig.2 b). Le coefficient de corrélation $r = 0,89$ est satisfaisant d'autant plus que la corrélation est faite à partir de 12 paires de modules.

La corrélation entre les modules annuels de la Kayanga et ceux de la Gambie à Gouloumbo est de bonne qualité également, le coefficient $r = 0,93$ (voir fig 3b) ; l'équation de la droite de régression est la suivante :

$$Q \text{ Kayanga} = 0,045 Q \text{ Gambie} - 4,67 \text{ m}^3/\text{s}$$

La disposition des points expérimentaux pourrait suggérer une relation non linéaire entre les modules annuels, que nous avons tracé à l'estime. On voit cependant qu'un tel tracé conduirait à une augmentation très importante des modules humides de la Kayanga.

6.3. Corrélations hydro-pluviométriques

Nous avons cherché à définir la relation liant les hauteurs d'écoulement annuelles sur le bassin de la Kayanga et la pluviométrie. Après divers essais il est apparu que le meilleur alignement des 6 points expérimentaux était obtenu en considérant la moyenne arithmétique des pluviométries annuelles observées à Vélingara et Tambacounda. L'allure de la courbe, tracée à l'estime et passant par les points expérimentaux conduit cependant à une surévaluation des hauteurs d'écoulement en année humide (voir fig 5a). On obtient une allure identique pour la courbe expérimentale reliant les points exprimant le coefficient d'écoulement en fonction de la pluviométrie annuelle moyenne.

Il est en règle générale impossible d'obtenir une corrélation hydro-pluviométrique satisfaisante en se basant sur des données annuelles. En effet les écoulements ne dépendent pas seulement du volume des précipitations mais également de leur distribution dans le temps et du degré de saturation du sol. Il serait peut être possible de définir une relation plus étroite entre précipitations et écoulements mensuel en définissant des coefficients d'écoulement mensuels et en tenant compte des écoulements hypodermiques croissant avec la saturation du sol. La mise au point d'un modèle mathématique " pluie-débit " simplifié et opérant sur une base mensuelle pourrait éventuellement donner des résultats intéressants en dépit de l'éloignement des postes pluviométriques utilisables pour une extension des écoulements.

6.4. Extension de la période d'observation des débits

L'utilisation de la relation hydro-pluviométrique définie ci-dessus introduit dans la séquence des modules supérieurs à 20 m³/s qui paraissent difficilement plausibles. En outre cette relation n'est qu'approximative et ne permet pas un calcul rigoureux. C'est pourquoi il est justifié de chercher à étendre la période d'observation des apports de la Kayanga en recourant uniquement aux corrélations avec les cours d'eau voisins. Les deux corrélations possibles avec la Falémé et avec la Gambie sont d'égale qualité. Nous avons donc déterminé les modules annuels de la Kayanga à partir des 2 relations suivantes :

$$Q_k = 0,0705 Q \text{ Falémé} - 3,98 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

$$Q_k = 0,0450 Q \text{ Gambie} - 4,67 \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

.../...

Les modules ainsi obtenus ont été reportés sur le graphique de la fig 6, dont l'analyse appelle les commentaires suivants :

- L'allure des histogrammes des modules définis à partir de ceux de la Falémé et de la Gambie est semblable à l'exception des années 1961-62 et 1966-67
- La concordance est meilleure pour la période sèche 1968-77 que pour la période précédente. Les écarts exprimés en % sont cependant du même ordre de grandeur
- Pour 5 années de la période de 6 ans de mesures sur la Kayanga, le module observé est encadré par les 2 modules calculés. Seule l'année 1969-70 fait exception
- On peut constater une différence de régime très marquée entre les périodes précédant et suivant le 1er janvier 1968
- Les deux séries de modules annuels ont les caractéristiques statistiques suivantes :

	Série "Falémé"	Série "Gambie"
moyenne	8,55 m ³ /s	7,71 m ³ /s
écart - type	4,90 m ³ /s	5,32 m ³ /s
coef. de var	0,64	0,62

Les moyennes ne diffèrent ainsi que de 10 % et les coefficients de variation sont pratiquement semblables.

En l'absence de critères valables pour choisir l'une ou l'autre série et compte tenu de l'encadrement des valeurs observées par les valeurs calculées, il est justifié de choisir comme modules annuels synthétiques de la Kayanga les moyennes arithmétiques des modules calculés à partir des 2 corrélations utilisées. En tenant compte des modules observés on obtient la séquence suivante de 23 modules annuels :

Kayanga - Pont de Niapo

modules annuels m³/s

1953 - 54	7,50 m ³ /s	1966 - 67	10,45 m ³ /s	
54 - 55	13,25 "	67 - 68	13,59 "	*)
55 - 56	15,65	68 - 69	3,56 "	*)
56 - 57	13,25 "	69 - 70	4,12 "	*)
		70 - 71	4,50 "	*)
59 - 60	11,15 "	71 - 72	4,60 "	
60 - 61	7,95 "	72 - 73	0,70 "	
61 - 62	8,65 "	73 - 74	2,15 "	
62 - 63	13,20 " *)	74 - 75	7,65 "	
63 - 64	9,35 "	75 - 76	5,60 "	
64 - 65	15,35 "	76 - 77	1,65 "	*)
65 - 66	12,15	77 - 78	0,93 "	*)

*) Valeurs observées

Les caractéristiques de cet échantillon sont les suivantes :

moyenne 8,13 m³/s (256,10⁶m³)
 écart type 4,78 "
 coef de var 0,59 "

L'analyse statistique de cet échantillon montre que sa distribution satisfait soit à une loi normale (fig 7) où à une loi log-normale avec une transformation de la forme $\dot{z} = Q + 10 \text{ m}^3/\text{s}$ (fig 8). Les modules de différentes fréquences sont donnés ci-dessous :

	distribution normale	distribution log-normale avec transformation
médiane	8,13 m ³ /s	7,50 m ³ /s
fréquence 1/10 humide	14,25 "	15,0 "
fréquence 1/20 humide	16,0 "	17,5 "
fréquence 1/10 sec	2,0 "	2,25 "
fréquence 1/20 sec	0,25 "	1,20 "

Les deux distributions sont pratiquement identiques pour les modules compris entre les valeurs décennales sèches et humides. En revanche la distribution normale pénalise les extrêmes secs et la distribution log-normale surévalue les extrêmes humides.

Nous proposons cependant de retenir cette dernière car elle est d'usage fréquent en hydrologie de ce type de cours d'eau (distribution assymétrique) qui donne une valeur médiane (fréquence 1/2) inférieure à la moyenne.

Nous proposons de retenir provisoirement les valeurs suivantes :

	Année sèche		médiane	Année humide	
fréquence	1/20	1/10	1/2	1/10	1/20
module m ³ /s	1,20	2,25	7,50	15,0	17,5
apport 10 ⁶ m ³	38	71	237	473	552

La période de 23 ans pour laquelle les apports de la Kayanga ont été définis peut être considérée comme une période normale. En effet les modules moyens de la Falémé et du Sénégal de même que les pluviométries moyennes sont très proches des valeurs correspondant aux moyennes respectives sur toutes les années d'observation disponibles.

	moyenne 23 ans	moyenne longue période
Sénégal à Bakel	752 m ³ /s	748 m ³ /s (75 ans)
Falémé à Kidira	177 m ³ /s	182 m ³ /s (75 ans)
Pluviométrie Kolda	1149 mm	1215 mm (54 ans)
Pluviométrie Tambakounda	872 mm	896 mm (54 ans)

On voit qu'en ce qui concerne les moyennes, cette période de 23 ans peut être considérée comme représentative. Elle contient en revanche une série d'année particulièrement sèche, ce qui peut avoir une incidence sur la définition de la médiane et des valeurs extrêmes. Il faut cependant être conscient que la méthode utilisée et consistant à prendre la moyenne des modules synthétiques définis par 2 voies différentes a réduit les extrêmes (le coefficient de variation de la série moyenne est plus faible que ceux de chaque série). Il est donc justifié de considérer comme représentatif l'échantillon des 23 modules annuels observés et reconstitués.

6.5. Distribution des apports dans l'année

Le régime de la Kayanga est caractérisé par une période de crue débutant en juin au cours de laquelle les débits mensuels augmentent régulièrement pour atteindre leur maximum en septembre - octobre. Ils baissent ensuite régulièrement jusqu'au mois de juin prochain. Les débits d'étiage de décembre à avril sont conditionnés par les apports de la saison des pluies. Les 6 années d'observation des débits de la Kayanga ont permis de mettre en évidence une relation entre l'apport des mois de décembre à avril et l'apport annuel.

Année	Apport annuel		Apport de décembre-avril		
1962 - 63	416	10 ⁶ m ³	38,9	10 ⁶ m ³	9,4 %
1967 - 68	429	"	38,0	"	8,9 %
1968 - 69	112	"	6,0	"	14,3 %
1969 - 70	130	"	16,3	"	12,5 %
1976 - 77	52	"	9,6	"	18,5 %
1977 - 78	29	"	8,3	"	28,6 %

En reportant en coordonnées doubles logarithmiques la relation apports de déc-avril / apport annuel ; on constate que les points observés sont bien alignés (voir fig 8). En utilisant cette relation on peut ainsi estimer les apports de décembre à avril pour les années où l'apport annuel a été déterminé par corrélation.

7. POURSUITE DES ETUDES

7.1. Écoulements / apports

La phase suivante de l'étude consistera à chercher à définir une corrélation pluie/débit sur une base mensuelle, afin de confirmer d'une part l'évaluation des apports annuels à partir des corrélations avec ceux de la Falémé et de la Gambie et d'autre part de préciser la distribution mensuelle des écoulements. On a vu d'autre part que l'apport de décembre à avril était étroitement lié à celui de la saison humide. Il s'agira de préciser cette relation et de définir ensuite celle liant l'apport d'un mois donné à celui du mois précédent ce qui permettra de reconstituer les apports de la saison sèche également.

7.2. Etude des crues

L'analyse préliminaire des hydrogrammes annuels de la Kayanga montre que le régime du cours d'eau est caractérisé par l'absence de crues violentes et de courtes durées. Le débit instantané est à peine supérieur au débit moyen journalier et les variations de ces derniers ne sont pas très marquées. On observe d'autre part en analysant les jaugeages réalisés en hautes eaux que les vitesses d'écoulement moyennes demeurant très faibles, de l'ordre de 0,2 m/s lors des crues les plus importantes observées.

Les maximums annuels définis pour les 6 années d'observation sont les suivants :

1962 - 63	150 m ³ /s	fin septembre	H = 7,20 m
67 - 68	135 m ³ /s	6.10.67	H = 6,80 m
68 - 69	32 m ³ /s	20.9.68	H = 3,88 m
69 - 70	23 m ³ /s	24.9.69	H = 3,45 m
76 - 77	9,6 m ³ /s	6.10.76	H = 3,03 m
77 - 78	6,6 m ³ /s	24.9.77	H = 1,76 m

En 1958 une crue très forte a été observée. D'après un repère marqué sur un arbre par un piroguier elle aurait atteint 8 m à l'échelle et le débit correspondant aurait été de l'ordre de 250-300 m³/s.

Les débits de pointes peu élevés sont dus d'une part à la très faible pente du cours d'eau et d'autre part à l'effet important de rétention qui se produit dans les marigots latéraux en amont.

