

17.300 SOD

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

SOCIETE DE DEVELOPPEMENT AGRICOLE ET INDUSTRIEL

S O D A G R I

A M E N A G E M E N T D U B A S S I N D E L ' A N A M B E

ETUDES SECTORIELLES ET DE CONCEPTION

2. HYDROLOGIE ET CLIMATOLOGIE

M I N U T E

17.300 SOD

ELECTROWATT INGENIEURS-CONSEIL, S.A.

ZURICH - DAKAR

: C1.130-1979



TABLE DES MATIERES

		Page
1.	INTRODUCTION	2 - 1
2.	GENERALITES	2 - 2
2.1.	Description du bassin	2 - 2
2.2.	Caractéristiques climatologiques	2 - 3
3.	DONNEES DE BASES	2 - 4
3.1.	Etudes antérieures	2 - 4
3.2.	Données hydrométriques	2 - 5
3.3.	Données météorologiques	2 - 10
3.3.1.	Réseau d'observation	2 - 10
3.3.2.	Données disponibles	2 - 12
3.4.	Débits solides	2 - 14
3.5.	Qualités des données	2 - 14
3.5.1.	Hydrométrie	2 - 14
3.5.2.	Météorologie	2 - 15
4.	HYDROLOGIE DE LA KAYANGA	2 - 17
4.1.	Evaluation des apports naturels	2 - 17
4.1.1.	Méthodologie	2 - 17
4.1.2.	Extension des apports annuels	2 - 18
4.1.3.	Distribution annuelle des apports	2 - 20
4.1.4.	Analyse	2 - 22
4.2.	Evaluation des crues de la Kayanga	2 - 26
4.2.1.	Analyse des crues observées	2 - 26
4.2.2.	Définition des crues de dimensionnement	2 - 30
4.3.	Transports solides	2 - 36
4.4.	Résumé et conclusions	2 - 37
5.	HYDROLOGIE DE L'ANAMBE	2 - 40
5.1.	Données disponibles	2 - 40
5.2.	Evaluation des apports	2 - 42
5.3.	Evaluation des crues	2 - 45

TABLE DES MATIERES

	Page
6. ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE REGIONALE	2 - 47
6.1. Généralités	2 - 47
6.2. Analyse des précipitations mensuelles	2 - 47
6.3. Analyse des précipitations décadaires	2 - 48
6.4. Relation intensité - fréquence - durée	2 - 49
6.5. Début et fin de l'hivernage - périodes de sècheresse	2 - 50
6.6. Pluviométrie sur le bassin de l'Anambé et distribution spatiale	2 - 52
7. AUTRES CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES	2 - 56
7.1. Températures	2 - 56
7.2. Humidité relative	2 - 56
7.3. Vitesse du vent et insolation	2 - 56
7.4. Evaporation	2 - 56

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	2 - 1	DEBITS MENSUELS DE LA KAYANGA OBSERVES AU PONT DE NIAPO ET AU PONT DE WASSADOU
Tableau	2 - 2	DEBITS MENSUELS DE LA CASAMANCE A KOLDA
Tableau	2 - 3	MODULES ANNUELS DE LA GAMBIE, DE LA FALEME ET DU SENEGAL
Tableau	2 - 4	PLUVIOMETRIE ANNUELLE A DIFFERENTES STATIONS
Tableau	2 - 5	TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES A DIFFERENTES STATIONS
Tableau	2 - 6	HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR
Tableau	2 - 7	VITESSE DU VENT ET INSOLATION A DIFFERENTES STATIONS
Tableau	2 - 8	EVAPORATION
Tableau	2 - 9	DEBITS MENSUELS DE LA KAYANGA A NIAPO
Tableau	2 - 10	COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT POUR DIFFERENTS BASSINS VERSANTS EN CASAMANCE
Tableau	2 - 11	PRECIPITATIONS MENSUELLES ATTEINTES OU DEPASSEES EN N % DES ANNEES OBSERVEES
Tableau	2 - 12	PRECIPITATIONS DECADAIRES ATTEINTES OU DEPASSEES EN N % DES ANNEES OBSERVEES
Tableau	2 - 13	PRECIPITATIONS MENSUELLES A VELINGARA 1919 - 1979

LISTE DES FIGURES

Figure 2 - 1	SITUATION CASAMANCE - GAMBIE
Figure 2 - 2a	LIMNIGRAMME PONT NIAPO 1967 - 1968
Figure 2 - 2b	LIMNIGRAMME PONT NIAPO 1968 - 1969
Figure 2 - 2c	LIMNIGRAMME PONT NIAPO 1969 - 1970
Figure 2 - 2d	LIMNIGRAMME PONT NIAPO 1976 - 1977 + WASSADOU
Figure 2 - 2e	LIMNIGRAMME PONT NIAPO 1977 - 1978 + WASSADOU
Figure 2 - 2f	LIMNIGRAMME PONT NIAPO 1978 + WASSADOU
Figure 2 - 3	COURBE TARAGE NIAPO
Figure 2 - 4	CORRELATION KAYANGA-FALEME
Figure 2 - 5	KAYANGA - NIAPO : APPORT DE DECEMBRE A AVRIL EN FONCTION DE L'APPORT ANNUEL (fig. 8 rapport juillet 19
Figure 2 - 6	KAYANGA - NIAPO, HYDROGRAMMES OBSERVES ET SIMULES
Figure 2 - 7	APPORTS ANNUELS KAYANGA : DISTRIBUTION SELON LOI NORMALE
Figure 2 - 8	APPORTS ANNUELS KAYANGA : DISTRIBUTION SELON LOI LOG NOR
Figure 2 - 9	APPORTS ANNUELS KAYANGA : MOYENNES GLISSANTES DE 5 ANS
Figure 2 - 10	PLUVIOMETRIE ANNUELLE A KOLDA : MOYENNES GLISSANTES DE 5
Figure 2 - 11	HYDROGRAMMES OBSERVES ET SYNTHETIQUES
Figure 2 - 12	EVALUATION DES VOLUMES DES CRUES
Figure 2 - 13	COURBES INTENSITE-DUREE POUR DIFFERENTES FREQUENCES EXTREMES (VELINGARA ET KOLDA)
Figure 2 - 14	EVALUATION DU VOLUME DES CRUES DE LA KAYANGA PAR LA METHODE DU GRADEX
Figure 2 - 15	KAYANGA - HYDROGRAMMES SYNTHETIQUES DE CRUES
Figure 2 - 16	COEFFICIENTS D'ECOULEMENT ANNUELS DE LA KAYANGA ET DE L'ANAMBE
Figure 2 - 17	DISTRIBUTION DES PRECIPITATIONS MENSUELLES EN MM
Figure 2 - 18	REPARTITION DES PRECIPITATIONS MENSUELLES EN %
Figure 2 - 19	DISTRIBUTION DES PRECIPITATIONS DECAIRES EN %
Figure 2 - 20	COURBES "INTENSITE-DUREE" POUR LES FREQUENCES ELEVEES
Figure 2 - 21	COURBES "INTENSITE-DUREE"
Figure 2 - 22	DEBUT ET FIN DE LA SAISON DES PLUIES
Figure 2 - 23	PROBABILITE DES PERIODES DE SECHERESSE DURANT L'HIVERNA

1. INTRODUCTION

Le mandat d'étude confié à Electrowatt Ingénieurs-Conseils S.A. par la Société de Développement Agricole et Industriel (Sodagri) et concernant l'élaboration du projet d'exécution de l'aménagement hydro-agricole du bassin de l'Anambé, comporte plusieurs phases successives dont la première est consacrée aux études sectorielles et de conception. Les études hydrologiques et climatologiques font partie de ces dernières.

Les objectifs spécifiques des études hydrologiques et climatologiques sont les suivants :

- Evaluation des ressources en eau de surface disponible et susceptible d'être régularisée dans un réservoir créé par la construction d'un barrage sur la Kayanga.
- Définition des critères de dimensionnement de ce barrage et en particulier des caractéristiques de la crue du projet et de l'importance des débits solides.
- Analyse du régime hydrologique de l'Anambé.
- Définition des paramètres météorologiques nécessaires à l'évaluation des besoins en eau d'irrigation et en particulier analyse du régime des précipitations régionales.

Le présent rapport met un terme aux investigations et études réalisées dans les domaines hydrologique et climatologique. Il décrit les méthodologies utilisées et définit les éléments de base nécessaires à la poursuite des études

2. GENERALITES

2.1. Description du bassin

La région étudiée comprend essentiellement deux bassins, à savoir celui de la Kayanga et celui de son affluent principal l'Anambé. Ces deux bassins sont situés au sud du Sénégal entre la Gambie au nord et la Guinée Bissau au sud. Ils sont limités à l'est par le bassin du Koulounto, affluent du fleuve Gambie, et à l'ouest par celui de la Casamance (voir fig. 2-1) :

La Kayanga prend sa source en Guinée dans des marécages situés au pied ouest Djallon où elle réunit plusieurs marigots à la cote 80 IGN environ. Elle s'écoule en direction du nord-ouest et pénètre au Sénégal après quelques kilomètres. Elle infléchit son cours en direction ouest 40 kilomètres plus loin puis en direction sud, 50 kilomètres plus loin avant de pénétrer en Guinée Bissau où elle prend le nom de Rio Geba. La longueur totale du cours d'eau est d'environ 335 km et son profil en long peut être schématisé de la façon suivante :

Tronçon	Longueur (km)	Cote (IGN) (m)	Pente (‰)
Source		80	
Vélingara-Pakane	50	28	1,04
Pont de Niapo	45	17	0,24
Missira	50	11,8	0,10
Estuaire	190	0,0	0,06

Le bassin versant de la Kayanga au pont de Niapo, peu avant la confluence de l'Anambé s'étend sur 1755 km². Il est recouvert de savane à faible densité de boisement sauf le long du cours d'eau où s'est formée une forêt-galerie.

L'Anambé est l'affluent principal de la Kayanga et draine un bassin versant de 1100 km² situé sur rive droite de cette dernière. L'Anambé rejoint la Kayanga 500 m environ en aval du pont de Niapo. Le bassin de l'Anambé est de forme approximativement circulaire dont la ligne de crête est située à la cote 70 IGN environ. Il est drainé par un réseau de marigots à lits très larges et peu marqués dont la pente est de l'ordre de 2 à 3 ‰. Le fond

de la cuvette est régulièrement inondé car d'une part la capacité du cours inférieur de l'Anambé n'est pas suffisante pour l'évacuation des débits et d'autre part le lit de la Kayanga en aval de la confluence n'a pas une pente et une capacité suffisantes. La couverture du bassin de l'Anambé est composée essentiellement de savane plus ou moins boisée. Les lits majeurs des marigots sont utilisés en général pour la culture du riz pendant la saison des pluies.

2.2. Caractéristiques climatologiques

La région étudiée est située à la limite des climats soudanien et soudano-guinéen et les caractéristiques principales en sont les suivantes :

- Pluviométrie : une saison pluvieuse - l'hivernage - de juin à octobre, suivie de 7 à 8 mois de saison sèche. La pluviométrie annuelle diminue du sud vers le nord avec un gradient de l'ordre de 3 mm/km. Elle est de l'ordre de 1040 mm à Vélingara.
- Température : la température atteint son maximum en mai, peu avant le début de l'hivernage et son minimum en janvier. A Bassé qui est la station météorologique la plus proche de la zone du projet, les températures moyennes journalières varient entre 32,3° et 24,7°.
- Humidité relative : l'humidité relative atteint son maximum en septembre (80 % à Bassé) et son minimum en janvier (31 % à Bassé).

Les vents sont en général modérés, les vitesses observées à Bassé étant de l'ordre de 2 m/s.

3. DONNEES DE BASES

3.1. Etudes antérieures

L'hydrologie et la climatologie de la partie méridionale du Sénégal et de la Casamance en particulier ont fait l'objet de plusieurs études soit pour elles-mêmes, soit dans le cadre d'études de développement agricole. Ces études sont mentionnées dans la liste bibliographique donnée à la fin du présent rapport et les plus importantes sont brièvement décrites ci-après :

- Etude GERCA (Groupement d'études rurales en Casamance)
Campagne hydrologique 1962 - SCET/ILACO avril 1963 -
Cette étude concerne les bassins de la Gambie, de la Kayanga, de l'Anambé et de la Casamance ainsi que 2 petits bassins expérimentaux dans la cuvette de l'Anambé à savoir les marigots de Goundaga (17,4 km²) et de Lebal (47 km²). Cette étude est basée essentiellement sur les observations réalisées pendant l'hivernage 1962.
- Etude hydrologique de la Casamance - ORSTOM 1967/70/71
(Brunet - Moret et Chouret)
L'étude 1967 concerne essentiellement le régime de la Basse Casamance et des bassins des marigots de Diango, Badiouré, Diorono et Bounkili.
Celle de 1970 est consacrée aux régimes de la Haute Casamance à Kolda et de la Kayanga au pont de Niapo. L'étude de 1971 concerne les mesures d'étiage en Casamance.
- Etude SENERIZ - Projet d'aménagement hydro-agricole du bassin de l'Anambé - Sodagri, septembre 1977.
Cette étude est consacrée à une évaluation préliminaire des ressources en eau de surface des bassins de la Kayanga et de l'Anambé ainsi qu'à celle des paramètres climatiques intéressant l'étude du développement hydro-agricole de la région.
- Rapport SOMIVAC (Société de mise en valeur agricole de la Casamance) 1979. Etude climatologique et hydrologique. Cette étude analyse les

données climatologiques disponibles en Basse et Haute Casamance et décrit les régimes hydrologiques de la Casamance et de ses affluents ainsi que celui de la Kayanga.

3.2. Données hydrométriques

Le réseau hydrométrique dans la région intéressée par le projet, à savoir les bassins de la Kayanga et de l'Anambé comprend les stations suivantes pour lesquelles des données sont disponibles :

- Kayanga	: pont de Niapo	bassin versant	1755 km ²
- Kayanga	: pont de Wassadou	"	2870 km ²
- Anambé	: Kounkané	"	1100 km ²

Kayanga - Pont de Niapo.

Cette station contrôle un bassin versant de 1755 km² et est située au pont de l'ancienne piste reliant Kounkané à Wassadou. Elle a été mise en service en 1962 par la SCET et comportait alors une batterie d'échelle de 8 éléments. Les lectures n'ont cependant été réalisées que durant l'hivernage 1962. La station a été réactivée par ORSTOM en 1967 qui a installé un limnigraphe enregistreur OTT- X le 9.06.67. Ce dernier a été submergé et mis hors service lors d'une crue et a été déplacé en rive droite en février 1968 où il a fonctionné jusqu'en juin 1970. Les mesures ont été alors interrompues jusqu'en mai 1976 où une nouvelle batterie d'échelles a été mise en place par ORSTOM. Un limnigraphe à pression type Neyrpic a été installé en février 1977 mais n'a été mis en service qu'en mai 1977. Le zéro de l'échelle du pont de Niapo a été rattaché au système général IGN en mai 1979, il est à la cote 15,92 m IGN.

La station est bien située, le pont permet la réalisation de jaugeages de bonne qualité. Les jaugeages réalisés par ORSTOM entre 1976 et 1979 sont bien groupés et permettent la définition d'une courbe de tarage fiable pour cette période. Cette courbe diffère cependant de celle définie par ORSTOM pour la période 1967-1970 (voir fig. 2-3) en ce qui concerne les débits inférieurs à 20 m³/s environ. Ceci est dû vraisemblablement au rétrécissement du lit plus en aval du fait de la construction du pont de la nouvelle route reliant

Koukané à Wassadou. La section de jaugeage comprend un chenal de basse eau de 12 m de largeur et d'une profondeur maximum de 1,90 pour une hauteur d'échelle de 0,80 m. Le lit s'évase ensuite sur une largeur de 60 m à la cote 7,00 m échelle. Le bourrelet de berge est peu prononcé et à la cote 8,00 m échelle. La zone d'inondation s'étend sur plus de 2 km avec des profondeurs maximums de l'ordre de 1,0 m. La végétation est relativement dense dans la zone d'inondation (hautes herbes, buissons et arbres). Le lit mineur, en dehors du chenal de basse eau, est couvert par une forêt-galerie dont les frondaisons se rejoignent d'une rive à l'autre.