Etant donné cette caractéristique des crues, la méthode du Gradex pourrait être appliquée aux précipitations et aux débits journaliers extrêmes. Il s'agira cependant de déterminer le coefficient d'abattement à prendre en considération ce qui ne sera pas aisé étant donné la faible densité du réseau pluviométrique existant. On pourra éventuellement analyser les averses tombées sur une zone témoin, mieux équipée en pluviomètres et d'une superficie du même ordre que celle du bassin de la Kayanga. Cette zone devrait être située dans une région à pluviométrie annuelle similaire et l'analyse pourrait donner des éléments d'appréciation suffisants même si elle ne porte que sur un nombre restreint d'averses observées simultanément aux différents postes pluviométriques.

A première vue on peut cependant s'attendre à un débit de crue de projet relativement faible compte tenu de l'étendue du bassin versant. En revanche l'effet d'écrêtement dû à la retenue sera quasi-nul, de sorte que l'évacuateur de crues du barrage devra être dimensionné pour l'évacuation de la pointe de la crue naturelle.

7.3. Débits solides

Des mesures de concentration en sédiments en suspension seront réalisées cet été lors des crues. On peut cependant s'attendre à des concentrations très faibles en raison des facteurs suivants :

- le relief du bassin versant est très peu prononcé et le profil en long du cours d'eau présente une très faible pente.
- le sol est peu ou pas argileux
- la couverture végétale est relativement dense surtout au moment où se produisent les plus fortes averses, à savoir en août-septembre
- les vitesses d'écoulement sont très faibles même lors des crues.

Les mesures de débits solides réalisés sur le fleuve Sénégal ont montré que les concentrations moyennes étaient bien inférieures à 1 g/l. On peut penser qu'elles ne seront pas plus élevées dans la Kayanga et que le problème de l'envasement de la retenue restera très marginal.

Tableau N° 1

Kayanga - Débits mensuels observés.

	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Année
<u>KAYANGA - NIAPPO</u>						<u>1755 km²</u>		<u>m³/s</u>					
1967-68	(1.0)*	2.88	5.71	6.26	30.64	86.03	14.84	5.24	3.30	2.55	1.94	1.42	13.59
68-69	1.17	2.29	3.60	4.52	12.54	9.21	3.15	1.81	1.38	1.12	0.97	0.82	3.56
69-70	0.69	2.30	5.97	4.50	13.44	10.32	5.88	2.05	1.33	1.07	0.96	0.82	4.12
70-71	0.72												
76-77	0.64	0.70	2.11	1.68	4.08	5.52	1.31	0.85	0.76	0.71	0.69	0.67	1.65
77-78	0.61	0.61	1.01	0.84	2.66	1.50	0.73	0.66	0.65	0.63	0.62	0.61	0.93
1962-63	0.7	1.3	5.2	17.8	50	51.5	17.7	5.6	3.7	2.7	1.8*	1.0*	13.2
<u>KAYANGA AVAL (WASSADOU)</u>						<u>2870 km²</u>							
1976-77	0.35	0.43	2.22	2.05	4.82	8.07	2.35	1.23	0.90	0.70	0.58	0.52	2.03
77-78	0.46	0.47	0.88	0.86	3.13	2.32	0.70	0.54	0.53	0.53	0.58	0.64	0.97

* estimée

Tableau N°2

	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	
	CASAMANCE			KOLDA			DEBITS			MENSUELS			M ³ /S
1962-63	0.4	1.4	4.4	8.6	13.9	9.4	4.6	2.3	1.9	1.5	1.0*	0.7*	4.2
1967-68	(0.3)*	0.66	2.42	12.54	33.49	33.03	10.62	4.47	3.03	2.47	1.67	0.97	2.33
68-69	0.62	0.49	1.63	2.51	4.22	7.74	2.16	1.19	0.91	0.68	0.44	0.26	1.96
69-70	0.15	0.16	2.74	9.59	46.52	13.72	5.15	2.53	1.74	1.12	0.79	0.51	7.05
70-71	0.22	1.25	(3.0)*	13.7	10.1	3.36	1.47	0.93	0.67	0.49	0.35	0.17	3.00
71-72	0.07	0.42	6.90	12.0	12.4	6.21	2.15	1.27	0.93	0.54	0.32	0.1	3.60
72-73	0.12	0.15	(1.0)*	4.0	3.2	1.92	0.82	0.43	0.26	0.16	0.09	0.05	1.09
73-74	0.0	0.32	3.04	8.72	8.27	3.12	1.13	0.56	0.34	0.22	0.13	0.05	2.18
74-75	0	0.19	8.65	5.02	8.15	2.96	1.04	0.51	0.31	0.17	0.07	0.03	2.30
75-76	0.02	0.04	1.73	4.53	34.2	12.3	2.66	1.41	0.95	0.62	0.31	0.11	2.89
76-77	0.03	0.09	2.15	5.87	7.59	7.84	2.50	0.85	0.66	0.33	0.26	0.14	2.38
77-78	0.03	0.03	1.04	0.66	2.39	1.40	0.31	0.14	0.07	0.05	0.04	0.02	0.52

TABLEAU N° 4

LE SENEGAL A BAKEL
DEBITS MOYENS MENSUELS
DEBITS EN M³/S

1903-1976

AN	MOIS												MODULE
	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	
1903/1904	10.	120.	746.	1937.	2535.	1060.	476.	202.	124.	74.	40.	15.	611.
1904/1905	10.	29.	682.	2626.	3187.	1113.	583.	272.	144.	86.	50.	22.	733.
1905/1906	10.	235.	919.	2740.	2284.	2381.	1077.	375.	192.	113.	64.	30.	868.
1906/1907	10.	235.	919.	2740.	2284.	2381.	1077.	375.	192.	113.	64.	30.	868.
1907/1908	15.	143.	1121.	5831.	4186.	1607.	825.	465.	250.	140.	80.	40.	1225.
1908/1909	15.	143.	1121.	5831.	4186.	1607.	825.	465.	250.	140.	80.	40.	1225.
1909/1910	10.	120.	403.	905.	2194.	1282.	613.	340.	185.	110.	62.	28.	521.
1910/1911	10.	120.	403.	905.	2194.	1282.	613.	340.	185.	110.	62.	28.	521.
1911/1912	10.	81.	799.	2195.	3691.	1395.	500.	235.	130.	75.	42.	18.	764.
1912/1913	10.	81.	799.	2195.	3691.	1395.	500.	235.	130.	75.	42.	18.	764.
1913/1914	10.	286.	949.	2967.	4144.	1296.	590.	255.	140.	83.	46.	20.	898.
1914/1915	10.	286.	949.	2967.	4144.	1296.	590.	255.	140.	83.	46.	20.	898.
1915/1916	10.	120.	590.	2134.	3004.	1221.	472.	215.	120.	70.	38.	16.	667.
1916/1917	10.	120.	590.	2134.	3004.	1221.	472.	215.	120.	70.	38.	16.	667.
1917/1918	10.	120.	590.	1455.	2439.	930.	431.	220.	125.	72.	38.	16.	537.
1918/1919	10.	120.	590.	1455.	2439.	930.	431.	220.	125.	72.	38.	16.	537.
1919/1920	10.	120.	590.	1425.	2348.	1305.	436.	230.	135.	78.	43.	18.	561.
1920/1921	10.	120.	590.	1425.	2348.	1305.	436.	230.	135.	78.	43.	18.	561.
1921/1922	10.	120.	333.	704.	918.	680.	251.	121.	64.	30.	10.	4.	270.
1922/1923	10.	120.	333.	704.	918.	680.	251.	121.	64.	30.	10.	4.	270.
1923/1924	10.	120.	590.	1328.	1423.	1035.	360.	200.	115.	70.	40.	16.	441.
1924/1925	10.	120.	590.	1328.	1423.	1035.	360.	200.	115.	70.	40.	16.	441.
1925/1926	10.	90.	636.	1896.	2442.	1261.	350.	190.	105.	62.	34.	12.	590.
1926/1927	10.	90.	636.	1896.	2442.	1261.	350.	190.	105.	62.	34.	12.	590.
1927/1928	5.	4.	726.	1782.	3223.	1664.	400.	210.	120.	70.	38.	16.	688.
1928/1929	5.	4.	726.	1782.	3223.	1664.	400.	210.	120.	70.	38.	16.	688.
1929/1930	10.	20.	293.	2130.	3393.	1185.	330.	185.	100.	58.	32.	11.	645.
1930/1931	10.	20.	293.	2130.	3393.	1185.	330.	185.	100.	58.	32.	11.	645.
1931/1932	10.	200.	836.	3447.	5216.	2573.	645.	335.	202.	122.	65.	30.	1140.
1932/1933	10.	200.	836.	3447.	5216.	2573.	645.	335.	202.	122.	65.	30.	1140.
1933/1934	10.	140.	404.	1704.	2261.	1026.	356.	210.	115.	70.	38.	15.	529.
1934/1935	10.	140.	404.	1704.	2261.	1026.	356.	210.	115.	70.	38.	15.	529.
1935/1936	10.	120.	540.	2535.	4252.	1311.	596.	290.	160.	95.	52.	23.	832.
1936/1937	10.	120.	540.	2535.	4252.	1311.	596.	290.	160.	95.	52.	23.	832.
1937/1938	10.	120.	396.	1201.	2100.	736.	270.	150.	90.	50.	26.	10.	429.
1938/1939	10.	120.	396.	1201.	2100.	736.	270.	150.	90.	50.	26.	10.	429.
1939/1940	10.	40.	402.	3213.	6746.	2778.	778.	316.	158.	95.	53.	23.	1217.
1940/1941	10.	40.	402.	3213.	6746.	2778.	778.	316.	158.	95.	53.	23.	1217.
1941/1942	10.	90.	628.	1808.	3764.	1463.	741.	272.	138.	80.	44.	19.	754.
1942/1943	10.	90.	628.	1808.	3764.	1463.	741.	272.	138.	80.	44.	19.	754.
1943/1944	10.	144.	1385.	3973.	5300.	2463.	796.	384.	210.	125.	70.	32.	1241.
1944/1945	10.	144.	1385.	3973.	5300.	2463.	796.	384.	210.	125.	70.	32.	1241.
1945/1946	10.	101.	397.	2280.	3275.	2506.	765.	325.	185.	110.	65.	30.	837.
1946/1947	14.	101.	397.	2280.	3275.	2506.	765.	325.	185.	110.	65.	30.	837.
1947/1948	10.	140.	507.	1607.	1741.	973.	715.	270.	130.	76.	43.	18.	519.
1948/1949	10.	140.	507.	1607.	1741.	973.	715.	270.	130.	76.	43.	18.	519.
1949/1950	10.	120.	777.	2800.	4745.	2743.	878.	380.	205.	120.	70.	32.	1073.
1950/1951	10.	120.	777.	2800.	4745.	2743.	878.	380.	205.	120.	70.	32.	1073.
1951/1952	10.	50.	351.	2973.	4568.	1679.	696.	240.	130.	77.	39.	15.	902.
1952/1953	10.	50.	351.	2973.	4568.	1679.	696.	240.	130.	77.	39.	15.	902.

	P	O		A	S	JIS O		D	J	F	M	A	MODULE
1929/1930	10.	30.		2948.	4399.	1340.	454.	217.	123.	71.	38.	15.	896.
1930/1931	10.	17.		2621.	3412.	1929.	605.	290.	167.	97.	58.	25.	836.
1931/1932	10.	17.	740.	1755.	2715.	2119.	550.	270.	155.	90.	50.	22.	737.
1932/1933	10.	13.	760.	2780.	3181.	1369.	445.	227.	130.	75.	43.	19.	765.
1933/1934	10.	153.	1087.	3302.	3571.	1066.	386.	200.	115.	68.	35.	12.	833.
1934/1935	10.	20.	270.	2339.	3496.	1315.	440.	220.	130.	75.	43.	19.	692.
1935/1936	10.	120.	896.	4269.	4971.	2487.	630.	265.	152.	88.	50.	20.	1163.
1936/1937	10.	85.	599.	4593.	5625.	2261.	707.	334.	172.	105.	62.	25.	1231.
1937/1938	10.	120.	397.	1748.	3108.	1339.	504.	230.	130.	75.	41.	17.	643.
1938/1939	10.	120.	479.	1626.	3595.	1870.	800.	270.	150.	68.	48.	21.	808.
1939/1940	2.	26.	362.	1935.	2089.	1377.	435.	220.	125.	72.	40.	16.	558.
1940/1941	10.	50.	210.	1316.	1343.	1254.	529.	200.	120.	68.	38.	15.	429.
1941/1942	10.	120.	339.	1158.	2115.	740.	247.	130.	75.	44.	19.	7.	417.
1942/1943	10.	120.	385.	1896.	1715.	539.	266.	140.	80.	45.	25.	8.	435.
1943/1944	10.	120.	366.	1867.	2951.	1801.	443.	195.	110.	65.	35.	14.	664.
1944/1945	10.	120.	225.	314.	1444.	663.	339.	160.	95.	55.	28.	10.	330.
1945/1946	10.	120.	396.	3260.	4738.	1909.	464.	195.	110.	65.	35.	14.	943.
1946/1947	10.	120.	362.	2505.	3024.	1819.	580.	238.	130.	75.	41.	17.	743.
1947/1948	10.	120.	343.	1860.	3363.	1509.	397.	180.	105.	60.	32.	12.	665.
1948/1949	5.	31.	591.	1836.	2656.	961.	398.	168.	105.	60.	32.	12.	571.
1949/1950	5.	9.	325.	2052.	1912.	809.	216.	123.	73.	42.	20.	10.	466.
1950/1951	5.	3.	545.	2914.	5891.	3071.	778.	304.	153.	86.	43.	13.	1150.
1951/1952	4.	57.	387.	1418.	2331.	3581.	1455.	423.	214.	125.	64.	27.	840.
1952/1953	5.	22.	524.	1395.	2421.	3126.	597.	246.	134.	71.	37.	17.	716.
1953/1954	3.	101.	788.	1547.	2926.	1236.	464.	219.	140.	81.	41.	13.	629.
1954/1955	12.	253.	963.	3987.	4419.	1655.	681.	396.	197.	116.	68.	42.	1065.

LE SÉRIAL A L

	A	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	MODULE	
1955/1956	2.	207.	512.	3563.	4004.	2615.	770.	347.	203.	119.	69.	34.	1047.
1956/1957	3.	40.	495.	2210.	5237.	2159.	634.	285.	163.	99.	60.	24.	951.
1957/1958	6.	215.	608.	2668.	4227.	2904.	935.	351.	197.	118.	67.	32.	1027.
1958/1959	18.	175.	568.	3985.	4028.	1916.	785.	444.	237.	139.	84.	40.	1034.
1959/1960	19.	164.	585.	2434.	4047.	1242.	489.	223.	126.	76.	42.	17.	788.
1960/1961	3.	82.	769.	1790.	2508.	1301.	504.	213.	120.	75.	41.	16.	620.
1961/1962	4.	102.	701.	2956.	5201.	1360.	458.	207.	121.	74.	40.	12.	943.
1962/1963	3.	85.	511.	2220.	3632.	1820.	594.	262.	138.	86.	43.	18.	767.
1963/1964	8.	7.	473.	1620.	2772.	1968.	636.	230.	129.	72.	36.	14.	665.
1964/1965	3.	171.	602.	1973.	5680.	1989.	550.	285.	166.	105.	58.	26.	969.
1965/1966	4.	70.	486.	5068.	4915.	1844.	618.	258.	147.	94.	59.	19.	966.
1966/1967	11.	55.	373.	1499.	2989.	3404.	765.	512.	170.	113.	68.	20.	814.
1967/1968	9.	76.	576.	2573.	5265.	2551.	708.	314.	193.	113.	64.	20.	1038.
1968/1969	15.	75.	505.	1299.	2437.	1043.	366.	196.	82.	41.	23.	6.	507.
1969/1970	1.	45.	837.	2267.	3916.	2759.	1135.	374.	178.	81.	38.	21.	971.
1970/1971	8.	23.	343.	3029.	3277.	934.	347.	157.	71.	38.	23.	9.	688.
1971/1972	2.	0.	561.	3349.	3393.	986.	318.	137.	60.	34.	20.	7.	738.
1972/1973	1.	58.	349.	979.	1343.	574.	258.	114.	51.	31.	18.	5.	315.
1973/1974	1.	122.	398.	2110.	1757.	574.	212.	72.	38.	26.	15.	4.	444.
1974/1975	0.	2.	739.	3236.	3138.	1320.	370.	142.	59.	34.	14.	4.	754.
1975/1976	1.	0.	552.	1586.	3281.	1158.	382.	149.	62.	34.	14.	2.	601.
1976/1977	1.	0.	432.	1522.	1154.	1102.	572.	272.	112.	48.	20.	0.	470.
1977/1978	1.	2.	229.	862.	1781.	801.	211.	61.	32.	13.	3.	1.	334.
1978/1979	1.	2.	229.	862.	1781.	801.	211.	61.	32.	13.	3.	1.	334.

TABLEAU N°5

LE FALEME A KIDIRA
DEBITS MOYENS MENSUELS
DEBITS EN m³/s

1903-1976

AN	MOIS											A	MODULE
	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M		
1903/1904	0.	24.	189.	535.	594.	178.	81.	28.	15.	7.	3.	1.	137.
1904/1905	0.	6.	170.	739.	805.	194.	105.	42.	18.	9.	4.	1.	174.
1905/1906	0.	47.	240.	773.	513.	585.	217.	61.	26.	12.	6.	2.	206.
1906/1907	0.	29.	299.	1667.	1129.	346.	160.	79.	35.	16.	7.	3.	315.
1907/1908	0.	24.	89.	229.	483.	246.	112.	55.	24.	12.	5.	2.	106.
1908/1909	0.	17.	205.	511.	968.	261.	86.	35.	16.	7.	3.	1.	185.
1909/1910	0.	57.	249.	640.	1115.	251.	106.	38.	17.	8.	4.	1.	223.
1910/1911	0.	24.	143.	593.	746.	228.	80.	31.	14.	7.	3.	1.	155.
1911/1912	0.	24.	143.	392.	563.	138.	70.	32.	15.	7.	3.	1.	115.
1912/1913	0.	24.	143.	383.	533.	253.	71.	34.	16.	8.	3.	1.	122.
1913/1914	0.	24.	68.	170.	70.	61.	29.	13.	5.	1.	0.	0.	36.
1914/1915	0.	24.	143.	353.	234.	170.	54.	28.	13.	7.	3.	1.	85.
1915/1916	0.	18.	157.	523.	564.	240.	52.	26.	12.	6.	2.	0.	133.
1916/1917	0.	1.	183.	489.	817.	304.	63.	30.	14.	7.	3.	1.	164.
1917/1918	0.	4.	56.	592.	872.	216.	47.	25.	11.	5.	2.	0.	152.
1918/1919	0.	40.	215.	962.	1462.	644.	119.	54.	27.	13.	6.	2.	297.
1919/1920	0.	26.	89.	466.	505.	168.	53.	30.	13.	7.	3.	1.	113.
1920/1921	0.	24.	129.	712.	1150.	255.	108.	45.	20.	10.	4.	1.	204.
1921/1922	0.	24.	87.	317.	453.	78.	34.	18.	9.	4.	1.	0.	85.
1922/1923	0.	8.	88.	913.	1958.	707.	149.	50.	20.	10.	4.	1.	325.
1923/1924	0.	18.	155.	497.	992.	302.	141.	42.	17.	8.	3.	1.	181.
1924/1925	0.	29.	376.	1138.	1490.	610.	153.	63.	29.	14.	6.	2.	325.
1925/1926	0.	21.	87.	636.	834.	623.	146.	52.	24.	12.	6.	2.	203.
1926/1927	0.	28.	119.	437.	337.	151.	135.	41.	16.	7.	3.	1.	106.
1927/1928	0.	24.	198.	790.	1310.	696.	172.	62.	28.	13.	6.	2.	275.
1928/1929	0.	10.	73.	642.	1253.	369.	130.	36.	16.	8.	3.	1.	228.

LE FALEME A NILIRA.

AN	F	J	J	A	S	MOIS O	N	D	J	F	M	A	MODULE
1929/1930	0.	60.	224.	634.	1198.	264.	71.	31.	14.	7.	3.	1.	225.
1930/1931	1.	10.	88.	870.	975.	458.	67.	34.	18.	5.	4.	1.	211.
1931/1932	1.	24.	269.	462.	831.	468.	65.	43.	22.	10.	5.	2.	185.
1932/1933	1.	11.	253.	616.	570.	320.	59.	28.	14.	7.	3.	1.	156.
1933/1934	1.	112.	404.	1259.	722.	202.	55.	26.	14.	7.	3.	1.	233.
1934/1935	1.	24.	82.	939.	917.	229.	66.	29.	13.	7.	3.	1.	192.
1935/1936	1.	24.	255.	1423.	1491.	636.	127.	55.	27.	14.	6.	2.	338.
1936/1937	1.	30.	101.	1078.	1480.	542.	196.	52.	23.	12.	6.	2.	294.
1937/1938	1.	24.	114.	453.	950.	261.	136.	37.	17.	9.	4.	1.	167.
1938/1939	1.	24.	103.	417.	1107.	482.	375.	69.	29.	15.	7.	2.	219.
1939/1940	1.	24.	86.	637.	526.	325.	59.	28.	14.	7.	3.	1.	142.
1940/1941	1.	24.	90.	341.	218.	401.	147.	38.	18.	9.	4.	1.	107.
1941/1942	1.	24.	116.	328.	583.	169.	39.	19.	8.	5.	2.	1.	107.
1942/1943	1.	24.	50.	528.	332.	64.	25.	13.	6.	4.	2.	1.	87.
1943/1944	0.	24.	78.	514.	729.	406.	73.	27.	12.	6.	2.	1.	156.
1944/1945	1.	24.	50.	153.	338.	136.	57.	23.	11.	6.	2.	1.	66.
1945/1946	0.	24.	87.	926.	1308.	439.	78.	27.	12.	6.	2.	1.	242.
1946/1947	1.	24.	100.	738.	831.	402.	59.	27.	13.	7.	3.	1.	183.
1947/1948	0.	24.	71.	512.	862.	316.	63.	24.	12.	5.	2.	0.	157.
1948/1949	0.	7.	144.	505.	633.	147.	63.	22.	12.	5.	2.	0.	128.
1949/1950	0.	2.	66.	569.	392.	101.	22.	13.	6.	3.	1.	0.	97.
1950/1951	0.	1.	130.	624.	1681.	797.	149.	48.	19.	9.	3.	1.	305.
1951/1952	1.	5.	64.	327.	693.	1341.	301.	76.	34.	14.	6.	2.	238.
1952/1953	1.	1.	133.	401.	792.	1096.	132.	49.	23.	9.	4.	1.	220.
1953/1954	1.	9.	44.	357.	725.	214.	70.	28.	13.	8.	3.	1.	131.
1954/1955	1.	60.	253.	1123.	1189.	289.	126.	60.	29.	13.	7.	3.	262.