La pente moyenne de la ligne d'eau de la Kayanga au Pont de Niapo est de l'ordre de 5 cm/km et les vitesses moyennes d'écoulement pour les hauteurs d'échelle comprises entre 0,8 et 3,9 m sont de l'ordre de 0,2 m/s.

Les courbes de tarage pour les périodes 1967-70 et 1976-78 ont été tracées sur la base respectivement de 85 et 13 jaugeages au moulinet, le débit maximum mesuré étant 29,5 m³/s pour une hauteur d'échelle de 3,88 m. L'extrapolation a été faite en utilisant les superficies des surfaces mouillées et en extrapolant les vitesses d'écoulement de 0,22 m/s pour H = 4,00 m à 0,38 m/s pour H = 8,00. Il faut relever que cette extrapolation est contredite par le jaugeage réalisé par SCET en 1962 et qui donnait un débit de 57,2 m³/s pour H = 7,06 m. La vitesse moyenne de 0,15 m/s qui en résulte semble cependant sous-estimée même si le jaugeage a été fait en période de décrue. En revanche, pour des débits inférieurs à 10 m³/s, les jaugeages ORSTOM 1967-70 confirment ceux réalisés par SCET en 1962.

Il n'a pas été possible jusqu'à présent à ORSTOM de confirmer par des jaugeages en hautes eaux la validité de l'extrapolation proposée de la courbe de tarage pour des débits supérieurs à 40 m³/s. Néanmoins, l'hypothèse faite relative à l'augmentation des vitesses d'écoulement paraît raisonnable même si elle semble être contredite par les jaugeages réalisés en 1962 où les conditions d'écoulement dans la zone d'inondation étaient peut-être différentes. En outre, cette extrapolation n'influence que faiblement la définition des apports mensuels et annuels, les hauteurs d'eau n'ayant que très rarement excédé 4,0 m à l'échelle les années où les enregistrements des niveaux d'eau

sont disponibles.

C'est la raison pour laquelle les apports journaliers définis sur la base des courbes de tarage ORSTOM ont été admis comme valable pour les années 1967-68 à 1969-70 et 1976-77 à 1978, de même que les apports mensuels définis par SCET pour 1962. En revanche les débits de pointe de crues ont été calculés systématiquement sur la base de l'extrapolation de la courbe de tarage ORSTOM qui donne les débits les plus élevés.

Les apports mensuels et annuels observés au Pont de Niapo sont donnés dans le tableau 2-1 et les histogrammes des débits et niveaux observés sont donnés aux figures 2-2a à 2-2f.

Kayanga - Pont de Wassadou.

Cette station qui comprend une échelle de 8 m de hauteur et un limnigraphe à flotteur placé contre une pile du pont de la nouvelle route reliant Kounkané à Wassadou, a été mise en service le 25 avril 1976. Elle contrôle un bassin versant de 2870 km². Le zéro de l'échelle a été rattaché au système général IGN en mai 1979. Il est situé à la cote 13,91 m IGN. Une quinzaine de jaugeages au moulinet ont été réalisés, le débit le plus élevé étant de 9,3 m³/s. ORSTOM a pu sur cette base tracer une courbe de tarage provisoire pour des hauteurs d'échelle inférieures à 3,0 m.

Le lit paraît stable, mais 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 calculés à Wassadou par l'ORSTOM sont légèrement inférieurs à ceux calculés au pont de Niapo.

Les apports mensuels et annuels observés sont récapitulés dans le tableau 2-1 et les histogrammes des débits et niveaux observés sont donnés dans les figures 2-2d à 2-2f.

Anambé - station de Kounkané.

La station est située au pont routier, sur la route reliant Vélingara à

Kolda. Le cours d'eau draine à cet endroit un bassin versant de 1100 km². Un limnigraphe à flotteur a été installé le 24 juillet 1977, comportant une gaine PVC verticale de 250 mm scellée au sol et fixée par des colliers le long de la culée rive gauche du pont. Une échelle limnimétrique en 5 éléments complète l'installation. Le zéro de l'échelle a été rattaché au système général IGN en mai 1979, il serait à la cote 16,60 IGN. Jusqu'en septembre 1978 aucun écoulement n'a été enregistré, de sorte qu'aucun jaugeage n'a pu être réalisé.

Lors de la campagne de mesure réalisée par SCET en 1962, dans le cadre des études GERCA, des échelles limnimétriques ont été placées au bord de différents marigots dans la cuvette de l'Anambé et lues régulièrement, ce qui a permis de déterminer pour différents niveaux d'eau atteints, le tracé de la ligne d'eau le long de l'Anambé.

Kayanga à Vélingara - Pakane.

Une batterie d'échelle limnimétrique a été installée en 1962 par la SCET. La surface du bassin versant contrôlée par cette station est de 700 km². Les niveaux d'eau ont été régulièrement relevés durant l'hivernage 1962 mais aucun jaugeage n'a été réalisé de sorte que la relation hauteur-débit n'a pu être définie.

Au printemps 1977, ORSTOM a tenté de réactiver cette station en remettant en place les éléments d'échelle qui avaient disparus en se basant sur 2 éléments de l'échelle originale. Malheureusement l'accès à cette station est très difficile en saison des pluies et les lectures ont été interrompues.

En dehors de la zone intéressée par le projet, le réseau hydrométrique en Casamance comprend actuellement les stations suivantes qui peuvent fournir des éléments d'appréciation des écoulements en fonction des surfaces et des caractéristiques morphologiques des bassins versants respectifs :

Casamance - Kolda.

La station est située au pont de la route Kolda-Ziguinchor et elle contrôle

un bassin versant de 3 700 km². Une échelle, mise en place en 1962 par la SCET, a été remplacée par l'ORSTOM en 1967 et doublée par un limnigraphe OTT-X mis en service en janvier 1970. 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 très faible pente 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 apports de la Casamance à Kolda telle qu'elle figure dans le tableau 2-2 ne peut donc qu'être approximative en dépit du nombre important de jaugeages réalisés.

Casamance - Fafakourou.

La station est située au pont de la route Vélingara-Kolda. Elle contrôle un bassin versant de 700 km² et elle a été mise en service par ORSTOM en 1968. Les mesures ont été interrompues entre avril 1970 et mai 1974.

En outre, différents marigots, affluents de la Casamance sont équipés d'échelles limnimétriques. Les données recueillies sont cependant d'un intérêt secondaire dans le cadre de la présente étude.

Comme les observations hydrométriques en Casamance ne s'étendent au maximum que sur une dizaine d'années, des séries de mesures plus longues ont été recherchées en dehors de la région, susceptibles de présenter des caractéristiques similaires.

Gambie - Gouloumbo.

Le bassin versant de la Gambie jouxte celui de la Kayanga sur son flanc est et est soumis à des conditions climatiques similaires. La station de Gouloumbo contrôle un bassin versant de 42 000 km² et l'on dispose, à cette station, d'une séquence de 23 modules annuels. Il faut cependant relever que ce n'est qu'à partir de 1971 que les observations sont continues. Avant cette date, les lectures d'échelle n'étaient réalisées qu'en hivernage et encore de façon discontinue. ORSTOM est cependant parvenu, en se basant sur l'analyse des courbes de récession et l'allure des histogrammes, à reconstituer les données manquantes et à définir ainsi les modules annuels pour la période antérieure

à 1971. La liste des modules annuels des 23 années est donnée dans le tableau 2-3.

Falémé - Kidira.

La Falémé est un affluent rive gauche du Sénégal qui prend sa source à la même latitude que la Kayanga et la Gambie, bien que plus à l'est. Les conditions climatologiques sur le bassin versant y sont similaires bien que l'altitude moyenne du haut bassin de la Falémé soit plus élevée que celle du bassin de la Kayanga. Les débits de la Falémé à Kidira sont observés depuis 1930 avec quelques interruptions cependant en 1943, 1945 et de 1947 à 1950. La qualité des mesures à la station de Kidira peut être considérée comme satisfaisante et des jaugeages sont exécutés régulièrement. La séquence des modules annuels observés a été étendue par corrélation avec ceux du Sénégal qui ont été observés sans discontinuité depuis 1903 dans le cadre de l'étude du barrage de Manantali, et cette extension basée sur une série de 40 années de mesures communes peut être considérée comme représentative. La liste des modules annuels observés ou reconstitués à Kidira est donnée dans le tableau 2- qui comprend également les modules annuels du fleuve Sénégal à Bakel.

3.3. Données météorologiques

3.3.1 Réseau d'observation

La densité du réseau météorologique est relativement faible et la durée des observations faites aux différentes stations varie. Les stations intéressantes pour le projet sont les suivantes :

	Coordonnées	
<u>Stations météo</u>	Kolda	12° 33' 00"N 14° 55' 00"W
	Bassé	13° 16' 00"N 14° 13' 45"W
<u>Postes pluviométriques</u>	Vélingara	13° 08' 30"N 14° 06' 45"W
	Koukané	12° 56' 00"N 14° 05' 00"W
	Kérévane	13° 06' 00"N 14° 10' 45"W

En outre, 3 postes pluviométriques ont été installés en 1978 dans le cadre

de la présente étude dans le bassin de l'Anambé à proximité des villages d'Anambé, Awataba et Teyel.

Les stations météorologiques de Tambacounda, Kédougou, Ziguinchor et Séfaba bien que relativement éloignées de la zone du projet peuvent en outre fournir certaines données permettant de vérifier ou de compléter les éléments disponibles.

L'équipement des différentes stations comprend actuellement les instruments suivants :

Station de Bassé

Cette station météorologique est la plus proche de la zone du projet. Elle est équipée d'un pluviomètre journalier, d'un bac d'évaporation, d'une batterie de thermomètres (mini maxi, sec et humide sous abri ainsi qu'au sol), d'un hygromètre, d'un héliographe et d'un anémomètre. Les mesures de précipitations ont été réalisées depuis 1949 avec une interruption entre 1968 et 1971. Les mesures de température ont débuté en 1950 et les autres observations en 1972. L'équipement est en bon état, la station bien entretenue et les lectures sont réalisées consciencieusement.

Station de Kolda

Cette station est installée à l'aéroport de Kolda et est équipée d'un ensemble pluviographe-pluviomètre, d'une batterie de thermomètres comprenant également des instruments à diverses profondeurs dans le sol, d'un héliographe et d'un anémomètre. Les mesures pluviométriques ont débuté en 1922 et seules les années 1931 et 1948 sont incomplètes. Les autres éléments météorologiques sont régulièrement mesurés depuis 1950. La station est bien située et les observations faites avec soin comme le montrent les archives parfaitement classées de la station. Les équipements sont en excellent état et parfaitement entretenus.

Station de Vélingara

Ce poste pluviométrique a été mis en place en 1932 et a fonctionné jusqu'en 1958 avec une seule année incomplète en 1933. Ce poste a été réactivé en 1962. Le pluviomètre du type à lecture directe a une surface de réception

de 400 cm² et est placé dans un endroit bien dégagé, qui est toutefois à l'abri de l'influence des vents par le rideau d'arbres entourant le jardin.

Station de Kounkané

Ce poste a été installé en 1965 dans la cour du centre de recherche rurale de Kounkané. Il est équipé également d'un pluviomètre à lecture directe d'une surface de réception de 400 cm². L'endroit est dégagé et les bâtiments à un étage du centre, sont situés à des distances suffisantes pour qu'ils ne forment pas écran.

3.3.2. Données disponibles

Les données utilisées pour la présente étude ont été obtenues à partir de différentes sources et sont brièvement récapitulées ci-après :

Pluviométrie

- Vélingara : 44 années complètes de précipitations journalières mensuelles et annuelles, 1932, 1934 - 58 et 1961 - (ORSTOM et ASECNA).
- Kolda : 56 années complètes de précipitations journalières 1922 - 47 et 1949 - 78 (ORSTOM et ASECNA).
- Bassé : 26 années complètes de précipitations décennales entre 1949 - 67 et 1972 - 78 ("The Agricultural Development of the Gambia" et Department of Hydro-meteorological services).
- Kounkané : Précipitations mensuelles de 1965-76 et journalières pour 1978 (ASECNA)
- Anambé :)
- Awataba : { Précipitations journalières 20.8 - 15.10.78 (SODA
- Teyel : (
- Kérévane : Précipitations journalières 1978 (ASECNA).

Le tableau 2-4 récapitule les précipitations annuelles observées aux stations de Vélingara, Kolda, Bassé et Kounkané.

Température

Les températures mensuelles moyennes pour les stations de Séfa, Kolda d'une part et de Bassé d'autre part ont été tirées des rapports SOMIVAC et ISRA et du rapport sur le développement agricole de la Gambie. Elles sont récapitulées dans le tableau 2-5.

Humidité relative

Les données disponibles concernent les moyennes mensuelles, ainsi que les maximum, minimum et moyennes mensuelles des extrêmes journaliers. Les données concernant Kolda et Ziguinchor pour la période 1951 - 76 ont été publiées dans le rapport SOMIVAC, celles concernant les observations faites à Kédougou, Tambacounda et Bassé ont été publiées par ASECNA pour la période 1971 - 77. Les données disponibles sont récapitulées dans le tableau 2-6.

Vents

Les seules données disponibles relatives aux vents dans la région concernent la station de Bassé pour la période 1972 - 77. Les vitesses mensuelles moyennes sont récapitulées au tableau 2-7.

Insolation

Les durées mensuelles moyennes d'insolation sont disponibles pour les stations de Ziguinchor, Séfa, Kolda et Tambacounda pour la période 1951 - 76 respectivement 1966 - 75 et 1951 - 70. Elles sont récapitulées dans le tableau 2-7.

Evaporation

On ne dispose que de très peu d'observations d'évaporation au bac, la plus longue série concerne Bassé où les observations s'étendent sur 5 ans. Les mesures à évaporimètre Piche concernent en revanche des périodes plus longues et de plus nombreuses stations. Les données disponibles sont récapitulées au tableau 2-8.

3.4. Débits solides

Ce n'est qu'au cours de la présente étude que des mesures de débit solide en suspension dans les eaux de la Kayanga ont été réalisées. Les échantillons ont été prélevés au Pont de Wassadou, seul emplacement facilement accessible en hivernage. Les résultats des analyses sont récapitulés ci-après :

Date	Débit m ³ /s	Concentration mg/l
19.10.78	7,7	15,5
22.10.78	7,8	21,5
23.10.78	7,3	20,5
24.10.78	6,9	27,5
02.11.78	6,6	19,0
29.11.78	6,2	7,5
09.12.78	6,2	7,5
21.12.78	6,0	3,4

3.5. Qualité des données

3.5.1. Hydrométrie

Les données hydrométriques relatives aux bassins versants de la Kayanga et de l'Anambé, peuvent être considérées comme fiables. Les lectures d'échelles ou les enregistrements des niveaux sont en général continus. Il faut cependant mentionner que le limnigraphe de l'Anambé n'a pas fonctionné correctement en septembre 1978 et que certains doutes subsistent quant à la validité des niveaux enregistrés. En outre il faut relever que la correspondance entre les échelles extérieures et les enregistrements du limnigraphe n'est pas parfaite sauf à la station du Pont de Wassadou où l'échelle est fixée à la pile de ce dernier. Au pont de Niapo et à la station de Kounkané en revanche la concordance des divers éléments d'échelle n'est pas parfaite; des différences de quelques centimètres ont été constatées

En revanche la corrélation des niveaux entre l'Anambé au pont de Kounkané et la Kayanga à Wassadou semble raisonnable. Pourtant la cote du zéro de l'échelle de Niapo définie dans le cadre de cette étude correspond aux mesures antérieures et paraît être la plus vraisemblable.