LE TABLEAU

				S				J	F	M	A	MOULE	
												273.	
1955/1956	1.	43.	100.	122.	1032.	472.	126.	55.	26.	13.	7.	3.	256.
1956/1957	1.	19.	137.	501.	1700.	500.	97.	43.	20.	9.	4.	2.	230.
1957/1958	1.	49.	122.	735.	1141.	500.	129.	52.	23.	10.	4.	3.	216.
1958/1959	1.	33.	131.	590.	795.	370.	143.	80.	29.	12.	7.	1.	203.
1959/1960	1.	18.	73.	635.	1118.	242.	71.	34.	16.	8.	4.	1.	145.
1960/1961	1.	7.	191.	351.	625.	250.	70.	30.	14.	6.	3.		
													246.
1961/1962	1.	35.	188.	700.	1709.	200.	81.	25.	11.	5.	2.	1.	219.
1962/1963	1.	24.	122.	746.	1245.	324.	110.	35.	16.	7.	3.	1.	164.
1963/1964	1.	1.	170.	524.	746.	595.	53.	31.	13.	6.	2.	2.	270.
1964/1965	1.	41.	180.	714.	1005.	329.	53.	44.	19.	9.	5.	3.	267.
1965/1966	1.	10.	89.	1146.	1308.	455.	124.	40.	23.	12.	5.	3.	279.
1966/1967	1.	5.	65.	505.	902.	1622.	154.	50.	25.	12.	7.	3.	268.
1967/1968	1.	43.	110.	517.	1544.	744.	139.	61.	30.	16.	0.	0.	72.
1968/1969	0.	2.	84.	159.	378.	180.	46.	12.	5.	0.	0.	0.	165.
1969/1970	0.	6.	161.	469.	631.	461.	173.	53.	25.	9.	1.	0.	128.
1970/1971	0.	0.	71.	713.	556.	122.	50.	16.	10.	0.	0.	0.	
													150.
1971/1972	0.	0.	107.	810.	651.	159.	48.	17.	5.	0.	0.	0.	44.
1972/1973	0.	0.	47.	206.	208.	28.	31.	11.	3.	2.	1.	0.	77.
1973/1974	0.	12.	40.	432.	321.	86.	15.	4.	0.	0.	0.	0.	164.
1974/1975	0.	0.	225.	867.	573.	230.	53.	16.	4.	0.	0.	0.	141.
1975/1976	0.	1.	132.	431.	836.	208.	59.	18.	5.	2.	0.	0.	744
1976/1977	0.	0.	110.	253.	177.	152.	120.	200.	71.	10.	10.	1.	185.
1977/1978	0.	22.	140.	653.	672.	365.	99.	37.	16.	7.	3.		
1978/1979	0.	0.4	23.6	125	410	184	31	9,2	3,8	1,0	0	0	65,7
1977-1978	0	0.4	23.6	125	410	184	31	9,2	3,8	1,0	0	0	65,7

PRECIPITATIONS ANNUELLES

(ANNÉE HYDROLOGIQUE)

	277 VELINGARA	133 KOLDA	253 TAMBAKOUNDA	127 KEDOUGOU	KOUNKANDE	KEREVANE (mai - oct)
1922-23		962	607	1301		
23-24		1024	1004	1327		
24-25		1403	787	1404		
25-26		1171	690	1344		
26-27		1248		1908		
27-28		1518	699	1528		
28-29		1331	911	1547		
29-30		1391		1649		
30-31		926	990	1308		
31-32			476	1032		
32-33	1066	1090	1077	830		
33-34		1530	1043	1322		
34-35	2305	1071	1053	1349		
35-36	1056	1459	1243	1340		
36-37	1219	1364	1088	1347		
37-38	791	999	1168	1316		
38-39	864	974	930	1502		
39-40	1141	1086	846	1528		
40-41	1152	1150	1095	1179		
41-42	1291	1063	940	1155		
42-43	1100	1017	894	984		
43-44	1136	1558	1114	1274		
44-45	897	1028	726	1092		
45-46	947	1071	852	1180		
46-47	1133	1378	978	1097		
47-48	1105	1187	899	1048		
48-49	972		797	1207		
49-50	901	1029	640	1141		
50-51	1223	1544	1118	1229		
51-52	1428	1438	977	1485		
52-53	1163	1372	989	1231		
53-54	984	1360	832	1196		
54-55	803	1226	928	2191		
55-56	1228	1290	946	1231		
56-57	963	1220	1223	1070		
57-58	1419	1629	965	1539		
58-59		2152	756			
59-60		1139	866			
60-61		1116	809			
61-62		1214	848			
62-63	1056	1216	827	1444		
63-64	1002	1464	992	1375		
64-65	1487	1225	1246	1362		
65-66	924	1178	1110	1379	997	
66-67	1035	1147	1083	1446	1011	
67-68	1113	1226	793	1131	1139	
68-69	807	753	755	1141	787	
69-70	863	1410	816	1336	993	
70-71	774	1046	537	1093	914	
71-72	811	1383	988	1179	1046	810
72-73	700	873	633	977	814	621
73-74	870	1172	718	1211	828	743
74-75	704	1019	943	1296	868	613
75-76	1053	1189	895	1293	1273	1136
76-77	814	918	665	1102	835	774
77-78	585	649	602	1109		

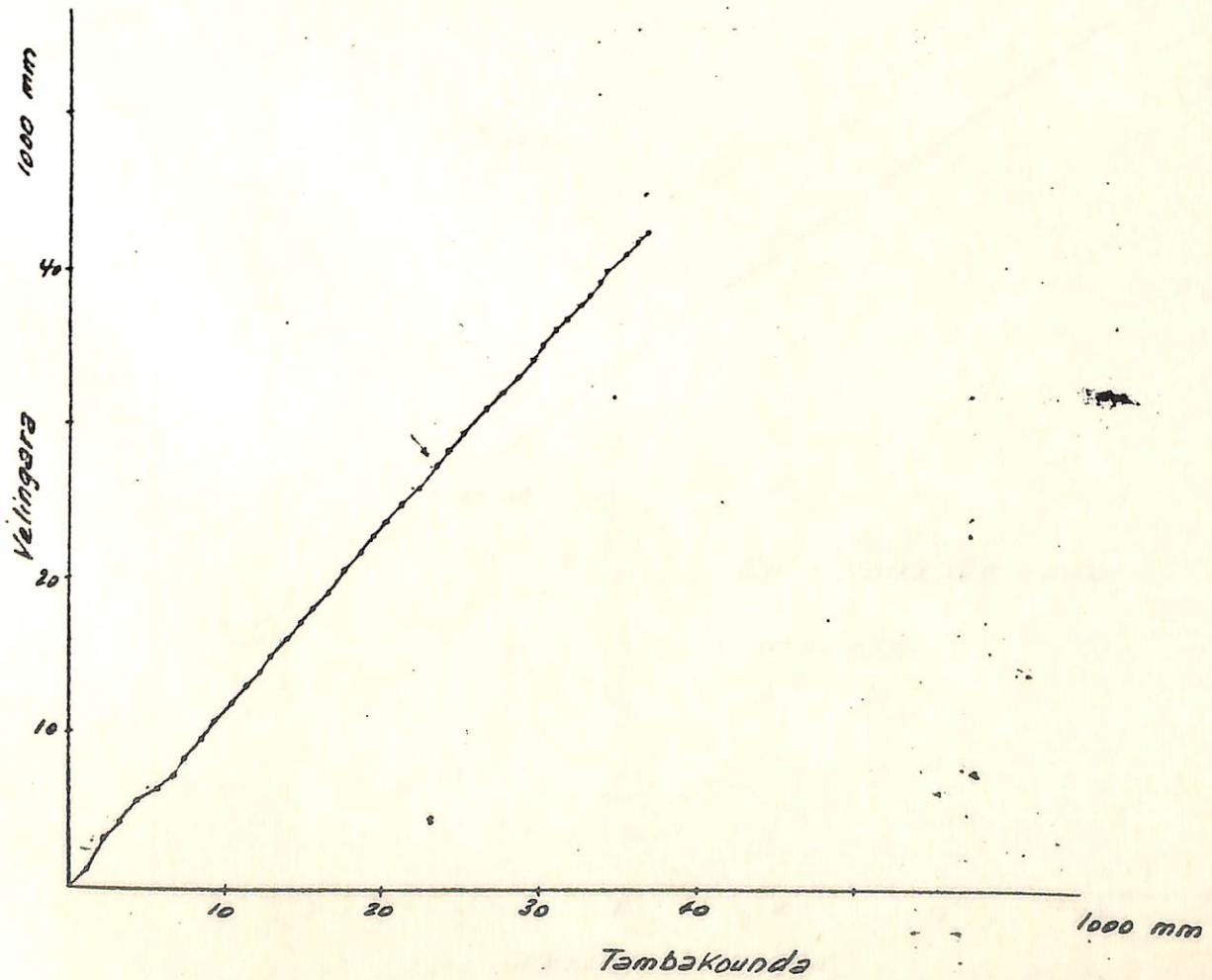
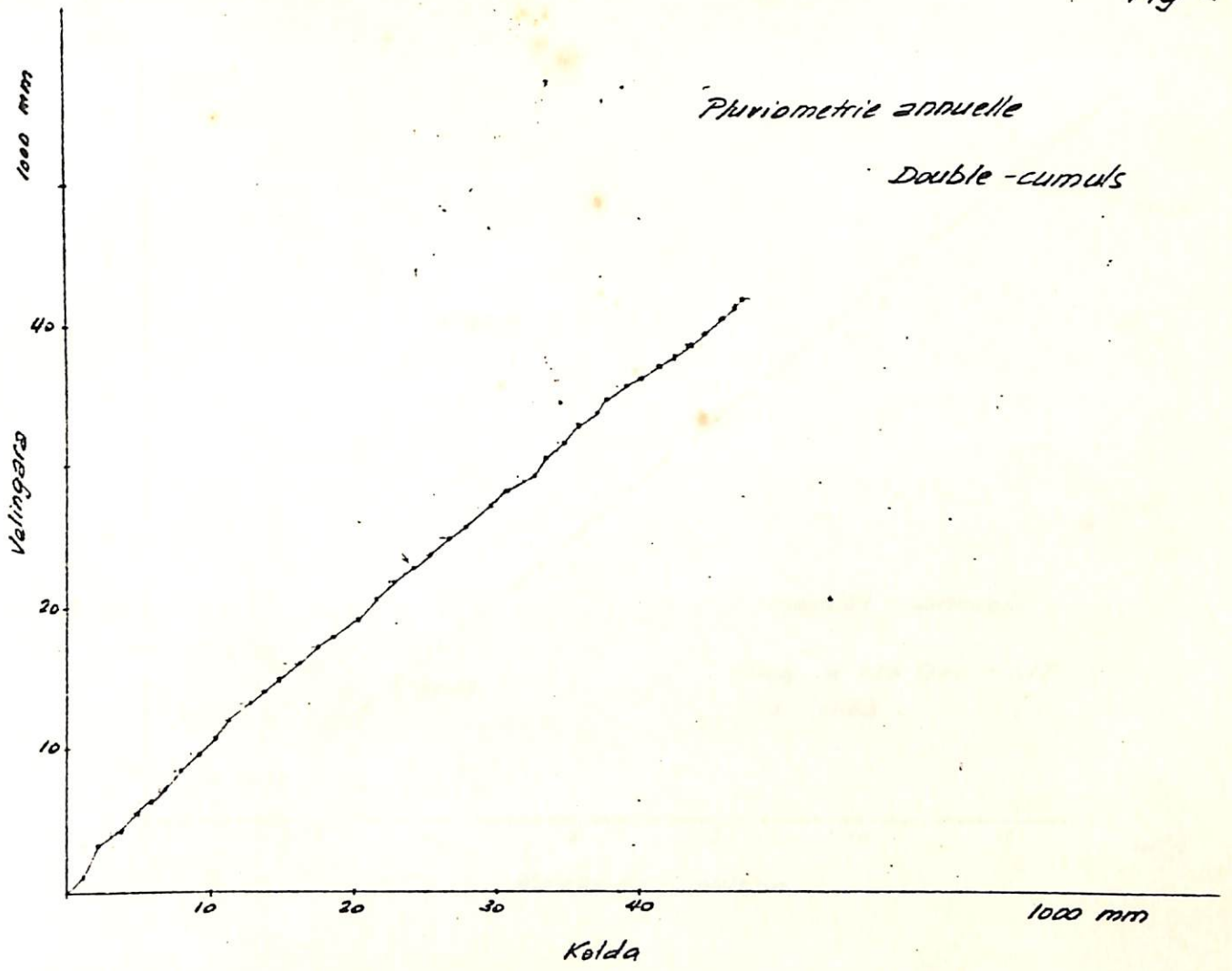