Le calibrage de la station du pont de Niapo peut être considéré comme satisfaisant bien que l'extrapolation de la courbe de tarage proposée par ORSTOM pour des débits supérieurs à 40 m³/s paraisse être infirmée par les jaugeages réalisés en hautes eaux en 1962 par la SCET. L'utilisation de la courbe de tarage ORSTOM n'augmenterait cependant que les débits du mois d'octobre 1962 et n'entraînerait ainsi qu'une majoration d'environ 5 à 10 % du module annuel de 1962. Si en revanche, l'extrapolation ORSTOM s'avérait par la suite trop optimiste et que la courbe de tarage SCET soit confirmée, seuls les apports de septembre et octobre 1967 devraient être réduits, ce qui n'entraînerait cependant qu'une réduction de 5 à 10 % du module annuel de l'année 1967 - 68. Le degré de précision de la définition des apports est de cet ordre de grandeur, ainsi la prise en considération de l'une ou l'autre extrapolation de la courbe de tarage n'a pas d'influence déterminante pour la définition des apports naturels. En revanche, pour l'évaluation des crues de dimensionnement des ouvrages, il est prudent de considérer l'extrapolation conduisant aux débits les plus élevés et c'est pourquoi la courbe de tarage proposée par ORSTOM a été retenue dans le cadre de cette étude.

3.5.2. Météorologie

Les observations météorologiques réalisées ces deux dernières décennies peuvent être considérées comme fiables; les documents originaux sont en général disponibles et bien archivés. Il faut relever toutefois que les mesures d'évaporation au bac ne présentent pas le même degré de fiabilité que les autres observations et sont parfois même douteuses et très souvent incomplètes.

L'homogénéité des séries de précipitations annuelles a été testée par la méthode des doubles cumuls, essentiellement en vue de s'assurer que les

données relatives à Vélingara où les observations avaient été interrompues entre 1958 et 1961 étaient homogènes. Les points représentatifs des paires de précipitations annuelles cumulées pour respectivement Vélingara/Kolda et Vélingara/Tambacounda sont parfaitement alignés. Il faut être cependant conscient qu'un tel test ne saurait mettre en évidence qu'une modification d'environnement du poste et ne peut pas prétendre garantir l'exactitude des observations.

4. HYDROLOGIE DE LA KAYANGA

4.1. Evaluation des apports naturels

4.1.1. Méthodologie

On dispose de 7 années d'observation de débits de la Kayanga au pont de Niapo, la dernière 1978 - 79 étant cependant incomplète. Une séquence d'une aussi courte durée est insuffisante pour permettre une évaluation plausible des apports en année moyenne, d'autant plus que les observations s'étendent sur 3 périodes différentes, 1962, 1967 - 69 et 1976 - 78 présentant des caractéristiques hydrologiques très différentes également. On a en effet observé 2 années ayant des modules annuels de l'ordre de $13 \text{ m}^3/\text{s}$ ainsi que 2 années où les modules annuels étaient voisins de $1 \text{ m}^3/\text{s}$. L'analyse d'un échantillon de 7 années présentant de tels écarts ne pourrait conduire qu'à des conclusions absurdes tant en ce qui concerne l'apport moyen que les extrêmes. En outre, l'analyse de la pluviométrie annuelle montre que 1967 a été la dernière année pluvieuse avant la période de sécheresse catastrophique que l'ensemble de la zone sahélienne a souffert entre 1968 et 1977.

Etant donné le caractère uniforme des variations climatiques et en particulier pluviométriques dans les régions soudanaises et sahéliennes, on devrait observer la même uniformité dans la variation annuelle des régimes des cours d'eau de ces régions. Ainsi une extension de la séquence pendant laquelle le régime de la Kayanga est connu à l'aide de corrélations avec les observations réalisées sur d'autres cours d'eau est physiquement justifié de même que l'utilisation des longues séries d'observations pluviométriques dans la région du projet.

La reconstitution d'une longue séquence d'apports n'est pas seulement nécessaire pour améliorer la qualité et la validité de la définition des valeurs moyennes et extrêmes. Le but essentiel de cette reconstitution est de permettre la simulation de l'exploitation du fichier réservoir en utilisant une période historiquement réelle.

4.1.2. Extension des apports annuels

A première vue on pourrait penser que les régimes de la Kayanga et de la Casamance voisine devraient être similaires. Or, la corrélation est assez lâche, le coefficient de corrélation ($r = 0,68$) est relativement bas, bien que significatif.

On peut en revanche mettre en évidence une très bonne corrélation entre les modules annuels de la Kayanga et ceux de la Gambie à Gouloumba en dépit de la différence de taille des bassins versants respectifs. En se basant sur les 6 années complètes d'observation commune on obtient la relation suivante entre les modules annuels :

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

Le coefficient de corrélation ($r = 0,93$) est élevé et l'extension de la série de modules observés sur la Kayanga en utilisant cette corrélation est tout à fait justifiée. Il faut relever cependant que les modules annuels de la Gambie pour les années 1962 - 63 et 1968 - 69 ont été estimés à partir d'observations fragmentaires puisque ce n'est qu'à partir de 1970 que l'on dispose d'observations continues. Ainsi la bonne qualité de la corrélation est peut être illusoire. D'autre part, l'observation des débits de la Gambie n'a commencé qu'en 1953 avec des interruptions en 1957 et 1963, et comme mentionné ci-dessus, les observations présentent de nombreuses lacunes qui ont été comblées par des estimations. Dans ces conditions, le recours aux modules annuels de la Gambie pour l'extension de la séquence des modules de la Kayanga a été abandonné.

La corrélation des modules de la Kayanga et du fleuve Sénégal à Bakel est significative, le coefficient de corrélation ($r = 0,72$) n'étant cependant pas très élevé. En revanche, la corrélation est très satisfaisante entre les modules annuels de la Kayanga et de la Falémé à Kidira. Le coefficient de corrélation ($r = 0,93$) est élevé et l'équation de la droite de régression est la suivante :

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

Les apports de la Falémé ont été observés presque sans interruption depuis 1930. En outre ils ont été reconstitués pour la période 1903 - 1929 par corrélation avec les débits du Sénégal à Bakel. La qualité des modules

observés peut être qualifiée de bonne, comme celle de la corrélation utilisée pour l'extension de la séquence. Dans ces conditions le recours aux débits de la Falémé pour étendre par corrélation la séquence des modules de la Kayanga est la meilleure approche possible, utilisant des données hydrométriques uniquement.

L'ajustement d'une relation linéaire entre les modules annuels observés de la Kayanga et de la Falémé conduit à des modules négatifs de la Kayanga pour des modules de la Falémé inférieurs à $56 \text{ m}^3/\text{s}$. Or, de tels débits n'ont pas été historiquement observés. L'ajustement d'une fonction d'un ordre plus élevé ou exponentiel, passant par l'origine, serait possible. Toutefois il serait physiquement moins justifié pour la plage des modules moyens et élevés où la linéarité s'explique par l'influence identique d'un accroissement des précipitations sur les bassins versants respectifs. C'est pourquoi la droite de régression a été incurvée pour les ordonnées (modules de la Kayanga) inférieures à $2 \text{ m}^3/\text{s}$ et tracée à l'estime en passant par l'origine (voir fig. 2-4).

L'utilisation de cette corrélation a permis de reconstituer une série de modules annuels pour la période 1903 - 1961 ainsi que pour les années manquantes entre 1963 - 66 et 1970 - 75. Compte tenu des 7 modules annuels observés on dispose d'une séquence de 76 années de modules annuels, présentant les caractéristiques suivantes :

Moyenne	8,7 m^3/s	ou	274 . 10^6 m^3
Ecart type	5,0 "		156,9 . 10^6 m^3
Coëf. de var.	0,57		0,57

Des corrélations hydro-pluviométriques sur une base annuelle ont été recherchées entre les lames d'eau écoulées sur le bassin versant de la Kayanga et les précipitations annuelles observées aux stations pour lesquelles des longues séries d'observations sont disponibles. 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 Kolda. L'ajustement d'une fonction mathématique est cependant hasardeux car la distribution des points

expérimentaux suggère l'ajustement d'une courbe en "S", difficilement justifiable sur le plan physique. Il faut relever qu'il est en règle générale très difficile d'obtenir une corrélation hydro-pluviométrique satisfaisante en se basant sur des données annuelles même si celles concernant les précipitations sont observées à l'intérieur du bassin versant, ce qui n'est pas le cas de la Kayanga. 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.

L'absence d'observation pluviométrique à l'intérieur du bassin de la Kayanga ne permet pas d'envisager la mise au point d'un modèle "pluie-débit" opérant sur une base mensuelle ou plus brève. Le poste pluviométrique le plus proche où l'on dispose d'observations s'étendant sur une période relativement longue est Vélingara (41 années d'observation). Il est peu vraisemblable que la distribution des précipitations dans l'année à Vélingara corresponde à celle des pluies sur l'ensemble du bassin. L'essai tenté dans ce sens par la SOMIVAC s'est révélé peu concluant. Le modèle de transformation précipitation-débit mis au point alors calculait l'excédent pluviométrique qui était distribué dans différents niveaux de stockage pour être ensuite transféré à l'exutoire avec un étalement plus ou moins prononcé. Le calage de ce modèle simplifié a été fait à partir des écoulements mensuels observés en 1967 - 68 au pont de Niapo, en recherchant une distribution mensuelle des précipitations estimées sur le bassin à 1200mm, telle que les lames d'eau calculées par le modèle soient égales à celles observées. L'artifice proposé par l'étude SOMIVAC est justifié par l'absence de données relatives aux précipitations sur le bassin et à leur répartition temporelle. Toutefois l'hypothèse faite selon laquelle la distribution mensuelle des précipitations correspond à la fréquence 0,5 paraît très arbitraire pour l'évaluation des écoulements à partir des précipitations et ne pourrait en aucun cas être retenue pour la reconstitution d'une séquence d'apports de la Kayanga historiquement vraisemblable.

4.1.3. Distribution annuelle des apports

Le régime de la Kayanga est caractérisé par une période de crue qui débute en juin et au cours de laquelle les débits mensuels augmentent régulièrement pour atteindre leur maximum en septembre-octobre. Ils baissent ensuite progressivement 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 complètes d'observation des débits ont permis de mettre en évidence une relation étroite entre l'apport des mois de décembre à avril et l'apport annuel.

En reportant en coordonnée double logarithmique les points représentant les paires de valeurs observées on constate un alignement satisfaisant le long d'une courbe concave (voir fig. 2-5) qu'une transformation permet de linéariser. L'expression mathématique de la relation entre l'apport de décembre à avril (A_s) et l'apport annuel (A) est la suivante :

$$A_s (10^6 \text{ m}^3) = 0,231 \times A^{0,826} + 4 (10^6 \text{ m}^3)$$

La simulation sur ordinateur de l'exploitation de la retenue exige non seulement la répartition des apports entre saisons sèche et humide mais encore la distribution mensuelle de ces derniers. L'analyse de la distribution mensuelle des apports durant les 6 années complètes d'observation a montré que les pourcentages mensuels de l'apport annuel varient considérablement d'une année à l'autre et que le rapport entre les débits mensuels maximum et minimum d'une même année croît avec le module annuel, comme le montre le tableau ci-après :

Année	1962-63	1967-68	1968-69	1969-70	1976-77	1977-78
Module m^3/s	13,2	13,59	3,56	4,12	1,65	0,93
$\frac{Q \text{ mens. max.}}{Q \text{ mens. min.}} = R$	81,2	88,5	15,5	19,4	8,8	4,3

En coordonnée double logarithmique les points expérimentaux s'alignent remarquablement le long d'une droite dont l'équation est la suivante :

$$\log R = 1,13 \log Q + 0,64 \quad (Q = \text{module annuel})$$

le coefficient de corrélation de l'ajustement ($r = 0,99$) est remarquablement élevé.

En utilisant les notations qui suivent on peut exprimer algébriquement les débits mensuels moyens d'une année en fonction du module annuel correspondant de la façon suivante :

$$\text{Notation : } \bar{P}_i = \frac{\text{apport mensuel moyen observé}}{\text{apport annuel observé}} \quad (\%)$$

avec $\bar{P}_{\text{max.}}$ et $\bar{P}_{\text{min.}}$ les pourcentages max. et min. de \bar{P}_i

$$P_m = \frac{100}{12} = 8,333 \quad \%$$

f = facteur correctif

P_{ij} = apport du mois "ij" en pourcent de l'apport de l'année "j"

On peut écrire : $P_{ij} = P_m + f (\bar{P}_i - P_m)$ (1)

D'autre part : $R_j = \frac{P_{ij \text{ max.}}}{P_{ij \text{ min.}}} = \frac{P_m + f (\bar{P}_{\text{max}} - P_m)}{P_m + f (\bar{P}_{\text{min}} - P_m)}$

D'où l'on tire : $f = \frac{(R - 1) P_m}{(R - 1) P_m - R \cdot \bar{P}_{\text{min.}} + \bar{P}_{\text{max.}}}$

Or il a été montré précédemment que $R = 4,37$. $Q_{1,13}$

et l'analyse des apports mensuels observés donne les valeurs de \bar{P}_i suivantes :

Mois	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
\bar{P}_i	2,32	3,60	7,86	8,47	25,27	28,32	8,81	4,23	3,32	2,90	2,58	2,32

Le facteur correctif "f" est donc défini en fonction du module annuel, ce qui permet de définir la distribution mensuelle des apports de l'année considérée et de calculer ceux-ci selon la relation

$$Q_{ij} = P_{ij} \cdot \frac{12}{100} Q.$$

L'utilisation de cette méthode donne des résultats satisfaisants aussi bien pour les années humides que sèches comme le montre la comparaison des histogrammes observés et simulés pour les années 1962 - 63, 1968 - 69 et 1976 - 77 donnés dans la fig. 2-6. En particulier, on constate que la répartition des apports entre saisons sèches et humides est parfaitement respectée.

Les apports annuels obtenus à partir de la corrélation avec la Falémé à Kidira ont été distribués mensuellement selon la méthode décrite ci-dessus et sont listés dans le tableau 2-9.

4.1.4. Analyse

L'échantillon des 76 valeurs d'apports annuels de la Kayanga, observé et reconstitué par corrélation avec la Falémé a fait l'objet d'une analyse statistique. Comme le montre la fig. 2-7 la distribution des points expérimentaux suggère un ajustement selon une loi normale. Celle-ci conduit cependant à des apports négatifs pour les années sèches de fréquence 1/30 et plus faible, ce qui est physiquement impossible. L'ajustement d'une loi log-normale, qui éviterait les apports négatifs, exige une transformation de la forme $Z = Q + 300 (10^6 \text{ m}^3)$ afin de linéariser l'alignement des points expéri-

mentaux (voir fig.2-8). Le recours à une distribution log-normale a en revanche tendance à sur-évaluer les apports en année très humide.

Le tableau ci-dessous récapitule les résultats obtenus pour les 2 ajustements statistiques mentionnés ci-dessus :

Apports annuels de la Kayanga

	: Distribution normale	: Distr. log-normale avec transformation
Médiane	: 274 10^6 m ³ (8,7 m ³ /s)	: 252 10^6 m ³ (8.0 m ³ /s)
Année sèche 1/5	: 142 " (4,5 ")	: 136 " (4,3 ")
1/10	: 73 " (2,3 ")	: 86 " (2,7 ")
1/20	: 16 " (0,5 ")	: 48 " (1,5 ")
Année humide 1/5	: 406 " (12,9 ")	: 400 " (12,7 ")
1/10	: 475 " (15,1 ")	: 492 " (15,6 ")
1/20	: 532 " (16,9 ")	: 577 " (18,3 ")

Compte tenu de la distribution des points expérimentaux, il est justifié d'admettre que l'ajustement selon la loi normale est le plus vraisemblable pour les apports en années humides et moyennes mais que l'ajustement selon la loi log-normale avec transformation de variante est plus proche de la réalité pour les apports en années sèches.

L'analyse de l'histogramme des apports annuels pour la période 1903 - 78 montre l'existence d'un régime cyclique qui est mis en évidence lorsqu'on trace l'histogramme des moyennes glissantes de 5 ans (fig. 2-9). On constate une alternance de périodes humides d'une vingtaine d'années, entrecoupées de périodes de sécheresse de 6 - 10 ans.

Période	Durée (ans)	Apport moyen annuel (10^6 m ³)
1903 - 10	8 (cycle incomplet)	242
1911 - 17	7	128
1918 - 38	21	327
1939 - 44	6	112
1945 - 67	23	320
1968 - 77	10	108

Ce phénomène cyclique se retrouve dans le régime pluviométrique de la station de Kolda où l'histogramme des moyennes glissantes de 5 ans est donné dans la fig.2-10. On retrouve très exactement les mêmes périodes sèches et humides.

Période	Durée (ans)	Pluviométrie annuelle moyenne (mm)
1922 - 38	17 (cycle incomplet)	1195,4
1939 - 44	6	1150,3
1945 - 67	23	1296,9
1968 - 77	10	1042,0

Il est normal que les différences entre écoulements annuels moyens en cycles sec et humide soient plus accentuées que celles des pluviométries annuelles moyennes correspondantes. Les différences sont cependant très significatives et confirment l'uniformité des conditions climatologiques et des régimes des cours d'eau dans la zone couvrant à la fois le bassin de la Falémé et la Casamance.

Une analyse statistique des apports annuels des deux cycles humides complets a été réalisée. Les échantillons correspondants à chacune des périodes humides ainsi que l'échantillon combiné satisfont à une distribution selon une loi normale avec les caractéristiques statistiques suivantes :

Apports annuels des cycles humides	Période 1918-38	Période 1945-67	Echantillon combiné
Médian	360 10^6 m^3	350 10^6 m^3	355 10^6 m^3
Année sèche 1/10	150 "	190 "	172 "
1/20	91 "	145 "	120 "
Année humide 1/10	570 "	510 "	538 "
1/20	629 "	554 "	590 "

On constate que la période 1918 - 38 a eu des variations inter-annuelles des apports plus prononcées que la période 1945 - 67.

Des évaluations du potentiel hydraulique de la Kayanga ont été réalisées antérieurement d'une part dans l'étude SENERIZ en 1977 et d'autre part dans celle de la SOMIVAC en 1978. L'étude SENERIZ s'était basée essentiellement

sur les observations des débits au pont de Niapo entre 1967 et 70. Des coefficients d'écoulement annuel ont été définis pour les 3 années disponibles en admettant que les précipitations sur le bassin versant de la Kayanga correspondaient à la moyenne des précipitations observées à Kédougou et Vélingara et une relation linéaire entre coefficient d'écoulement et précipitation annuelle a été définie, donnant des coefficients d'écoulement de 10 % et 18 % pour des pluviométries annuelles de respectivement 1000 et 1250 mm sur le bassin. L'apport annuel de la Kayanga en année à pluviométrie moyenne de 1250 mm s'établissait à $395 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{an}$. La validité d'une telle évaluation ne peut être que très approximative en raison de l'extrême brièveté de la période pour laquelle les apports de la Kayanga étaient connus et du poids considérable accordé nécessairement à l'année 1967 - 68.

L'étude SOMIVAC s'est basée sur les mêmes données hydrométriques que la présente étude. En utilisant le modèle simplifié "pluie-débit" décrit plus haut au paragraphe 4.1.2., l'étude conclut à un apport annuel en année moyenne de $258 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, correspondant pratiquement à celui défini ci-dessus pour la période 1903 - 78. Les apports en année sèche et humide de fréquence 1/10 estimés par l'étude SOMIVAC étaient de respectivement 158 et $561 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Ces valeurs correspondent à celles qui ont été définies ci-dessus pour les cycles humides. En conclusion, l'étude SOMIVAC, utilisant une méthode d'approche fondamentalement différente de celle décrite dans les paragraphes qui précèdent a abouti à des conclusions pratiquement identiques en ce qui concerne l'apport annuel de la Kayanga en année moyenne.

Les apports de la Kayanga ont été définis au pont de Niapo qui contrôle un bassin versant de 1755 km². Le site du barrage est situé 15 km plus à l'amont et la surface du bassin versant intermédiaire est d'environ 70 km², soit une réduction d'environ 4 %. Les observations ont cependant montré que la presque totalité des apports de la Kayanga provient de la partie amont du bassin versant où les coefficients d'écoulement sont beaucoup plus élevés qu'en aval en raison de la nature du substratum. Ainsi il n'est pas justifié de réduire les apports définis au pont de Niapo pour tenir compte de la réduction minimale de la surface du bassin versant d'autant plus que la réduction théorique qui pourrait être faite est nettement inférieure au degré d'exactitude de la définition des apports.

4.2. Evaluation des crues de la Kayanga

4.2.1. Analyse des crues observées

Le régime de la Kayanga en hivernage est caractérisé par la superposition de deux ondes de crues, la première dont la période est saisonnière et la seconde dont la période est de quelques jours à quelques semaines. L'onde de crue saisonnière peut être considérée comme l'écoulement de base qui atteint son maximum en septembre ou octobre. Les ondes de crues qui se superposent à l'écoulement de base sont provoquées par le ruissellement direct suivant les précipitations importantes.

L'analyse des hydrogrammes annuels au pont de Niapo et donnée dans les fig. 2-2a à 2-2f permet d'isoler un certain nombre de crues dues au ruissellement direct et d'en déterminer les caractéristiques suivantes :

Période	Débit de pointe Q (m ³ /s)	Durée (jour)	Temps de montée (jour)	Volume V (10 ⁶ m ³)	Q/V
Juin 67	8	23	8		
Sept. 67	22	52	18		
Oct. 67	135	106	22,5	266	0,51
Juil. 68	7	23	9		
Août 68	8	28	12		
Oct. 68	32	85	15	30	1,07
Juil. 69	16	45	13,5		
Sept. 69	23	55,5	21	34	0,68
Oct. 69	15,5	65	10		
Sept. 76	8	45	8		
Oct. 76	9,5	57	8	5,3	1,80
Sept. 77	6,5	50	6	3,4	1,94
Juil. 78	7,5	33	9	2,9	2,59

L'analyse de ce tableau appelle les commentaires suivants :

- Les crues sont caractérisées par un temps de montée et une durée relativement longue, qui augmentent avec l'importance de la crue.

- Le rapport Q/V diminue avec l'importance de la crue.
- Les débits de pointes sont faibles puisqu'ils n'ont pas dépassé $135 \text{ m}^3/\text{s}$ c'est à dire $0,08 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$. En outre, la pointe de l'écoulement de base n'a pas dépassé $8 \text{ m}^3/\text{s}$.

Les débits maximum des crues annuelles observées au pont de Niapo, ainsi que les hauteurs d'eau atteintes alors sont données ci-dessous :

Année	Débit max. (m^3/s)	H échelle (m)	Cote IGN
1962	150	7,20	22,28
1967	135	6,80	21,88
1968	32	3,88	18,96
1969	23	3,45	18,50
1976	9,5	2,79	17,87
1977	6,5	2,45	17,53
1978	11,5	3,18	18,26

En outre, d'après un repère gravé sur un arbre par un piroguier, la crue de 1958 aurait atteint 8 m à l'échelle ($23,08 \text{ IGN}$) et le débit maximal dans le lit mineur aurait été de l'ordre de $200 \text{ m}^3/\text{s}$, auquel selon ORSTOM il faudrait ajouter le débit dans le lit majeur.

La comparaison visuelle des hydrogrammes des crues dues au ruissellement direct montre qu'ils présentent certaines caractéristiques qui sont fonction du débit de pointe uniquement. Il s'agit du temps de montée, de la durée et de l'allure de la courbe de décrue.

On peut approximer les relations entre temps de montée " T_m " et durée " T_b " d'une part et débit de pointe de crue " Q_p " d'autre part, par les fonctions logarithmiques suivantes dont les coefficients de corrélation des ajustements selon la méthode des moindres carrés sont relativement élevés.

$$\text{Temps de montée (j), } T_m = 12,55 \log Q_p (\text{m}^3/\text{s}) - 2,4 \quad (1)$$

(coefficient de corrélation $r = 0,85$)

$$\text{Durée (j) } T_b = 56,65 \log Q_p (\text{m}^3/\text{s}) - 15,05 \quad (2)$$

(coefficient de corrélation $r = 0,86$)

Pour chercher à ajuster une fonction mathématique à la courbe de décrue, on a tracé graphiquement les courbes de décrue de la dernière crue observée chaque année en portant en abscisse le temps en mois et en ordonnée la valeur $y = \log Q - \log Q_p$, ou Q est le débit en fonction du temps et Q_p le débit de pointe. La figure 1-11 montre que l'on peut ajuster au faisceau de courbes observées une courbe moyenne de la forme :

$$y = \log Q - \log Q_p = e^{-(t - 0,5) - 1,4} \quad (t \text{ en mois})$$

Il faut relever que cette relation n'est valable que pour $t > 0,2$ mois.

On obtient, en isolant Q la relation suivante :

$$Q = 0,0398 Q_p \cdot e^{2,3026 \cdot e^{-(t - 0,5)}} \quad (3)$$

A partir des relations (1), (2) et (3) ci-dessus, il est possible de tracer un hydrogramme de crue à partir du débit de pointe Q_p . La figure 2.11 montre que la correspondance entre hydrogrammes synthétiques et observés est très bonne pour la crue de 1967 de $135 \text{ m}^3/\text{s}$. Elle est en revanche moins satisfaisante pour la crue de $32 \text{ m}^3/\text{s}$ que l'hydrogramme synthétique surestime. L'objectif de la présente étude étant la définition des caractéristiques des crues extrêmes, il est donc justifié d'admettre pour celles-ci les relations théoriques définies ci-dessus.

Compte tenu de ces relations on peut définir le volume de la crue en fonction du débit de pointe en faisant les hypothèses suivantes :

- Le débit de base Q_0 est supposé constant et correspond à celui donné par la relation (3) pour $t = T_b - T_m$
- On choisit arbitrairement un pas de temps de calcul $\Delta t = 0,2$ mois (voir figure 2-12)
- On néglige dans l'évaluation du volume, le volume ruisselé pendant le dernier Δt , soit V_{n+1}
- Le mois est pris égal à 30 jours.

Il s'ensuit :

$$Q_0 = Q (T_b - T_m) = 0,0398 Q_p \cdot e^{2,3026 \cdot (T_b - T_m - 0,5)}$$

(où T_b et T_m sont calculés selon (1) et (2))

$$V = \sum_0^n V_i - (T_b - T_m) Q_0$$

$$V_0 = (Q_m - Q_0) \cdot T_m \cdot 0,5$$

$$V_i = \frac{Q [(i-1)\Delta t] + Q [i \cdot \Delta t]}{2} \Delta t \quad \text{avec } Q \text{ selon (3)}$$

L'application de cette relation donne les résultats suivants :

Q	50	100	150	200	300	400	500	m^3/s
V	100	222	350	484	759	1041	1323	$10^6 m^3$

Cette relation est donnée graphiquement dans la figure 2-12 et l'on constate que les points correspondants aux fortes crues observées sont situés très près de la courbe théorique.

4.2.2. Définition des crues de dimensionnement

L'échantillon disponible de 8 débits de pointes annuelles observées n'est pas assez long pour qu'il soit possible de tirer d'une analyse statistique des conclusions fiables concernant les évènements de faibles fréquences d'occurrence. Cet échantillon peut, en outre, difficilement être considéré comme représentatif car il contient 3 années à fortes crues et 3 années sans aucune crue.

L'analyse des crues observées montre que le rapport entre débit de la crue annuelle et débit moyen mensuel du mois comprenant la crue, qui est lui-même le plus important de l'année, est relativement constant comme le montre le tableau ci-après :

Année	Q pointe	Q mensuel max.	Qp / Qm
1962-63	150 m ³ /s	51,5 m ³ /s	2,91
1967-68	135 "	86,0 "	1,57
1968-69	32 "	12,5 "	2,55
1969-70	23 "	13,4 "	1,71
1976-77	9,5 "	5,5 "	1,74
1977-78	6,5 "	2,7 "	2,48
1978-79	11,5 "	6,4 "	1,80
			2,11
moyenne			2,11
écart type			0,53

En utilisant le rapport moyen défini ci-dessus et la série des apports mensuels synthétiques définis selon la méthode décrite au paragraphe 4.1.2 il est possible de reconstituer une séquence de 76 débits maximum annuels synthétiques qui peut faire l'objet d'un traitement statistique. L'échantillon satisfait soit à une distribution selon la loi de Gumbel, soit selon la loi log normale avec transformation de variable de la forme $Z = Q + 70$. Ces deux distributions donnent les résultats suivants :

Fréquence	Gumbel	Log normale avec transformation
1/10	137 m ³ /s	140 m ³ /s
1/100	223 "	230 "
1/500	282 "	285 "
1/1000	307 "	310 "
1/5000	366 "	370 "
1/10000	391 "	400 "

Les résultats des extrapolations sont pratiquement identiques et les valeurs correspondant à l'évènement de fréquence décennale sont dans le cadre de ce qu'une analyse subjective de l'échantillon des crues observées laisse supposer. Il faut cependant relever le caractère nécessairement imprécis de l'évaluation des crues annuelles à partir des maximum mensuels définis synthétiquement. En effet, la plus forte crue qui se serait produite en 76 ans n'aurait pas excédé 181 m³/s, ce que semblent contredire les observations. La morphologie de la rivière et son profil en long très peu marqué peuvent en revanche expliquer les valeurs relativement peu élevées définies pour les très faibles fréquences.

Les précipitations journalières sont connues à Kolda et Velingara pendant une période suffisamment longue permettant de procéder à une analyse statistique valable des maximum annuels de durées de 1, 2, 3, 4 et 5 jours. La même analyse a été en outre réalisée pour les précipitations maximum décadaires observées bien que celles-ci aient été mesurées à intervalles fixes à savoir du 1-10, du 11-20 et du 21-30 de chaque mois.

Les analyses statistiques ont été faites en utilisant les lois de Gumbel et log normale. Comme la première donne des valeurs extrêmes légèrement supérieures, elle a été retenue pour la suite de l'étude. Les résultats obtenus sont résumés ci-après :



	Fréquence	1/100 mm	1/1000 mm	1/10000 mm
Vélingara	1 jour	235	316	397
	2 jours	267	356	445
	3 jours	321	430	539
	4 jours	345	460	575
	5 jours	392	527	662
	10 jours	434	574	713
Kolda	1 jour	218	285	352
	2 jours	239	307	374
	3 jours	261	332	403
	4 jours	301	383	465
	5 jours	318	402	486
	10 jours	387	485	583

Les résultats obtenus sont cohérents et mettent en évidence la diminution de l'intensité des précipitations en direction de l'ouest qui s'observe également à l'échelon des pluviométries annuelles.

Le report en coordonnées logarithmiques des précipitations de même fréquence en fonction de leur durée montre que les points sont relativement bien alignés (voir figure 2-13). La prise en considération des précipitations décadaires mesurées à intervalles fixes n'a pas provoqué la distorsion que l'on aurait pu escompter si l'accroissement des précipitations avec l'augmentation de leurs durées, avait été plus important.