Fig 2a

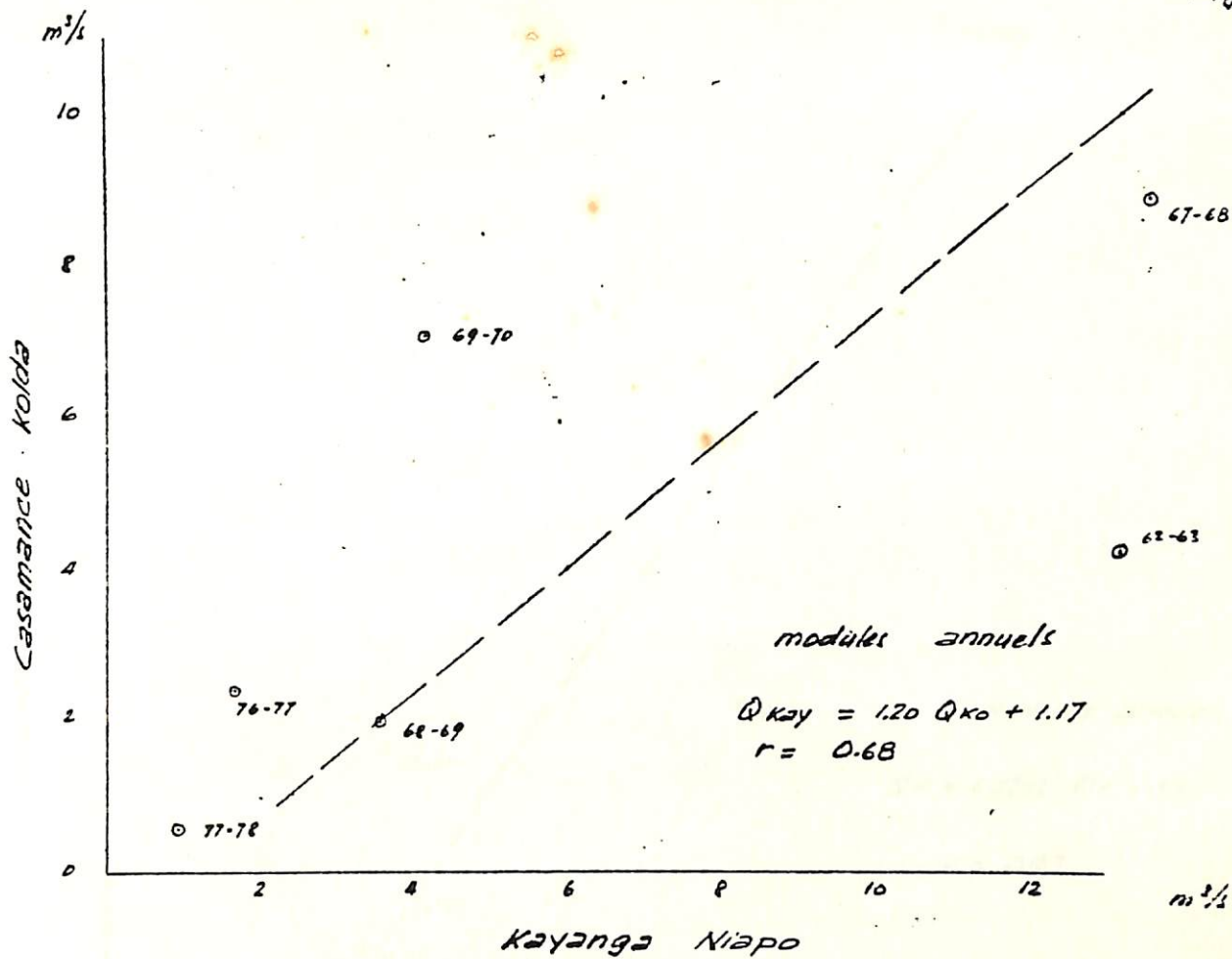
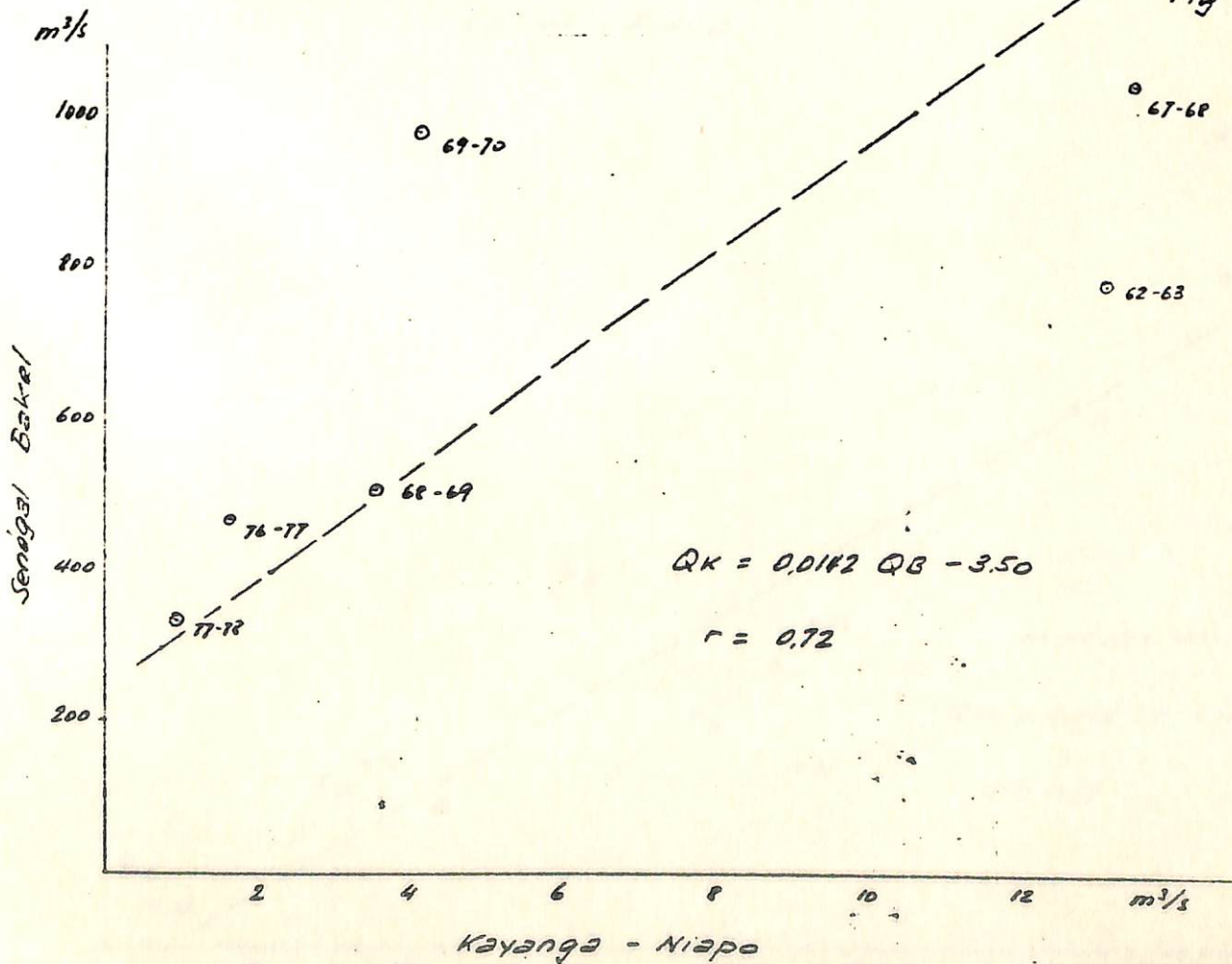


Fig 2b



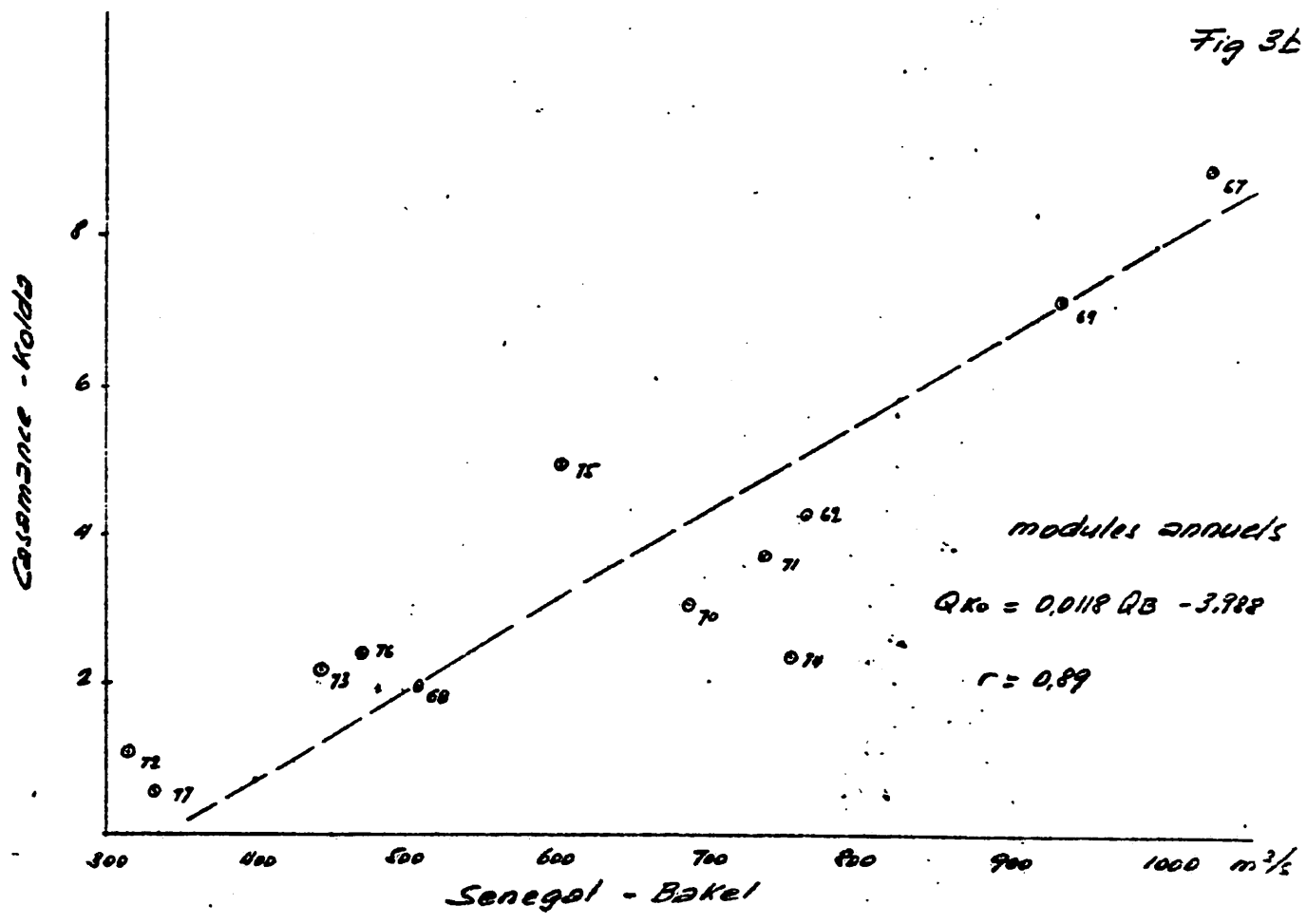
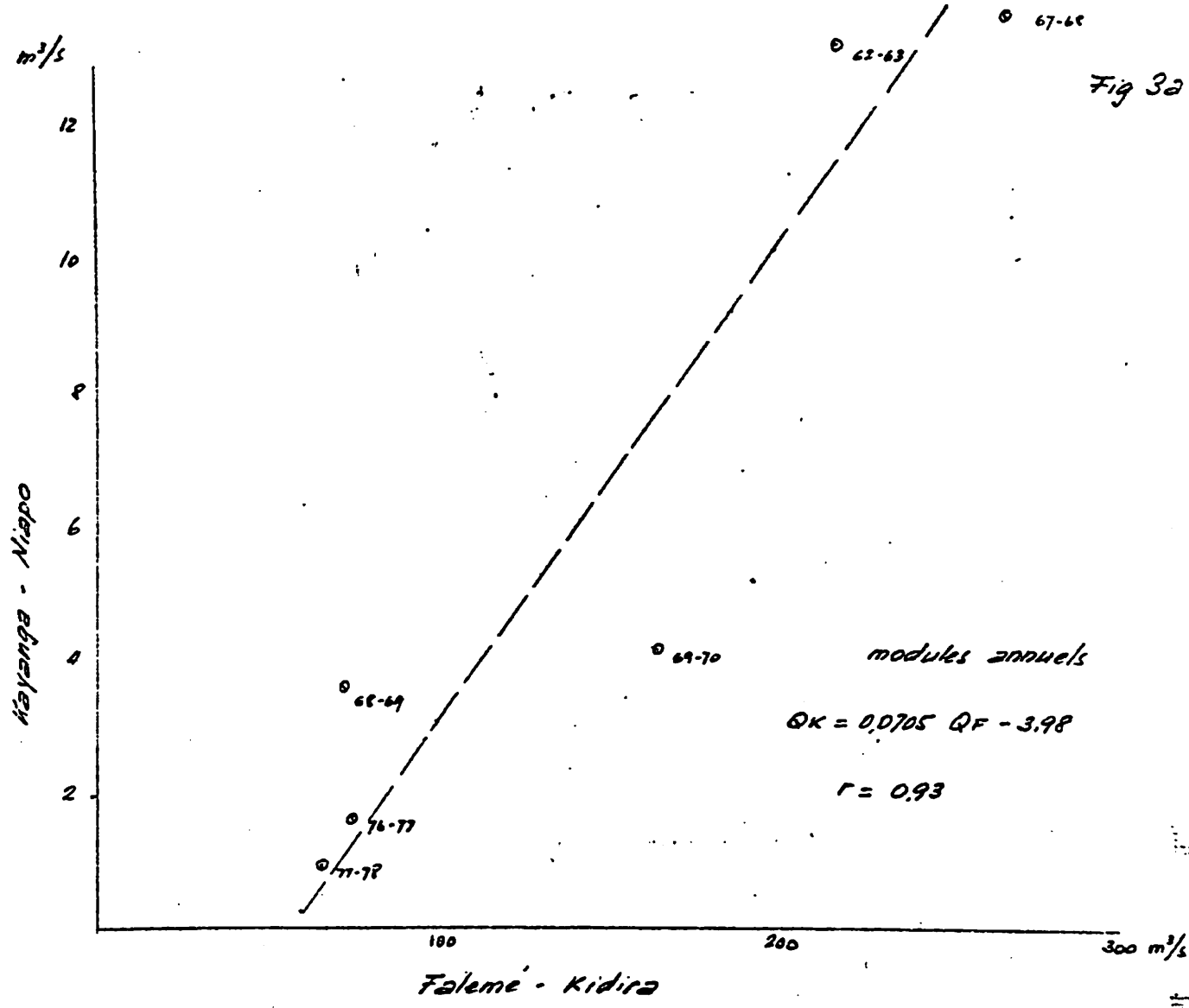