La méthode du Gradex a été élaborée à partir de l'analyse de la relation liant les précipitations journalières au volume écoulé pendant la même période et est basée sur le principe qu'à partir d'un certain seuil, correspondant à la capacité de rétention du bassin, tout accroissement des précipitations se retrouve intégralement dans le débit écoulé. Dans le cas de la Kayanga où les écoulements sont lents et où la durée des crues importantes dues au ruissellement excède le mois, il est nécessaire de considérer un pas de temps plus long. L'analyse des courbes intensité-durée des précipitations montre qu'au delà de 10 jours l'accroissement des précipitations ne dépasse pas 15 mm/jour dans le cas d'une averse décamillénale. Compte tenu de la morphologie du bassin versant et du taux journalier d'évaporation sous

cette latitude, une précipitation journalière de cet ordre de grandeur ne peut qu'alimenter d'une manière insignifiante l'écoulement de surface. Il est donc justifié d'admettre qu'au delà d'un certain seuil, l'augmentation des précipitations de 10 jours correspondra intégralement à l'accroissement du volume écoulé. Il ne serait cependant pas correct de considérer pour l'écoulement le même laps de temps que pour les précipitations en raison de la très grande capacité de rétention du bassin versant très plat de la Kayanga. Il est ainsi justifié de comparer le volume des précipitations de 10 jours à celui de la crue pendant toute sa durée. Il faut relever que le volume des crues tel qu'il a été défini au paragraphe qui précède, à partir de l'analyse des observations, comprend une contribution de l'écoulement hypodermique. Cette contribution est cependant compensée si l'on néglige de considérer un coefficient d'abattement et des pertes par évaporation ou infiltration pour la précipitation de 10 jours. Par conséquent on peut admettre dans le cas des crues de la Kayanga qu'au delà d'un certain seuil tout accroissement des précipitations de 10 jours se traduira par une augmentation identique du volume de la crue.

L'analyse des crues observées donne à un débit de pointe de $130 \text{ m}^3/\text{s}$ une fréquence décennale dont le volume est de l'ordre de $300 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ selon la méthode décrite au paragraphe 4.2.1. (la crue de 1967, de $135 \text{ m}^3/\text{s}$ a eu un volume de $266 \cdot 10^6 \text{ m}^3$).

Il a été admis que pour des crues de fréquence plus faible, l'accroissement des précipitations se transformait intégralement en volume ruisselé. La droite de Gumbel figurant l'accroissement du volume de la crue en fonction de sa fréquence est donc parallèle à celle représentant les précipitations de 10 jours et passe par le point correspondant à la fréquence 1/10 et au volume ruisselé de $300 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ou 170 mm sur l'ensemble du bassin (voir fig.2-1). Cette méthode permet d'évaluer le volume des crues de différentes fréquences et par application de la relation définie au paragraphe précédent, d'en déterminer le débit de pointe :

Fréquence	Précipitation en dix jours mm	Volume de la crue mm	10 ⁶ m ³	Débit de pointe m ³ /s
1/10	300	170	300	130
1/100	445	315	550	225
1/1000	585	455	800	315
1/10000	740	610	1070	410

L'application de la méthode du Gradex conduit à des résultats très voisins de ceux obtenus par l'analyse statistique d'une série de crues synthétiques.

Diverses formules empiriques ont été proposées pour l'évaluation des crues extrêmes à partir de paramètres connus (surface du bassin versant, précipitation, module, etc...) et de coefficients déterminés empiriquement. Certaines d'entre elles s'appliquent aux conditions rencontrées dans le bassin de la Kayanga :

Formules de Fuller

$$Q(T) = Q_1 (1 + 0,8 \log T)$$

$$Q_p = Q(T) \cdot \left(1 + \frac{2,66}{A^{0,13}}\right)$$

ou $Q(T)$ = débit moyen journalier de la crue de fréquence (T)
 Q_1 = moyenne des crues observées
T = temps de récurrence
A = surface du bassin versant
 Q_p = débit de pointe de la crue

La moyenne des crues observées, y compris celle de 1958 est de 71 m³/s.
L'application des formules de Fuller donne les résultats suivants :

$$\begin{aligned} Q_p \quad 1/100 &= 237 \text{ m}^3/\text{s} \\ &1/1000 &= 310 \text{ " } \\ &1/10000 &= 383 \text{ " } \end{aligned}$$

Formule de Krebs

$$Q \text{ max.} = 90 \cdot q^{2/3}$$

ou $Q \text{ max.}$ = débit de pointe de crue exceptionnelle
q = module interannuel

En prenant le module interannuel de la période 1903-76 ($q = 8,7 \text{ m}^3/\text{s}$) on obtient $Q_{\text{max}} = 381 \text{ m}^3/\text{s}$. Si on considère le module interannuel des séquences humides ($q = 10,4 \text{ m}^3/\text{s}$) on obtient $Q_{\text{max}} = 429 \text{ m}^3/\text{s}$.

Formule du SCS

$$Q_p = \frac{0,28 P_T \cdot c.A.f}{t}$$

ou Q_p = débit de pointe

P_T = précipitation de durée T à l'origine de la crue

t = temps de concentration = $\frac{L}{3,6 v}$

L = longueur du cours d'eau = 95 km

v = vitesse moyenne d'écoulement (0,2 m/s pour une pente moyenne de 1,4 % et des paturages boisés)

T = durée de l'averse = $(t + 1)^{-0,20} \cdot t$

c = coefficient d'écoulement, admis 0,6

f = coefficient de forme, admis 0,4

Le temps de concentration $t = 132$ heures, et la durée de l'averse $T = 50$ heures. P_T est égal respectivement à 480, 380 et 280 mm pour des averses de fréquences 1/10 000, 1/1 000 et 1/100. On obtient ainsi pour les débits de pointes des crues :

$Q_p = 1/100$	250 m^3/s
$1/1000$	340 m^3/s
$1/10000$	430 m^3/s

Les 3 formules empiriques utilisées donnent des résultats très homogènes et très proches de ceux obtenus d'une part de l'analyse des crues annuelles et d'autre part des recours aux précipitations par la méthode du Gradex.

L'ORSTOM a procédé en 1974 à l'étude hydrologique du bassin de la Gambie et a indiqué pour la station de Gouloumbo (bassin versant 42 000 km^2) les débits de pointe de crue suivants avec les limites des intervalles de confiance correspondants :

$Q, 1/10$	=	1990 \pm 210 m^3/s
$Q, 1/100$	=	2430 \pm 300 m^3/s

On admet en général que le rapport des pointes de crues de 2 bassins de morphologie identique correspond à celui de leurs surfaces respectives à la puissance "n", cet exposant étant compris entre 0,4 et 0,6. Dans ces conditions et en admettant $n = 0,6$ on obtient pour la Kayanga au pont de Niapo les débits de pointes suivants :

$$\begin{aligned} Q \ 1/10 &= 296 \pm 30 \text{ m}^3/\text{s} \\ Q \ 1/100 &= 361 \pm 45 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Ces valeurs, bien que supérieures à celles obtenues précédemment sont cependant du même ordre de grandeur, et confirment ces résultats.

Dans ces conditions il est proposé de retenir les valeurs suivantes pour les caractéristiques des crues des différentes fréquences dont ces hydrogrammes sont donnés à la figure 2-15.

Fréquence (ans)	Débit (m^3/s)	Volume (10^6 m^3)	Temps de montée (jours)	Durée (jours)
1/100	220	545	27	118
1/1000	315	800	29	126
1/10000	400	1040	30	132

4.3. Transports solides

Les mesures des débits solides de la Kayanga réalisées durant le 4^e trimestre de 1978 ont donné des concentrations variant entre 3,4 et 27,5 mg/l pour des débits variant entre 6,0 et 7,8 m^3/s .

En supposant que la concentration maximum observée corresponde à la moyenne, le volume des matériaux transportés en suspension pendant une année moyenne aurait été de 6685 t. Compte tenu d'un poids spécifique de 1,5 t/m^3 , le volume transporté aurait été de 4460 m^3 correspondant à une érosion spécifique de 2,5 $\text{m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{an}$ ou 0,003 mm/an sur l'ensemble du bassin. La validité d'un tel calcul est cependant douteuse car les concentrations augmentent en général avec le débit liquide.

Des mesures de débits solides ont été réalisées par l'ORSTOM sur le fleuve Gambie mais les résultats des analyses ont été faussés par l'adjonction d'un flocculent qui a été précipité avec les argiles. Les concentrations en matériaux en suspension ne pouvaient donc qu'être très faibles.

Les concentrations des matériaux solides en suspension dans le fleuve Sénégal sont mieux connues et les estimations du tonnage annuel transporté en suspension à Bakel sont de $2,5 \cdot 10^6$ t/an. Compte tenu d'un poids spécifique de $1,5 \text{ t/m}^3$ et de la surface du bassin versant du fleuve de $218\,000 \text{ km}^2$, l'érosion spécifique est de $7,7 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{an}$ ou $0,01 \text{ mm/an}$.

Les transports solides sont ainsi très faibles, ce qui s'explique par la morphologie peu accentuée des bassins versants, et le fait que les fortes crues se produisent en général dans la 2ème moitié de la saison des pluies à un moment où la couverture végétale est suffisante pour assurer une protection efficace contre l'érosion.

Toutefois, en raison de l'absence de mesures directes des transports solides de la Kayanga pendant un laps de temps suffisamment long, il semble prudent de retenir, pour l'évaluation du taux d'envasement annuel de la future retenue sur la Kayanga une érosion spécifique supérieure à celle définie pour le bassin du fleuve Sénégal dont les dimensions ne peuvent être comparées à celles du bassin de la Kayanga. En effet si l'on considère la courbe enveloppe des érosions spécifiques des bassins versants situés dans la zone subtropicale on constate que pour un bassin versant d'une superficie de l'ordre de $2\,000 \text{ km}^2$, on peut admettre une érosion globale maximum de $100 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{an}$ ou $0,1 \text{ mm/an}$. Cette valeur, qui est une limite supérieure représente pour la retenue de la Kayanga un taux d'envasement annuel moyen de $200\,000 \text{ m}^3/\text{an}$ ou $20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ pendant 100 ans.

4.4. Résumé et conclusions

Les débits journaliers de la Kayanga ont été observés au pont de Niapo, peu en aval du site du barrage pendant 8 années. Une corrélation significative a pu être mise en évidence entre les modules annuels de la Kayanga et ceux de la Falémé à Kidira et il a été possible de reconstituer les apports

annuels de la Kayanga pour 68 années supplémentaires. L'analyse des modules annuels de la période 1903 - 78 a mis en évidence une alternance de périodes humides d'une durée de 21 - 23 ans et de périodes sèches de durée de 6 - 10 ans. Les caractéristiques de la séquence de 76 ans et des deux périodes humides sont les suivantes :

Apport annuel	Période 1903-76	Périodes 1918-38 et 1945-67
- année médiane	274 . 10 ⁶ m ³	355 . 10 ⁶ m ³
- année sèche 1/10	86	172
- année sèche 1/20	48	120
- année humide 1/10	475	538
- année humide 1/20	532	590

L'analyse des apports mensuels observés a permis de définir une loi de modulation en fonction de l'apport annuel et de constituer ainsi une séquence de 76 années d'apports mensuels, qui servira de base à la simulation sur ordinateur de l'exploitation de la retenue.

La validité du recours à la corrélation avec les apports de la Falémé a pu être confirmée par l'analyse des précipitations annuelles à Kolda dont le rythme des fluctuations interannuelles est semblable à celui des apports de la Falémé. En outre l'ORSTOM a utilisé également les apports de la Falémé pour l'extension des apports du fleuve Gambie, ce qui confirme également le caractère d'uniformité des régimes des différents cours d'eau de cette région. On peut donc considérer que la séquence de 76 années reconstituées pour les apports de la Kayanga est représentative d'autant plus qu'elle contient 3 périodes sèches dont une particulièrement sévère et deux et demi périodes humides.

L'évaluation des crues de dimensionnement des ouvrages a été basée sur l'analyse statistique d'une séquence de 76 crues annuelles reconstituées à partir de la relation observée entre débit de pointe annuelle et débit moyen mensuel du mois correspondant. Cette approche a été corroborée par l'application de la méthode du Gradex et l'utilisation de différentes formules empiriques. Les caractéristiques des crues retenues pour le dimensionnement des ouvrages sont les suivantes :

Fréquence	Débit (m^3/s)	Volume (10^6 m^3)	Durée (jours)
1/100	220	545	118
1/1000	315	800	126
1/10000	400	1040	132

Le débit spécifique des crues est relativement faible puisqu'il n'est que de 0,23, respectivement 0,13 $\text{m}^3/\text{s.km}^2$ pour les crues décennales et centennales. Il est cependant comparable à celui de la crue centennale de la Gambie défini par l'ORSTOM, et qui est de 0,06 $\text{m}^3/\text{s.km}^2$. Compte tenu de la faible pente du cours d'eau et de la morphologie très peu accentuée du bassin versant, les débits spécifiques de crue définis pour la Kayanga sont raisonnables. Il ne faut cependant pas perdre de vue la fragilité des bases utilisées pour leur évaluation dont en particulier l'extrapolation de la courbe de tarage de la station de Niapo. Il sera donc prudent, lors du dimensionnement des organes d'évacuation des crues du barrage de Niandouba de définir le débit susceptible d'être évacué en empiétant sur la revanche prévue entre le niveau des plus hautes eaux et le couronnement du barrage afin d'apprécier la marge de sécurité disponible.

5. HYDROLOGIE DE L'ANAMBE

5.1. Données disponibles

La station limnigraphique de Kounkané n'ayant jusqu'à présent pas pu être étalonnée, les seules indications concernant les écoulements de l'Anambé sont fournies par différences des débits observés simultanément sur la Kayanga en amont et en aval de la confluence de l'Anambé, aux ponts de Niapo et de Wassadou. Comme un seuil artificiel isole en basse eau la mare de Kounkané à l'amont du pont route de son émissaire naturel, on peut admettre qu'aucun écoulement n'a lieu pendant la saison sèche, de janvier à mai en tous les cas. Pour les 3 années d'observation disponible, les écoulements de l'Anambé, définis à partir des débits de la Kayanga à Niapo et Wassadou, donnés dans le tableau 2-1 sont les suivants :

	1976 - 77		1977 - 78		1978 - 79	
	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³	m ³ /s	10 ⁶ m ³
Juin	0	0	0	0	0,5	1,30
Juillet	0,11	0,29	0	0	0,3	0,80
Aout	0,37	0,99	0,02	0,05	1,2	3,11
Septembre	0,74	1,92	0,47	1,22	3,5	9,07
Octobre	2,55	6,83	0,82	2,20	5,1	13,66
Novembre	1,04	2,70	0	0	1,0	2,59
Décembre	0,38	1,02	0	0	0	0
Année		13,75		3,47		30,53
Lame d'eau écoulée mm		12,5		3,2		27,8
Pluviométrie annuelle à						
Vélingara mm		827		685		1059
Coefficient d'écoulement		1,5 %		0,5 %		2,6 %

Lors de la campagne hydrologique réalisée en 1962 dans le cadre de l'étude GERCA, des échelles limnimétriques avaient été installées le long de l'Anambé à Kabendou, Koulindiala et Goundaga ainsi que sur 2 petits affluents, le Lebal qui draine un bassin versant de 47 km² et se jette dans l'Anambé juste

en amont de la piste Kounkané-Dabo et le marigot de Goundaga ($17,4 \text{ km}^2$) 8 km au sud de Kounkané. Sur la base des jaugeages réalisés, l'apport de l'Anambé durant l'hivernage 1962 aurait atteint 223.10^6 m^3 représentant une lame d'eau écoulée de 203 mm et compte tenu d'une pluviométrie sur le bassin estimée à 1200 mm un coefficient d'écoulement de 18,6 %. Pour cette même année les lames d'eau écoulées sur les bassins du Lebal et de Goundaga, ainsi que les coefficients d'écoulement correspondants auraient atteint respectivement 394 mm (32 %) et 5,3 mm (0,5 %). Les apports spécifiques définis pour l'Anambé et le Lebal paraissent cependant élevés comparés à celui de la Kayanga en 1962 pour laquelle la lame d'eau écoulée annuellement correspond à 237 mm. En effet les caractéristiques morphologiques et géologiques du bassin de l'Anambé sont plus proches de celles du bassin de la Kayanga, or, l'étude GERCA a défini pour 1962 une lame d'eau écoulée de 37,5 mm sur le bassin de la Casamance à Kolda, correspondant à un coefficient d'écoulement de 3,4 %.

L'ORSTOM a réalisé une étude des conditions hydrologiques en Casamance basée sur les mesures réalisées entre 1967 et 1970 sur la Kayanga d'une part et sur la Casamance et différents affluents d'autre part. Le tableau 2-10 récapitule certains résultats de cette étude.

Dans le cadre de son étude, l'ORSTOM a installé une échelle limnimétrique et un limnigraphe sur l'Anambé près de sa confluence avec la Kayanga. L'installation a fonctionné durant les hivernages 1968 et 1969 et a permis de faire les observations suivantes :

- 1968 : La mare en amont du pont de Kounkané cesse de communiquer avec l'aval dès le 23.02. Son niveau s'abaisse alors à un rythme d'environ 1 cm/jour. Elle se remplit à nouveau pendant l'hivernage et dès le 23.09, où son niveau monte de 76 cm en 24 h en raison du refoulement de la Kayanga, elle est à nouveau reliée à cette dernière. Le niveau maximum de la mare est atteint le 16 octobre et celle-ci cesse de communiquer avec l'aval dès le 30.12.
- 1969 : L'abaissement du niveau de la mare pendant la saison sèche correspond à 0,8 cm/j. Le 1.07, la mare qui était à sec se remplit brusquement et le 30.07 communique à nouveau avec l'aval. Le niveau maximum est atteint le 23.09. Durant l'hivernage 1969 il n'y a pas eu de refoulement de la Kayanga dans la mare de l'Anambé. La mare communique avec l'aval jusqu'au 23.02.70 et son niveau s'abaisse ensuite à un rythme de 1,0 cm/jour.

Le limnigraphe installé en 1977 au pont route de Kounkané n'a enregistré aucun mouvement du plan d'eau en 1977, la mare amont n'ayant jamais communiqué avec l'aval. Pendant l'hivernage 1978, le puits était ensablé jusqu'à 15 cm au-dessus du niveau du seuil et le limnigraphe n'a commencé à fonctionner que le 25.08. Le niveau maximum a été atteint au début octobre mais la cote est douteuse en raison d'un mauvais fonctionnement de l'appareil. Il se serait établi 1,50 m environ au-dessus du seuil sous le pont route.

5.2. Evaluation des apports

Les données disponibles concernant les apports de l'Anambé au pont de Kounkané sont insuffisantes et trop peu précises et se rapportent à des années d'hydraulicité tellement différentes qu'il est impossible de définir d'une manière scientifique les apports et leur modulation.

La seule approche possible consiste à chercher à relier les apports aux précipitations sur le bassin en se basant sur les coefficients d'écoulement observés dans la région et en admettant comme hypothèse de base qu'à une pluviométrie annuelle de probabilité d'occurrence donnée correspond un écoulement annuel de même probabilité. Une telle hypothèse est cependant arbitraire car ne tenant pas compte de la distribution des pluies dans l'année dont l'influence est tout aussi importante.

Compte tenu des résultats des analyses statistiques des apports de la Kayanga (voir paragraphe 4.1.4.) et des pluviométries annuelles observées à Vélingara (qui satisfont à un ajustement selon une loi log normale), il est possible de définir un coefficient d'écoulement correspondant aux différentes fréquences considérées :

Fréquence	Lame écoulee (mm)	Pluviométrie (mm)	Coëf.d'écoulement (%)
10 %	271	1402	19,3
20 %	231	1262	18,3
50 %	156	1030	15,2
80 %	79	842	9,4
90 %	49	758	6,5

Il faut remarquer que les coefficients d'écoulement définis ci-dessus sont des valeurs fictives, car la pluviométrie de Vélingara ne correspond pas à celle sur le bassin versant de la Kayanga. Ils n'ont qu'une valeur relative destinée avant tout à définir l'allure de courbe exprimant le coefficient d'écoulement en fonction de la fréquence. Cette courbe est donnée dans la figure 2-16.

La pluviométrie de Vélingara a été considérée comme représentative pour le bassin de l'Anambé, ainsi les coefficients d'écoulement seront dans ce cas des valeurs correctes. L'analyse des coefficients d'écoulement définis par l'ORSTOM pour les années 1967 (humide) et 1969 (sèche) indique des valeurs comprises entre 2,2 et 8,4 %. Il est donc raisonnable d'admettre pour une année moyenne un coefficient d'écoulement de 5 % environ. En traçant à

l'estime par le point représentatif d'un coefficient d'écoulement de 5 % et d'une probabilité de 50 % une courbe d'une allure similaire à celle obtenue pour le coefficient d'écoulement de la Kayanga, on peut estimer les coefficient d'écoulement à utiliser pour le bassin de l'Anambé. (voir figure 2-16). Le tracé de cette courbe est subjectif mais est néanmoins guidé par les valeurs extrêmes des coefficients d'écoulement observés dans le bassin de la Casamance auxquels on a arbitrairement attribué les probabilités de 80 % et 10 % respectivement.

Compte tenu de cette relation entre coefficient d'écoulement et fréquence de la pluviométrie annuelle à Vélingara on peut évaluer les apports annuels de l'Anambé pour différentes fréquences.

Fréquence	Pluviométrie	Coëf.d'écoulement	Lame écoulée	Apport annuel Anambé
%	mm	%	mm	10^6 m^3
5	1530	9,0	138	151
10	1402	8,4	118	130
20	1262	7,5	95	95
50	1030	5,0	52	55
80	842	2,2	19	21
90	758	1,3	10	11

Il convient de souligner le caractère nécessairement approximatif de cette évaluation des apports annuels de l'Anambé. Elle n'a été réalisée que pour préciser un ordre de grandeur raisonnable et compatible avec les observations réalisées en Casamance. Les valeurs obtenues sont en bon accord avec celles définies par l'ORSTOM. Elles sont également compatibles avec les apports annuels calculés pour la période 1976-78 à partir des observations aux ponts de Niapo et de Wassadou. Elles sont en revanche nettement inférieures à celles estimées dans l'étude GERCA. Ces dernières étaient basées sur les mesures réalisées pendant une seule saison des pluies et paraissent surestimer le coefficient de ruissellement d'autant plus que, le coefficient de ruissellement déterminé pour la Casamance à Kolda pour 1962 n'atteignait que 3,4 %, valeur tout à fait compatible avec celles définies plus tard par l'ORSTOM.

5.3. Evaluation des crues

L'évaluation des crues de l'Anambé est encore plus aléatoire que celle des apports annuels. Non seulement les données disponibles sont imprécises et fragmentaires mais les conditions d'écoulement dans l'Anambé sont influencées par le régime de la Kayanga et en outre la morphologie du bassin de l'Anambé permet de stocker dans sa partie basse un volume d'eau important permettant un écrêtement non négligeable des crues.

Les débits mensuels évalués pour la saison des pluies 1978 à partir des observations aux ponts de Niapo et de Wassadou suggère une distribution de l'apport annuel sur 4 mois, août - novembre, les mois extrêmes recevant chacun 10 % de l'apport annuel, les mois de septembre et octobre se partageant le reste à part égale. On peut admettre que le rapport entre débit de pointe et débit mensuel maximum sera du même ordre de grandeur que celui défini pour la Kayanga c'est-à-dire égal à 2,0 (voir paragraphe 4.2.2.). Dans ces conditions on peut évaluer à partir de l'apport annuel le débit de crue de la fréquence correspondante.

Période de retour	Débit mensuel max.	Débit de crue
1/5	15 m ³ /s	30 m ³ /s
1/10	20 m ³ /s	40 m ³ /s
1/20	24 m ³ /s	48 m ³ /s

Ces débits de crues peuvent paraître très faibles. Ils doivent être comparés à ceux de la Casamance à Kolda où le débit maximum observé en 10 ans a été 113m³/s pour un bassin versant de 3700 km². D'autre part les débits spécifiques de la Casamance à Fafakorou (bassin versant de 700 km²) sont encore plus faibles. Dans ces conditions les valeurs proposées pour l'Anambé ne semblent pas être sous-estimées. L'étude GERCA, basée sur la campagne de mesure réalisée en 1962 a estimé les crues décennales produites par les bassins versants de Goundaga et du Lebal et qui sont respectivement de 9,5 m³/s pour un bassin versant de 17,4 km² et de 52 m³/s pour un bassin versant de 47 km². Les valeurs ne sont pas en désaccord avec les débits de crues estimés pour l'Anambé. En effet les crues de petits bassins versants présentent un hydrogramme relativement pointu et leurs volumes restent modestes. La capacité de rétention du fond

de la cuvette de l'Anambé est telle que les pointes de crues des nombreux affluents sont très efficacement écrêtées.

Le bassin versant de Goundaga peut être considéré comme représentatif de ceux des affluents de l'Anambé, sa pente longitudinale varie entre 2 et 7 % et la perméabilité du sol est assez élevée. Le débit spécifique de la crue décennale a été estimé dans l'étude GERCA à 550 l/s.km² pour un bassin de 17,4 km². Comme on admet en règle générale que le rapport des débits de crues de 2 bassins similaires est égal à la racine carrée du rapport de leurs surfaces respectives, le débit de crue décennale d'un bassin d'une surface comprise entre 10 et 100 km² serait $Q = 0,13. A^{1/2}$, "A" étant la surface du bassin versant.

6. ETUDE DE LA PLUVIOMETRIE REGIONALE

6.1. Généralités

Les études antérieures (ORSTOM, GERCA) ont montré que la pluviométrie annuelle diminuait du sud vers le nord. Dans la région de la Casamance comprise entre Kolda et Vélingara les isohyètes annuelles sont orientées approximativement est-ouest et à un déplacement de 20 à 25 km vers le nord correspond une diminution des précipitations annuelles moyennes de 100 mm.

Les précipitations sont concentrées durant 5 mois, de juin à octobre, en une seule saison des pluies, liées au déplacement du front intertropical pendant l'année.

L'analyse des caractéristiques des précipitations durant l'année, en particulier leur répartition mensuelle et décadaire, la relation intensité - durée - fréquence ainsi que le début et la fin de l'hivernage, ne peut être réalisée valablement que lorsqu'on dispose de données s'étendant sur des périodes suffisamment longues. Seules, les stations de Kolda, Vélingara et Bassé satisfont cette condition puisqu'on y dispose de respectivement 56, 44 et 27 ans d'observation. En revanche l'analyse de la distribution des précipitations dans le bassin de l'Anambé nécessite un réseau d'observation plus dense qui n'a été mis en place que durant l'été 1978. On ne dispose ainsi que d'un laps de temps très court qui peut néanmoins permettre une première évaluation de la distribution spatiale des averses.

6.2. Analyse des précipitations mensuelles

L'objectif de cette analyse n'étant pas la définition des événements extrêmes il n'a pas été jugé nécessaire de rechercher un ajustement par l'une ou l'autre loi statistique. En outre, les séries d'observation sont suffisamment longues pour que les valeurs expérimentales pour les diverses probabilités de dépassement étudiées correspondent aux valeurs théoriques. Les valeurs données dans le tableau 2-11 et reportées graphiquement dans la figure 2-17 correspondent donc aux fréquences expérimentales. L'analyse de ces tableau et graphique appelle les commentaires suivants :

- La distribution statistique des différentes précipitations mensuelles n'est pas symétrique, les moyennes arithmétiques ne coïncident pas avec les valeurs médianes.
- En règle générale on observe entre les rapports des valeurs mensuelles correspondantes, définies aux 3 stations considérées, la même tendance qu'entre les valeurs annuelles, à savoir Kolda - Vélingara - Bassé, en les classant par ordre d'importance.

Le graphique de la figure 2 - 18 met en évidence l'homogénéité des distributions des précipitations dans l'année aux 3 stations considérées. On peut voir en effet que les moyennes des rapports des précipitations mensuelles et annuelles correspondantes sont très proches pour ces 3 stations. On peut ainsi considérer la distribution mensuelle (exprimée en pourcent de la pluviométrie annuelle) définie pour Vélingara comme représentative pour l'ensemble de la région et en particulier pour le bassin de l'Anambé. Le graphique de la figure 2 - 18 indique en outre la plage de variation possible des pourcentages mensuels de la pluviométrie annuelle, les limites supérieures et inférieures encadrant pour chaque mois 80 % des observations réalisées.

6.3. Analyse des précipitations décadaires

L'analyse des précipitations décadaires a été faite de la même manière que celle des précipitations mensuelles, c'est-à-dire en déterminant pour chaque décade les probabilités de dépassement expérimentales. Les résultats de cette analyse, concernant les stations de Kolda, Vélingara et Bassé sont donnés dans le tableau 2 - 12 et dans les graphiques de la figure 2 - 19. Ils appellent les commentaires suivants :

- On peut en règle générale classer les précipitations décadaires dans l'ordre décroissant Kolda - Vélingara - Bassé défini aussi bien pour les précipitations mensuelles que pour les pluviométries annuelles.
- Le maximum des précipitations décadaires se produit pour pratiquement toutes les fréquences considérées durant la dernière décade du mois d'août.

- A Vélingara on constate l'existence d'un second maximum des précipitations décadaires se produisant dans la première décade de juillet ou dans la dernière de juin. Ce phénomène est nettement moins accentué ou quasi inexistant à Kolda et Bassé. Il pourrait refléter l'influence du régime subéquatorial présentant une petite saison sèche de juillet à août. Cette influence se faisant encore sentir à Vélingara mais s'atténuant en directions nord et ouest.
- La distribution statistique des différentes précipitations décadaires n'est pas symétrique non plus, les moyennes arithmétiques ne coïncidant pas avec les valeurs médianes.

6.4. Relation intensité - fréquence - durée

Les précipitations journalières ne sont disponibles que pour les stations de Kolda et de Vélingara et pour ces deux stations les précipitations maximum annuelles de différentes durées ont été analysées. Comme il a été mentionné au paragraphe 4.2.2., on a considéré des durées de 1, 2, 3, 4 et 5 jours. Les familles de courbes "intensité - fréquence - durée" pour les fréquences $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$ et $1/10$ sont données pour ces deux stations à la figure 2-20. L'analyse de ces graphiques appelle les commentaires suivants :

- Les fréquences expérimentales utilisées permettent de tracer des familles de courbes régulières, l'ajustement d'une loi de Gumbel n'a été utilisé que pour l'évaluation des valeurs extrêmes.
- Les valeurs obtenues pour Kolda et Vélingara sont très voisines, ce qui indique que l'intensité des précipitations n'est pas fonction de la pluviométrie annuelle pour les fréquences considérées.

La seule station où l'on dispose de données pluviométriques pour des durées inférieures à 24 h pendant un laps de temps suffisant pour permettre une analyse statistique valable est celle de Georgetown en Gambie. Les courbes "intensité - fréquence - durée" y ont été déterminées pour des durées comprises entre 1 et 12 h et pour les fréquences $1/2$, $1/3$, $1/5$ et $1/10$. Comme l'analyse des précipitations extrêmes à Kolda et Vélingara a mis en évidence

l'uniformité régionale de cette caractéristique des précipitations, on est en droit d'admettre que les courbes "intensité - fréquence - durée" définies pour Georgetown sont valables également pour Vélingara et Kolda. La figure 2 - 21 confirme cette hypothèse, les points représentatifs des précipitations maximum de 1, 3, 6 et 12 h. à Georgetown, s'alignent en présentation double logarithmique avec ceux représentatifs des averses maximum de 1, 2, 3, 4 et 5 jours à Vélingara.

Dans ces conditions, les familles de courbes de la figure 2 - 21 sont représentatives également pour les caractéristiques des averses de courtes durées dans le bassin de l'Anambé.

6.5. Début et fin de l'hivernage - périodes de sécheresse

Le début de la saison des pluies est une date importante car il conditionne les semis. Il est donc indispensable de chercher à définir entre quelles dates cet événement est susceptible de se produire ainsi que le moment de la fin de l'hivernage.