Fig 4a

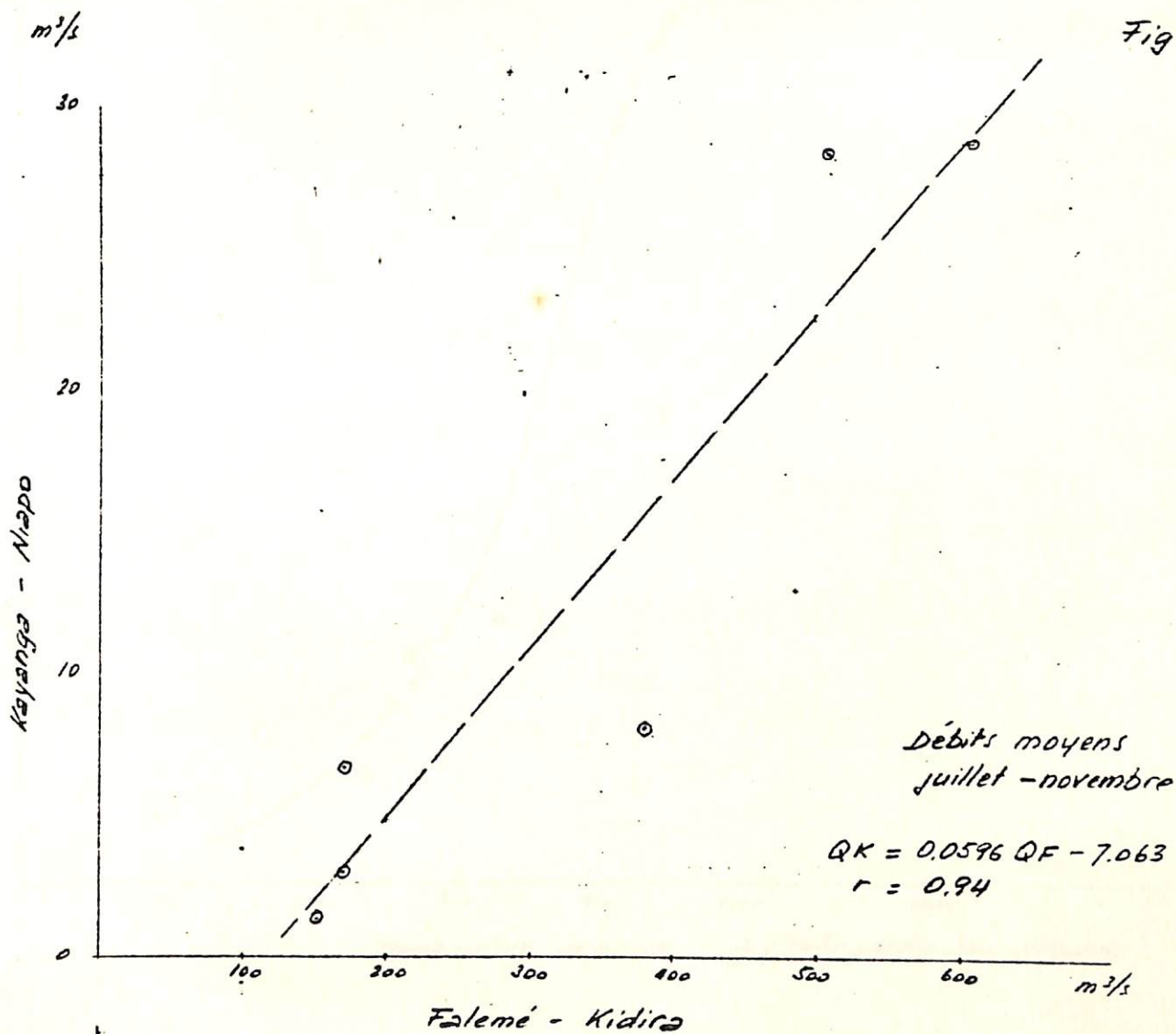


Fig 4b

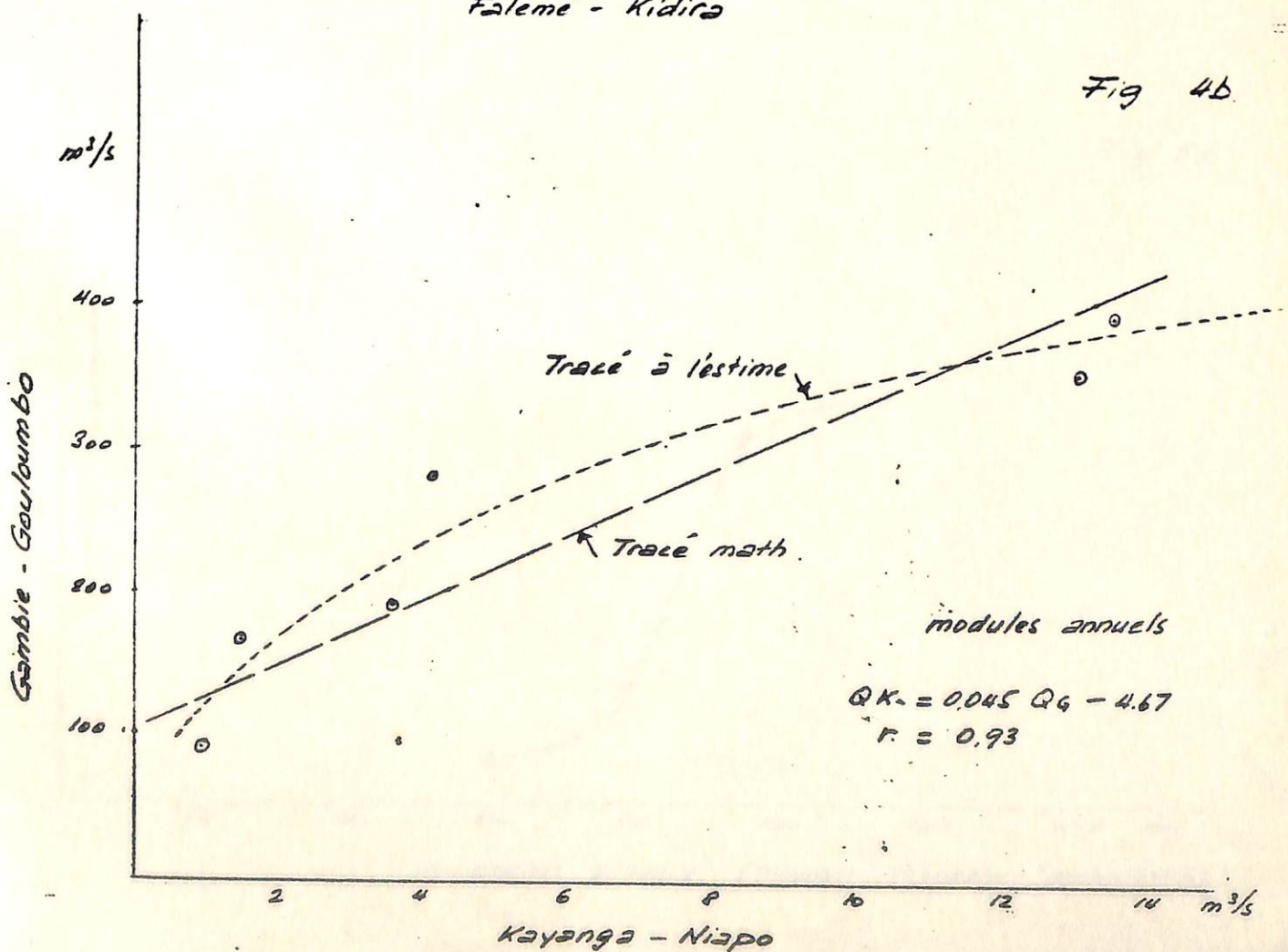


Fig 5a

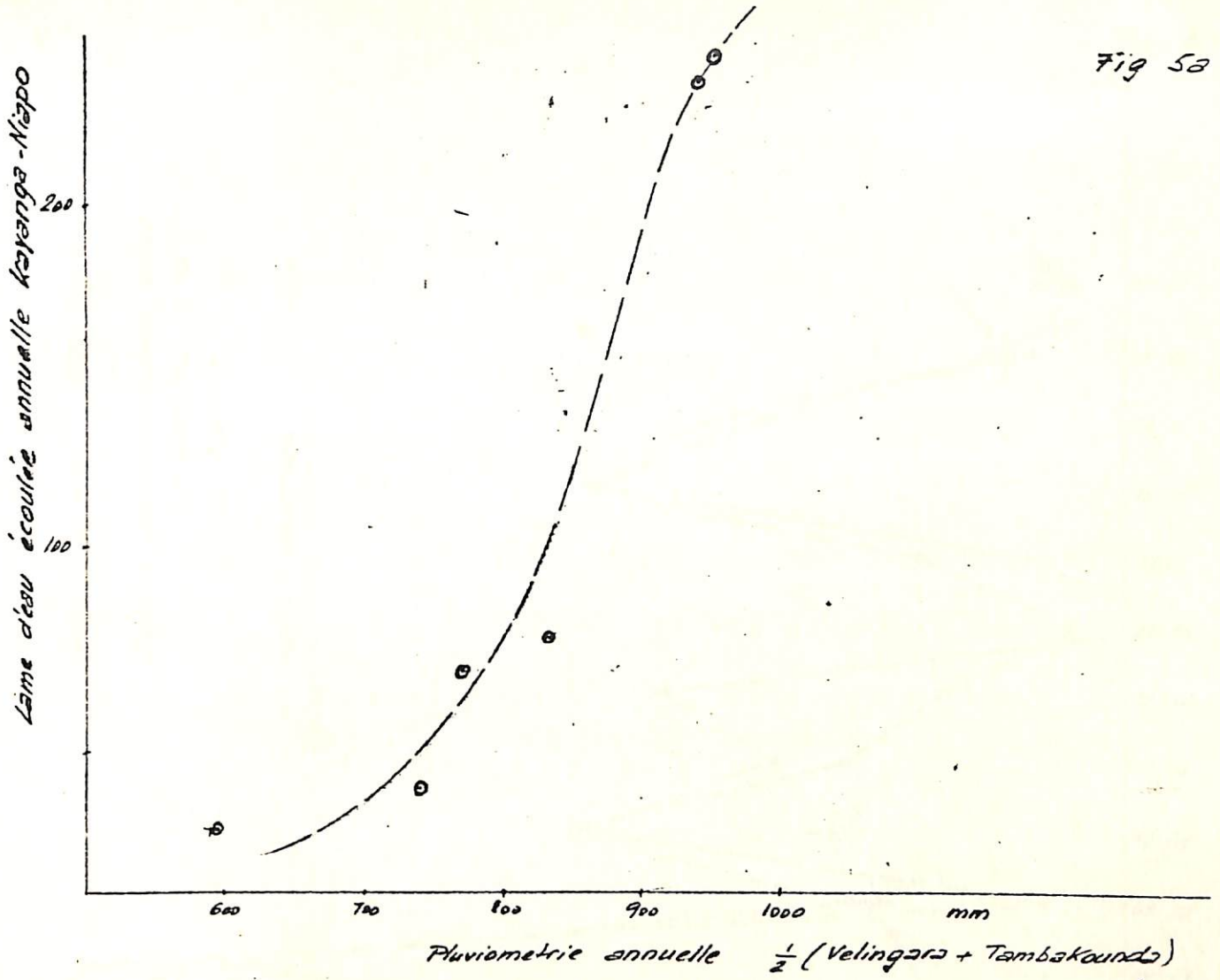
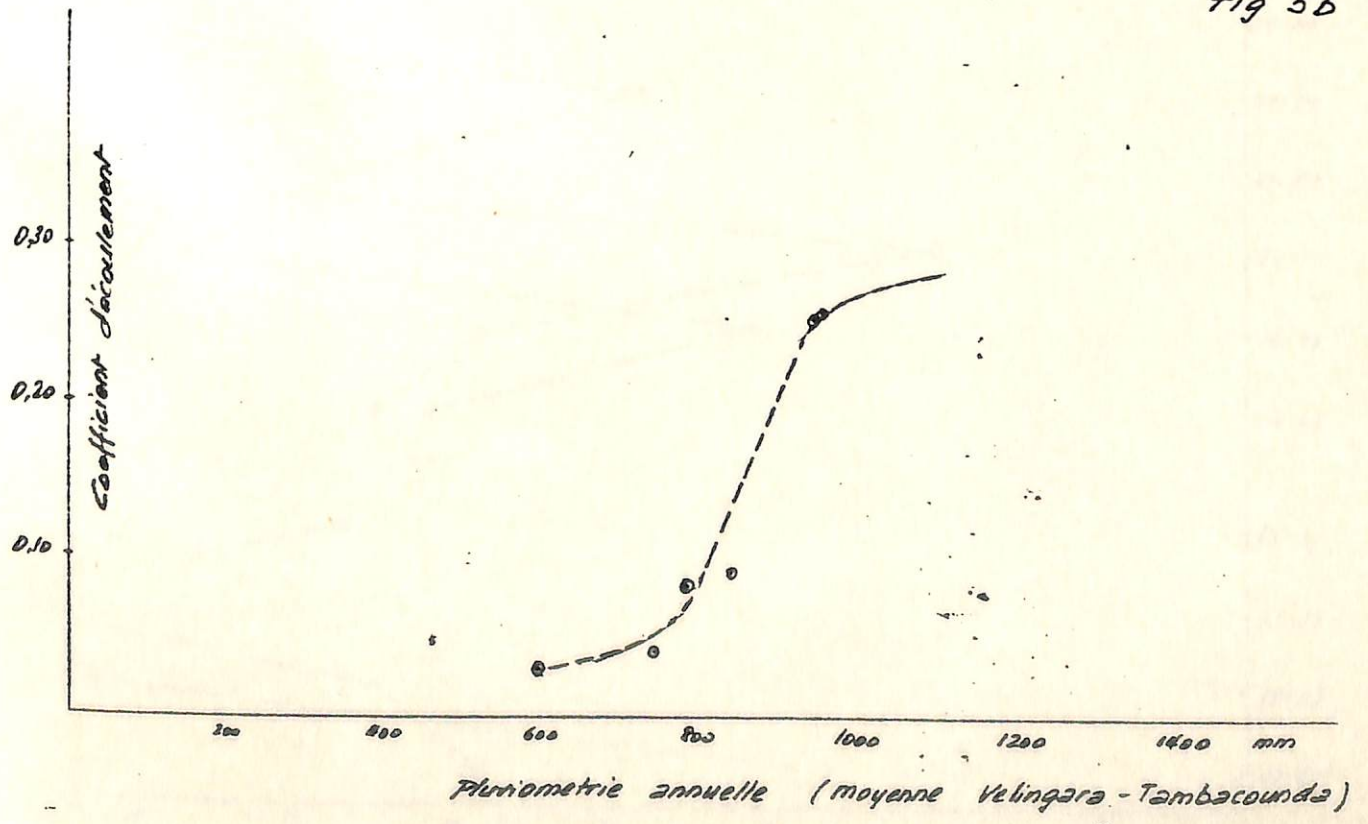