La notion de début et de fin d'hivernage est subjective et dans la présente étude les critères suivants ont été adoptés, d'entente avec les agronomes :

- le début de l'hivernage correspond à la date de la première pluie annuelle égale ou supérieure à 20 mm.
- la fin de l'hivernage correspond à la date de la dernière pluie annuelle égale ou supérieure à 5 mm.

L'analyse des précipitations journalières à Vélingara et Kolda a permis de définir pour ces deux stations et pour chaque année les dates de début et fin d'hivernage. L'analyse statistique de ces dates a permis de tracer les courbes indiquant la probabilité que l'hivernage débute avant ou se termine après une date donnée. Ces courbes sont représentées à la figure 2 - 22 et le tableau ci-après en résume certaines valeurs caractéristiques :

	Vélingara	Kolda
Début de l'hivernage		
avant la date indiquée :		
8 années sur 10	18 juin	20 juin
1 année sur 2	8 juin	10 juin
2 années sur 10	29 mai	1 juin
Fin de l'hivernage		
après la date indiquée :		
8 années sur 10	15 octobre	18 octobre
1 année sur 2	25 octobre	26 octobre
2 années sur 10	6 novembre	4 novembre

On peut constater un décalage d'approximativement 2 jours entre début et fin d'hivernage à Vélingara et Kolda, explicable par l'orientation des vents dominants durant la saison des pluies. En outre dans 80 % des années pendant lesquelles on dispose d'observations, la plage de variation des dates de début et de fin d'hivernage couvre une période d'environ 20 jours.

Utilisant d'autres critères pour définir la saison des pluies, l'étude SOMIVAC a proposé comme date limite pour début et fin d'hivernage couvrant 80 % des années d'observation le 23 juin et le 6 octobre, la durée de l'hivernage étant ainsi légèrement plus courte que celle définie sur la base des critères utilisés dans la présente étude.

Le risque d'occurrence d'une période de sécheresse de durée variable durant l'hivernage a été également analysé à partir des observations journalières à Vélingara et Kolda. Pour cette analyse on a considéré comme jour sans pluie toute journée où les précipitations étaient inférieures à 5 mm. Trois périodes de 30 jours ont été considérées, à savoir 1 - 30 juin, 15 juin - 15 juillet et 1 - 30 juillet.

Des courbes "fréquence - durée des périodes sans pluie" ont été tracées pour chacune des stations et période de 30 jours étudiées. Elles sont données dans la figure 2 - 23 et leur analyse appelle les commentaires suivants :

- A durée égale, la fréquence des périodes de sécheresse au début de l'hivernage diminue plus la période de 30 jours considérée est tardive.
- La fréquence des périodes de sécheresse est plus faible à Vélingara qu'à Kolda pour la période du 1 - 30 juin. En revanche elle est presque identique pour les 2 autres périodes étudiées.

En considérant les résultats obtenus pour Vélingara comme représentatifs des précipitations ponctuelles sur le bassin de l'Anambé, on peut établir une matrice donnant pour chaque période de 30 jours la durée des périodes de sécheresse en fonction de leur probabilité d'occurrence.

	1 an sur 2	1 an sur 5	1 an sur 10
1.06 - 30.06	11 jours	15 jours	20 jours
15.06 - 15.07	9 jours	11 jours	13 jours
1.07 - 30.07	8 jours	10 jours	10 jours

6.6. Pluviométrie sur le bassin de l'Anambé et distribution spatiale

Les stations de Vélingara et de Kounkané encadrent au nord et au sud-est le bassin de l'Anambé. On dispose à ces 2 stations de 14 années d'observations communes qui permettent une analyse comparée. Les caractéristiques de la période 1965 - 78 sont les suivantes :

	Vélingara	Kounkané
moyenne	872 mm	941 mm
écart type	140 mm	165 mm
coefficient de variation	0,16	0,18

La distance séparant Kounkané de Vélingara étant de 23 km, on retrouve approximativement la différence des pluviométries annuelles selon la carte des isohyètes définie par l'ORSTOM et mentionnée au paragraphe 6.1. qui précède. La corrélation entre les pluviométries annuelles est satisfaisante le coefficient de corrélation $r = 0,79$, ce qui souligne le caractère d'homogénéité des précipitations régionales, l'équation de la droite de régression est la suivante :

$$P \text{ Kounkané} = 1,07 P \text{ Vélingara} + 133,8 \text{ (mm)}$$

La corrélation entre les précipitations mensuelles est de meilleure qualité car le coefficient de corrélation $r = 0,89$. L'équation de la droite de régression est la suivante :

$$P \text{ Kounkané} = 0,95 P \text{ Vélingara} + 18 \text{ (mm)}$$

Selon cette équation, les précipitations mensuelles à Kounkané sont légèrement supérieures à celles de Vélingara lorsqu'elles sont inférieures à 350 mm/mois.

La pluviométrie annuelle moyenne sur le bassin de l'Anambé devrait être comprise entre les valeurs correspondantes de Vélingara et de Kounkané. Toutefois comme durant les années à faible pluviométrie on a observé des valeurs très voisines aux 2 stations (1968, 1976, 1977), il paraît prudent d'adopter pour la pluviométrie moyenne sur l'ensemble du bassin de l'Anambé, les valeurs observées à Vélingara.

La simulation de l'exploitation de la future retenue sur la Kayanga nécessite non seulement la reconstitution d'une séquence d'apports aussi longue que possible, mais la connaissance des précipitations mensuelles sur le bassin de l'Anambé pendant la même période afin de définir au plus près les besoins en eau d'irrigation. Les précipitations mensuelles sont connues à Vélingara depuis 1932 et il a été possible d'étendre cette séquence en recourant à des corrélations avec Kolda et Tambacounda de façon à constituer une série de 61 années complètes qui sont données dans le tableau 2 - 13.

Un réseau pluviométrique comprenant en plus des stations de Vélingara et Kounkané, 4 postes équipés de pluviomètres journaliers a été mis en place en août 1978 dans le bassin de l'Anambé. Les averses qui se sont produites entre le 20.08 et le 15.10.78 ont ainsi pu être étudiées. Les 4 postes pluviométriques installés en août 1978 sont ceux d'Anambé, Awataba, Kérévane et Teyel. Toutefois comme les observations faites au dernier poste mentionné ne correspondaient pas aux autres, elles ont été écartées. Les précipitations moyennes ont été calculées selon la méthode des polygones de Thiessen et les résultats suivants ont été obtenus :

<u>Vélingara</u>	<u>Koukané</u>	<u>Kérévane</u>	<u>Anambé</u>	<u>Awataba</u>	<u>Bassin</u>
Précipitation totale du 20.08 - 15.10.78 (mm)					
463,3	466,6	445	494,5	433,1	455,3
Nombre de jours sans pluie (inférieur à 5 mm/j)					
25	24	34	29	36	15
Intensité journalière maximale observée (mm/j)					
92,2	67,9	59	56	72	46,7

L'analyse de ces résultats met en évidence les points suivants :

- les précipitations tombées sur l'ensemble du bassin pendant la période considérée sont légèrement inférieures à celles observées aux stations de Vélingara et de Koukané. La période d'observation est cependant trop courte mais cette constatation semble justifier la représentativité des mesures de Vélingara pour l'ensemble du bassin.
- le nombre de jours sans pluie varie entre 24 et 36 et reste ainsi dans des limites relativement étroites confirmant l'homogénéité des précipitations sur le bassin. En revanche le nombre de jours sans pluie sur le bassin ne dépasse pas 15 jours, ce qui s'explique par le passage relativement lent des zones pluvieuses au-dessus du bassin.
- l'analyse des précipitations journalières montre que le coefficient d'abattement diminue rapidement avec l'augmentation de la surface considérée. Les coefficients d'abattement observés pendant les averses les plus importantes de la période sont les suivants :

Anambé	} A = 660 km ²	21.8.78	: 43,7/52 mm = 0,84	
Awataba		26.8.78	: 64,0/72 mm = 0,89	
Koukané		25.9.78	: 50,6/51,9mm = 0,97	
Anambé	} A = 850 km ²	21.8.78	: 55,4/92,2mm = 0,60	
Awataba		26.8.78	: 57,4/72,0mm = 0,80	
Koukané		} A = 850 km ²	25.9.78	: 39,6/51,9mm = 0,76
Vélingara				

Ensemble du bassin (1100 km ²)	21.8.78	:	45,6/92,2 mm	=	0,49
	26.8.78	:	45,3/72,0 mm	=	0,63
	25.9.78	:	33,7/51,9 mm	=	0,65

Les intensités ponctuelles observées en 1978 se produisent une fois chaque année ou chaque 2 ans, et le coefficient d'abattement augmente généralement avec l'accroissement de l'intensité des averses. Les données disponibles sont cependant actuellement encore insuffisantes pour qu'il soit possible d'en tirer davantage qu'une appréciation qualitative.

7. AUTRES CARACTERISTIQUES CLIMATOLOGIQUES

7.1. Températures

Le tableau 2 - 5 récapitule les maximums et minimums mensuels absolus observés, ainsi que les moyennes mensuelles et annuelles des maximums et minimums journaliers et des moyennes journalières pour les stations de Kolda, Bassé et Séfa. Il indique en outre les moyennes mensuelles des températures du sol observées à 30 et 120 cm de profondeur à Bassé.

7.2. Humidité relative

Les moyennes mensuelles des maximums et minimums journaliers et des moyennes journalières des humidités relatives observées aux stations de Ziguinchor, Kolda, Kédougou, Bassé et Tambacounda sont récapitulées dans le tableau 2-6.

7.3. Vitesse du vent et insolation

Les valeurs moyennes des observations disponibles sont condensées dans le tableau 2-7.

7.4. Evaporation

Les valeurs mensuelles moyennes des mesures réalisées au bac ainsi qu'à l'évaporimètre Piche sont récapitulées dans le tableau 2-8. Les taux moyens d'évapotranspiration potentielle et d'évaporation potentielle d'une surface d'eau sont des éléments importants aussi bien pour la définition des besoins en eau de plantes que pour l'évaluation des pertes par évaporation dans la future retenue sur la Kayanga.

En règle générale l'évaluation du taux d'évaporation d'une surface d'eau se fait à partir des mesures réalisées dans les bacs d'évaporation en utilisant un facteur correctif. Or les seules mesures dont on dispose dans la région sont celles de Djibélor et de Séfa en Basse Casamance donc

relativement influencées par la proximité de la mer. En revanche, les mesures d'évaporation au bac réalisées dans le bassin du Sénégal dans la région de Bafoulabé donnent des valeurs mensuelles proches de celles observées à Goundaga et à Kédougou.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Goundaga	202	-	-	-	-	132	136	115	108	132	150	183
Kédougou	252	258	265	228	-	131	111	123	155	200	208	-
Bafoulabé	207	258	305	275	300	244	146	146	185	159	137	172

La prise en considération pour la région intéressée par le projet, de taux d'évaporation observés dans une région aux caractéristiques plus continentales et plus sèches est prudente car ne sous-estimant pas les pertes par évaporation. En tenant compte d'un facteur correctif de 0,8 pour passer de l'évaporation au bac à celle sur une surface libre, on obtient un taux annuel d'évaporation de 2030 mm/an.

Cette valeur est confirmée par l'application de la formule de Blaney-Criddle pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle. En effet on obtient à partir des données climatologiques observées à Bassé un taux annuel d'évaporation de 2035 mm pour la zone du projet.

Si le taux annuel d'évaporation de la région de Bafoulabé correspond à celui de la Haute Casamance, la distribution des taux d'évaporation durant l'année n'y sera pas tout à fait similaire en raison des conditions climatologiques un peu différentes. C'est pourquoi il est proposé de retenir les valeurs mensuelles obtenues par l'application de la formule de Blaney-Criddle et qui sont les suivantes :

Evaporation potentielle d'une surface d'eau libre (mm)

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
161	164	200	217	228	201	167	123	116	150	152	156	2035

Pour l'évaluation des pertes par évaporation dans la future retenue, il sera nécessaire de déduire de l'évaporation potentielle la hauteur de précipitation du mois correspondant. La pluviométrie annuelle dans la zone de la retenue étant de l'ordre de 1250 mm/an selon la carte des isohyètes de l'ORSTOM, le taux annuel des pertes par évaporation dans la retenue sera de l'ordre du mètre.

Tableau 2 - 1

DEBITS MENSUELS DE LA KAYANGA OBSERVES AU PONT DE NIAPO
ET AU PONT DE WASSADOU (m³/s)

	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Total
A) <u>PONT DE NIAPO</u>													
1962 - 63	0,7	1,3	5,2	17,8	50,0	51,5	17,7	5,6	3,7	2,7	1,8	1,0*	13,2
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
1968 - 69	1,17	2,29	3,60	4,52	12,54	9,21	3,15	1,81	1,38	1,12	0,99	0,82	3,56
1969 - 70	0,69	2,30	5,97	4,50	13,44	10,38	5,88	2,05	1,33	1,07	0,96	0,82	4,12
1970 - 71	0,72												
1976 - 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
1977 - 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
1978 - 79	0,6	1,8	3,8	2,5	6,3	6,4	1,7						
Moyenne	0,77	1,70	3,91	5,44	17,09	24,36	6,47	2,70	1,85	1,46	1,17	0,89	6,18
Ecart type	0,21	0,86	1,87	5,76	17,29	32,05	6,95	2,18	1,31	0,92	0,57	0,29	5,72
	* valeurs estimées												
B) <u>PONT DE WASSADOU</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
1977 - 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
1978	0,63	2,3	4,1	3,7	9,8	11,5							

Sources : 1962-63 Rapport GERCA
1967-71 et 76-77 Publication ORSTOM
1977-78 et 1978 Données brutes ORSTOM, non publiées

Tableau 2 - 2

DEBITS MENSUELS DE LA CASAMANCE A KOLDA (m³/s)

	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	
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)*	0,16	2,42	12,54	33,49	33,03	10,62	4,47	3,03	2,47	1,67	0,97	8,83
1968 - 69	0,62	0,49	1,63	2,51	4,82	7,74	2,16	1,19	0,91	0,68	0,44	0,26	1,96
1969 - 70	0,15	0,16	2,74	9,59	46,58	13,73	5,15	2,56	1,74	1,18	0,79	0,51	7,05
1970 - 71	0,32	1,25	(3,0)*	13,7	10,1	3,36	1,47	0,93	0,67	0,49	0,35	0,17	3,00
1971 - 72	0,07	0,48	6,90	12,0	12,4	6,21	2,15	1,27	0,93	0,54	0,32	0,16	3,64
1972 - 73	0,12	0,15	(1,0)*	4,0	3,8	1,92	0,89	0,43	0,26	0,16	0,08	0,03	1,08
1973 - 74	0,0	0,32	3,04	8,78	8,27	3,12	1,13	0,56	0,34	0,22	0,13	0,06	2,18
1974 - 75	0	0,19	8,6	5,02	8,15	2,96	1,04	0,51	0,41	0,17	0,07	0,03	2,30
1975 - 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	4,89
1976 - 77	0,03	0,09	2,15	5,87	7,59	7,84	2,50	0,85	0,66	0,38	0,26	0,14	2,38
1977 - 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

* valeurs estimées

Sources 1962 - 63 Rapport GERCA
 1967 - 76 Publication ORSTOM
 1977 - 78 Données brutes ORSTOM, non publiées

Tableau 2 - 3

MODULES ANNUELS DE LA GAMBIE, DE LA FALEME
ET DU SENEGAL (m³/s)