Fig 5b



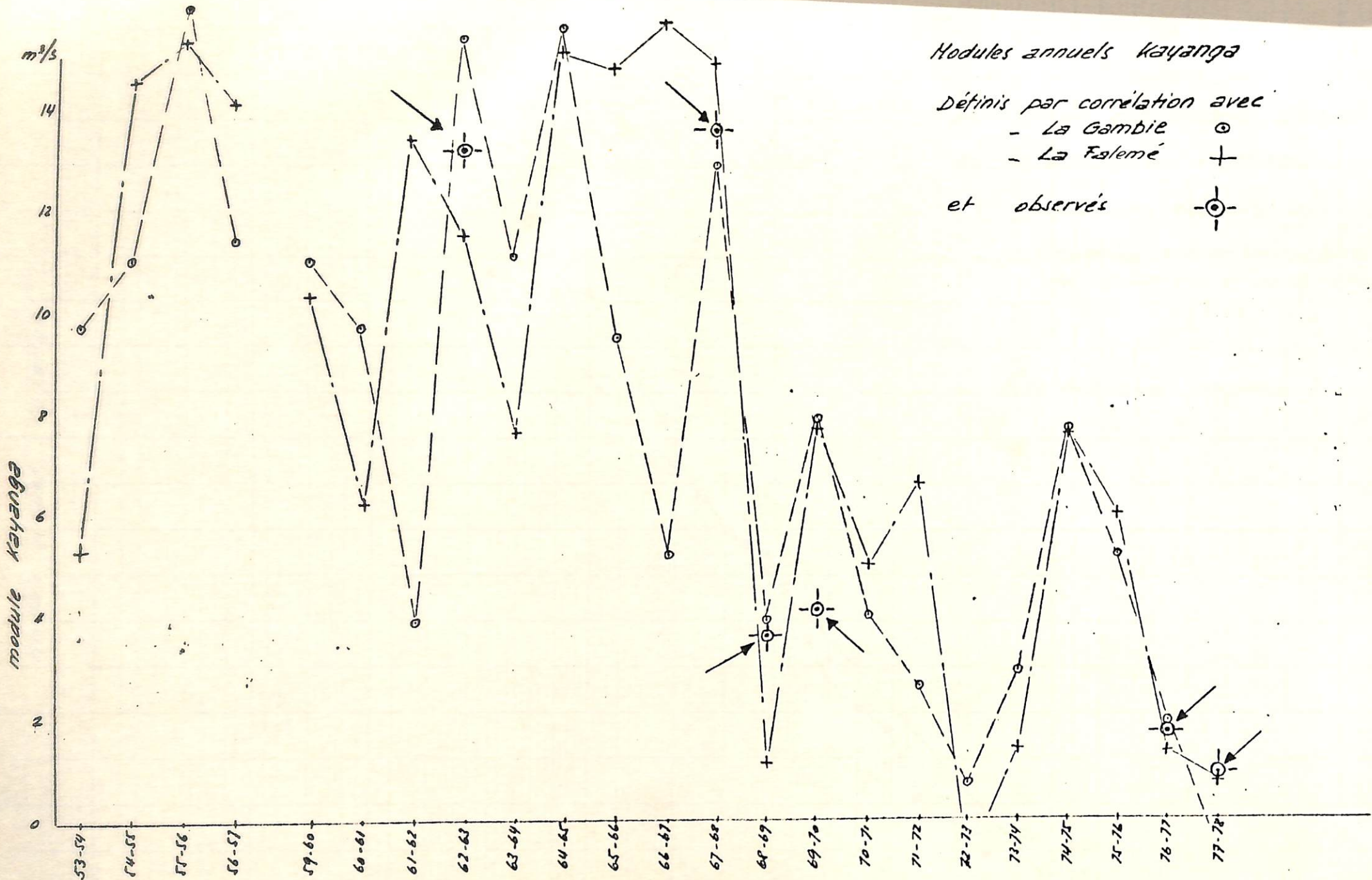
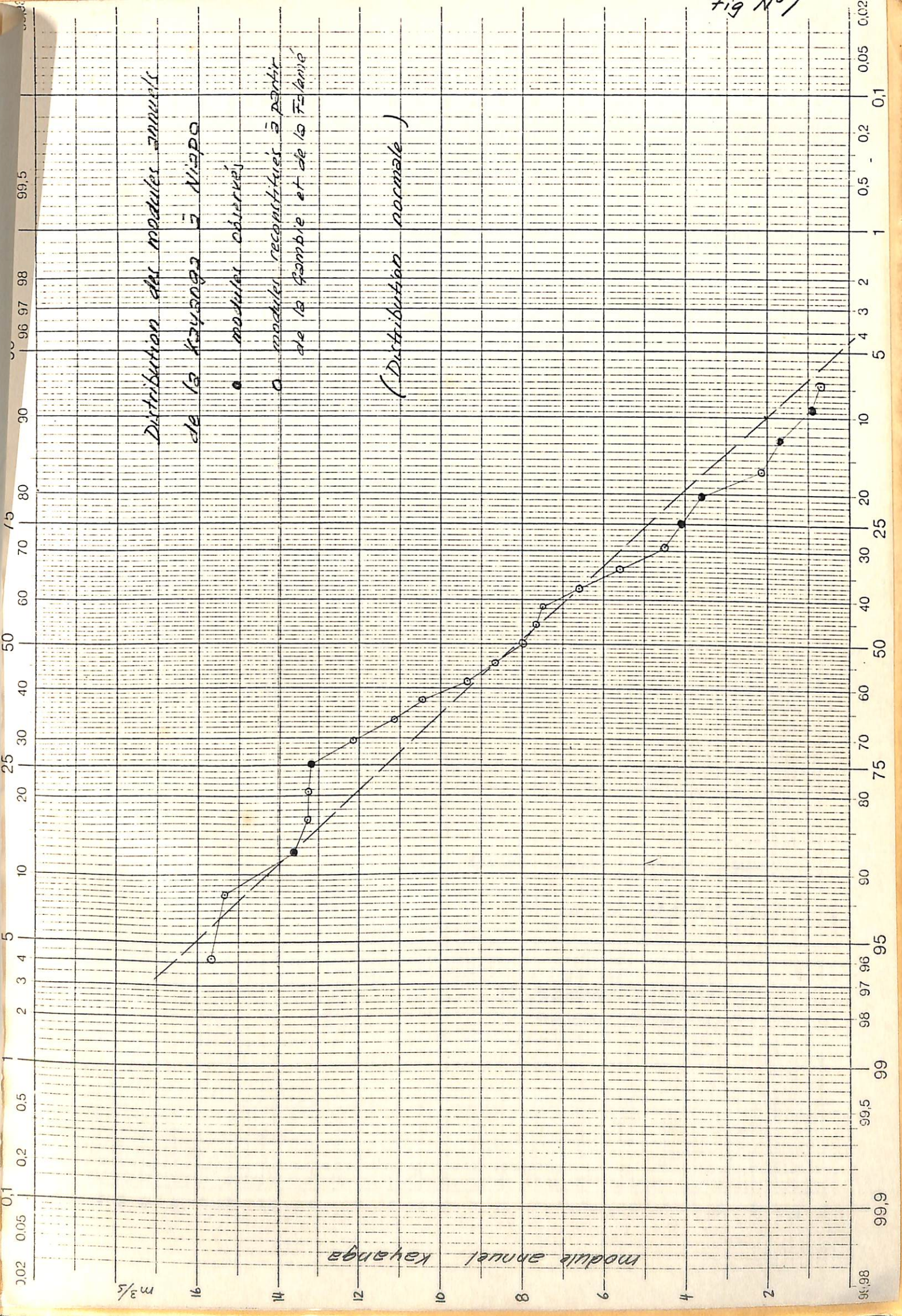
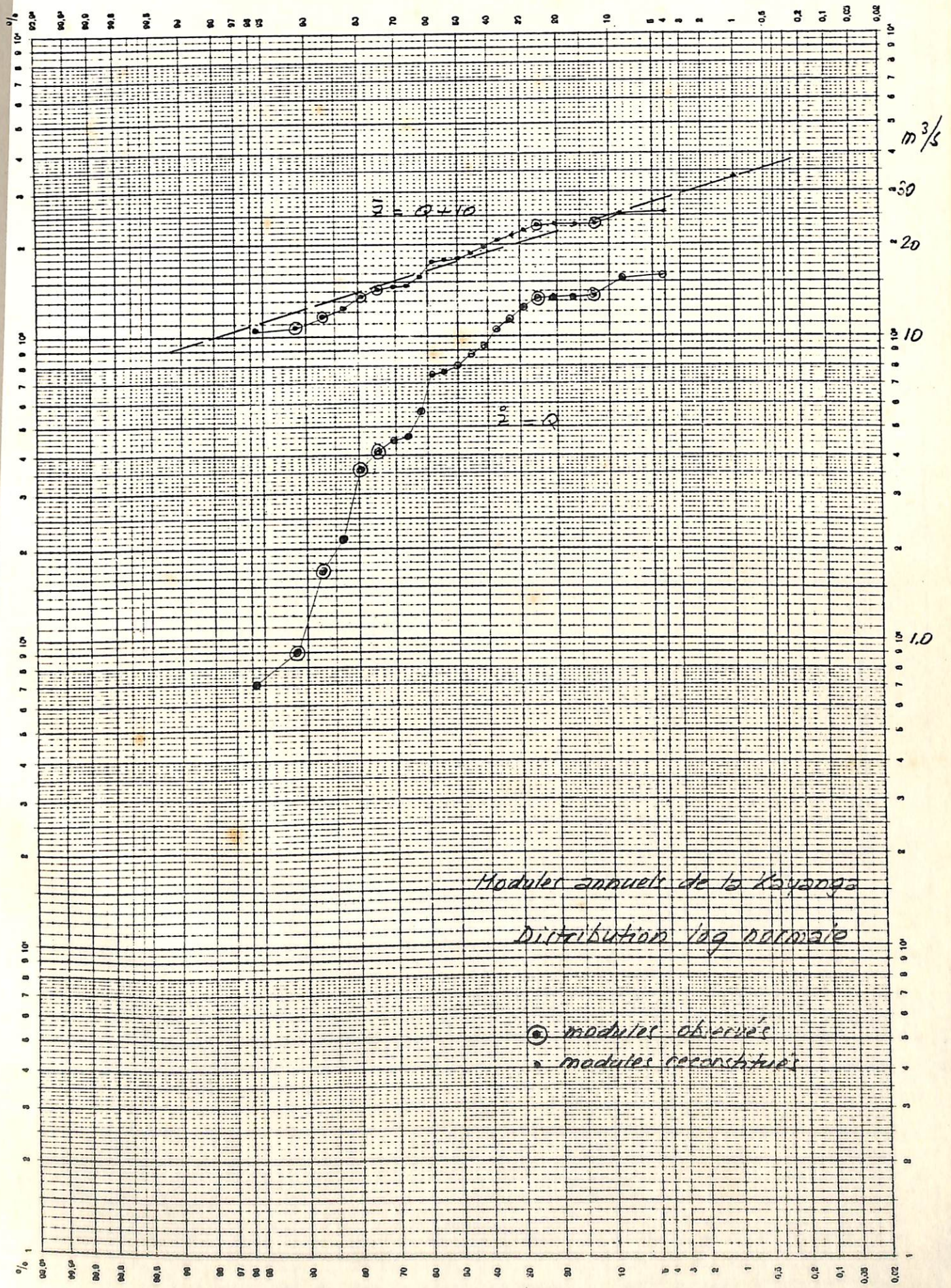


Fig 6

Distribution des modules annuels
 de la Kayanga à Niépo
 • modules observés
 ○ modules reconstitués à partir
 de la Gambie et de la Fslanie
 (Distribution normale)





40 $10^6 m^3$

Aport de decembre-avril en $10^6 m^3$

Kayanga - Niaba

Aport de decembre-avril
en fonction de l'apport annuel

Fig 8

Aport annuel en $10^6 m^3$

10¹
9
8
7
6
5
4
3
2
1

1
2
3
4
5
6
7
8
9
100
1000
m³/an