	GAMBIE GOULOUMBO	FALEME KIDIRA	SENEGAL BAKEL
1903 - 04		137	611
1904 - 05		174	733
1905 - 06		206	868
1906 - 07		315	1225
1907 - 08		106	521
1908 - 09		185	764
1909 - 10		223	898
1910 - 11		155	667
1911 - 12		115	537
1912 - 13		122	561
1913 - 14		36	270
1914 - 15		85	441
1915 - 16		133	590
1916 - 17		164	688
1917 - 18		152	645
1918 - 19		297	1140
1919 - 20		113	529
1920 - 21		204	832
1921 - 22		85	429
1922 - 23		325	1217
1923 - 24		181	754
1924 - 25		325	1241
1925 - 26		203	837
1926 - 27		106	519
1927 - 28		275	1073
1928 - 29		228	902
1929 - 30		225	896
1930 - 31		211	836
1931 - 32		185	737
1932 - 33		156	765
1933 - 34		233	833
1934 - 35		192	698
1935 - 36		338	1163
1936 - 37		294	1231
1937 - 38		167	643
1938 - 39		219	806
1939 - 40		142	558
1940 - 41		107	429
1941 - 42		107	417
1942 - 43		87	435
1943 - 44		156	664
1944 - 45		66	330
1945 - 46		242	943
1946 - 47		183	743
1947 - 48		157	665
1948 - 49		128	571
1949 - 50		97	466

Tableau 2- 3

(SUI TE)

	GAMBIE	FALEME	SENEGAL
	GOULOUMBO	KIDIRA	BAKEL
1950 - 51		305	1150
1951 - 52		238	840
1952 - 53		220	716
1953 - 54	320	131	629
1954 - 55	370	262	1065
1955 - 56	460	273	1047
1956 - 57	380	256	951
1957 - 58		230	1027
1958 - 59	370	216	1034
1959 - 60	320	203	788
1960 - 61	190	145	620
1961 - 62	445	246	943
1962 - 63	350	219	767
1963 - 64		164	665
1964 - 65	450	270	969
1965 - 66	315	267	968
1966 - 67	220	279	814
1967 - 68	390	268	1038
1968 - 69	190	72	507
1969 - 70	280	165	971
1970 - 71	192	128	688
1971 - 72	161	150	738
1972 - 73	120	44	315
1973 - 74	168	77	444
1974 - 75	275	164	754
1975 - 76	220	141	601
1976 - 77	146	74	470
1977 - 78	91	66	334
MOYENNE 1903-78		181,9	748,5

Tableau 2-4

PLUVIOMETRIE ANNUELLE A DIFFERENTES STATIONS (mm)

	VELINGARA	KOLDA	BASSE	KOUNKANE
1922		960		
1923		1026		
1924		1403		
1925		1171		
1926		1248		
1927		1519		
1928		1351		
1929		1391		
1930		924		
1931		841		
1932	1068	1090		
1933		1530		
1934	2305	1071		
1935	1056	1459		
1936	1219	1364		
1937	770	999		
1938	885	974		
1939	1141	1086		
1940	1152	1150		
1941	1288	1063		
1942	1104	1017		
1943	1136	1558		
1944	895	1028	826	
1945	948	1071	950	
1946	1133	1378		
1947	1005	1186		
1948	972			
1949	901	1029	802	
1950	1229	1544	1239	
1951	1428	1438	1206	
1952	1163	1372	1170	
1953	980	1356	1035	
1954	778	1231	919	
1955	1257	1289	1441	
1956	963	1221	868	
1957	1419	1629	1175	
1958	1293	2152	1261	
1959		1139	964	
1960		1115	989	
1961	1523	1216	1578	
1962	1056	1216	1106	
1963	935	1140	1004	
1964	1554	1250	1139	
1965	924	1178	751	997
1966	1035	1059	885	1011
1967	1096	1219	1090	1139
1968	816	765		787
1969	863	1410		993

Tableau 2 - 4 (SUITE)

1970	774	1046		914
1971	812	1383		1046
1972	700	873	749	814
1973	870	1172	933	828
1974	704	1019	848	868
1975	1041	1188	1208	1273
1976	827	920	803	835
1977	685	648	684	622
1978	1059	976	1033	1047
MOYENNE	1062,8	1202,6	1023,4	941,0
ECART TYPE	287,8	249,1	213,1	165,0

Tableau 2-5 : TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES A DIFFERENTES STATIONS (°C)

Station	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Maximums absolus observés														
Séfa	50-75	39	42,8	43,5	43	44	42	37,5	36	36	40,8	37,8	38,8	
Kolda	51-76	41,2	42,5	44,2	44,6	45,5	93,8	42	35,4	35,8	38,8	37,2	38,2	
Moyennes des max. journaliers														
Séfa	50-75	33,8	36,4	38,8	39,3	38,7	35,3	31,9	30,9	31,4	32,6	37,7	32,4	
Kolda	51-76	34,6	37,3	39,6	40,3	39,6	35,8	32,1	31,1	31,6	33	34,2	33,3	
Bassé	50-74	34,9	37,6	39,8	40,9	40,7	36,4	32,8	31,6	32,4	33,6	35	33,8	
Moyennes journalières														
Séfa	50-75	24,1	26,4	28,4	29,4	30,2	29,1	27,3	26,7	26,8	27,2	26,5	23,9	27,1
Kolda	51-76	23,6	25,7	29,2	30,7	31,3	29,9	27,5	26,9	27	27,6	26,6	23,7	27,6
Bassé	50-74	24,7	27,3	29,2	31,4	32,3	29,4	27,8	26,9	27,2	28,2	27,5	24,7	29,1
Tambacounda	51-72	25,1	27,7	30,1	31,8	31,9	30,2	27,4	26,7	27,0	28,0	27,4	24,7	28,1
Moyennes des minimums journaliers														
Séfa	50-75	14,4	16,2	18	19,5	21,6	22,8	22,6	22,4	22,1	21,7	19,2	15,3	
Kolda	51-76	13	16	18,9	21,2	23	24	22,9	22,7	22,5	22,3	18,9	14	
Bassé	50-74	14,5	17	18,6	21,8	24	23,4	22,8	22,1	22,1	22,7	20	15,6	
Minimums absolus observés														
Séfa	50-75	7,1	10,9	12,5	15	14,5	15	15,9	17	15	16,3	13	7,1	
Kolda	51-76	6	8,6	11,2	16,2	18,3	19,2	18,7	19	18,6	16,6	9,7	6,7	
Températures du sol à Bassé														
Profondeur														
- 30 cm	72-77	27,1	29,3	30,2	30,7	31	34,1	31	30,2	30,2	31	31,1	31,1	31,1
- 120 cm	72-77	29,3	30,4	32,1	33	33,7	35,1	33	32,1	32,1	33	33,1	33,1	33,1

Tableau 2-6 : HUMIDITE RELATIVE DE L'AIR (%)

Station	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Moyennes mensuelles des maximums														
Ziguinchor	51-76	87,5	87,7	89,2	90,1	92,4	92,4	94	97,6	98,6	98,7	98,2	26,8	93,6
Kolda	51-76	88,6	82,3	81,6	80,6	83,3	91,5	96,8	97,5	97,5	97,9	97,8	94,8	90,9
Kédougou	71-76	44,8	46,7	46,3	53,7	67,3	88,1	95,8	88,2	98,7	95,8	84,5	64,5	73,7
Bassé	72-77	85	83	83	87	87	95	98	99	99	99	97	91	92
Tambacounda	71-76	37,3	37,1	37,4	42,1	55,4	80,2	95,1	98,3	98,8	97,7	84,6	58,2	68,5
Moyennes mensuelles														
Ziguinchor	51-76	57,7	56,5	56,6	58,4	65,2	65,2	72,3	81,3	84,1	82,6	78,7	70,9	68,9
Kolda	51-76	53,5	49,5	49,4	50,4	56	69,2	79,4	82,8	81,9	78,5	69,1	60	65
Kédougou	1/2(max+min)	30,2	32,2	29,9	37,5	48,4	68,6	79,3	82,5	80,9	72,7	57,0	42,3	55,1
Bassé	72-77	31	28	30	32	40	57	74	79	80	74	56	44	52,1
Tambacounda	1/2(max+min)	24	23,8	24	27,2	36,9	59	77	82	80,9	71,9	53,6	37,4	49,8
Moyennes mensuelles des minimums														
Ziguinchor	51-76	27,8	25,4	23,9	26,7	37,9	50,5	50,5	65	69,6	66,5	59,3	45	44,3
Kolda	51-76	18,4	16,8	17,1	20,1	28,8	46,8	61,9	68,1	66,2	59,1	40,4	25,3	39,1
Kédougou	71-76	15,6	17,8	13,4	21,3	29,6	49,2	62,8	66,8	62,2	49,7	29,6	20	41,9
Bassé	72-77	10	9	7	10	15	25	41	55	54	35	17	14	24
Tambacounda	71-76	10,6	10,1	10,6	12,2	18,4	37,7	58,9	65,6	62,9	46,0	22,5	16,6	39

Tableau 2-7 : VITESSE DU VENT ET INSOLATION A DIFFERENTES STATIONS

Station	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
Vitesses moyennes du vent		m/s													
Bassé	72-77	1,5	2,2	2,2	2,3	2,6	2,6	2,1	1,9	1,5	1,3	1,4	1,6	2,0	
Insolation en heures/mois															
Ziguinchor	51-76	245,6	247,6	297,4	298,4	292,1	108,7	164,4	140	163,3	218,8	245,7	224,5	228,4	
Séfa	66-75	278,5	269	299,6	300,5	298,5	242,3	208,6	185,8	186,8	233,8	253	261,2	251,4	
Kolda	51-76	270,3	257,9	291,9	288,3	284,6	236,7	211,1	181,2	180,5	226,3	244,1	245,2	264	
Tambacounda	51-70	229,4	238	294,5	282	257,3	237	176,7	155	180	217	237	201,5	225,5	

Tableau 2-8 : EVAPORATION (mm)

A. MESURES AU BAC

Station	Type	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	mm/an
Djibelor	Class.A	74-76	147	157	203	222	215	182	116	96	112	124	124	119	1817
Séfa	Class.A	70-71	201,5	224	294,5	309	303,8	216	124	93	111	139	153	155	2323,9
Dioulacolou	Colorado	63								161	150	140	180	192	
Goundaga	Colorado	62/3	202					132	136	115	108	132	150	183	
Kédougou	Class.A		252	258	265	228			131	111	123	155	200	208	
Bassé	Class.A	77-78	167	193	257	279	285	228	214	198	192	167	138	121	2439

B. EVAPORIMETRE PICHE

Station	Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	mm/an
Ziguinchor	51-76	150,4	161	189,1	172,5	159,7	109,5	62	48,1	49,5	63,6	90	127,1	1388
Séfa	64-75	274,3	268,6	325,9	302,9	242,4	142,4	68,3	45	44	62,6	120,3	194,8	2091,9
Kolda	51-76	195,4	221,4	277,5	271,2	258,8	156,6	77,3	54,4	52,1	64,2	100,9	149,4	1879
Kédougou	71-76	279	285,6	350,3	333	270	126	65,1	50	54	93	162	214	2282
Bassé	72-77	282,1	313,6	378,2	405	390,6	243	127,1	83,7	72	93	165	213,9	2767,2
Tambacounda		325,5	331,7	378,2	372	353,4	219	102,3	65,1	57	93	171	241,8	2710

Tableau 2-9 : DEBITS MENSUELS DE LA KAYANGA A NIAPO (m³/s)

ANNEE	MAI	JUIN	JUIL	AOÛT	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MARS	AVR	MODULE
1903	0.7	1.8	5.3	5.8	19.7	22.2	6.1	2.3	1.5	1.2	0.9	0.7	5.7
1904	0.7	2.3	7.7	5.5	29.6	33.5	8.9	3.1	2.0	1.4	1.0	0.7	8.3
1905	0.7	2.0	9.8	10.8	38.3	43.3	11.3	3.2	2.3	1.6	1.1	0.7	10.5
1906	0.7	2.9	10.4	11.5	41.0	46.4	12.1	4.0	2.4	1.7	1.1	0.7	11.3
1907	0.7	1.3	3.3	3.6	11.3	12.7	3.7	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	3.5
1908	0.7	2.5	8.4	9.3	32.6	36.9	9.7	3.4	2.1	1.5	1.1	0.7	9.1
1909	0.7	3.0	10.9	12.0	42.9	46.5	12.6	4.2	2.5	1.8	1.2	0.7	11.7
1910	0.7	2.0	6.5	7.1	24.5	27.7	7.4	2.7	1.7	1.3	1.0	0.7	6.9
1911	0.7	1.4	3.9	4.2	13.7	15.5	4.4	1.8	1.3	1.0	0.9	0.7	4.1
1912	0.7	1.5	4.3	4.7	15.6	17.6	4.9	2.0	1.4	1.1	0.9	0.7	4.6
1913	0.4	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
1914	0.7	1.0	1.9	2.0	5.8	6.5	2.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	2.0
1915	0.7	1.7	5.0	5.5	18.6	21.0	5.8	2.2	1.5	1.2	0.9	0.7	5.4
1916	0.7	2.2	7.0	7.7	26.9	30.4	8.1	2.9	1.8	1.4	1.0	0.7	7.6
1917	0.7	2.0	6.3	6.9	23.7	26.5	7.2	2.6	1.7	1.3	1.0	0.7	6.7
1918	0.7	4.5	17.1	19.0	68.9	78.0	20.0	6.3	3.6	2.4	1.4	0.7	15.5
1919	0.7	1.4	3.7	4.1	13.2	14.9	4.2	1.8	1.3	1.0	0.9	0.7	4.0
1920	0.7	2.8	9.6	10.6	37.7	42.7	11.2	3.8	2.3	1.6	1.1	0.7	10.4
1921	0.7	1.0	1.9	2.0	5.8	6.5	2.1	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	2.0
1922	0.7	4.5	17.5	19.3	70.4	79.7	20.4	6.5	3.7	2.4	1.4	0.7	18.9
1923	0.7	2.4	8.1	9.0	31.5	35.6	9.4	3.3	2.0	1.5	1.1	0.7	8.8
1924	0.7	4.5	17.5	19.3	70.4	79.7	20.4	6.5	3.7	2.4	1.4	0.7	18.9
1925	0.7	2.7	9.6	10.6	37.5	42.4	11.1	3.8	2.3	1.6	1.1	0.7	10.3
1926	0.7	1.3	3.3	3.6	11.3	12.7	3.7	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	3.5
1927	0.7	3.8	14.2	15.7	56.9	64.4	16.6	5.4	3.1	2.1	1.3	0.7	15.4
1928	0.7	3.1	11.2	12.4	44.2	50.0	13.0	4.3	2.6	1.8	1.2	0.7	12.1
1929	0.7	3.1	11.0	12.1	43.4	49.1	12.8	4.2	2.5	1.8	1.2	0.7	11.9
1930	0.7	2.9	10.1	11.1	39.6	44.8	11.7	3.9	2.4	1.7	1.1	0.7	10.9
1931	0.7	2.5	8.4	9.3	32.6	36.9	9.7	3.4	2.1	1.5	1.1	0.7	9.1
1932	0.7	2.1	6.5	7.2	24.8	28.0	7.5	2.7	1.8	1.3	1.0	0.7	7.0
1933	0.7	3.2	11.5	12.7	45.6	51.5	13.4	4.4	2.6	1.8	1.2	0.7	12.4
1934	0.7	2.6	8.9	9.8	34.5	39.0	10.3	3.5	2.2	1.6	1.1	0.7	9.6
1935	0.7	4.7	18.3	20.3	73.9	83.7	21.4	6.8	3.8	2.5	1.5	0.7	19.9
1936	0.7	4.1	15.5	17.1	62.0	70.2	18.0	5.6	3.3	2.2	1.4	0.7	16.7
1937	0.7	2.2	7.2	6.0	27.8	31.4	8.4	3.0	1.9	1.4	1.0	0.7	7.8
1938	0.7	3.0	10.6	11.7	41.8	47.3	12.3	4.1	2.5	1.7	1.2	0.7	11.5
1939	0.7	1.8	5.6	6.2	21.0	23.7	6.5	2.4	1.6	1.2	0.9	0.7	6.0
1940	0.7	1.3	3.3	3.6	11.6	13.0	3.8	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	3.6
1941	0.7	1.3	3.3	3.6	11.6	13.0	3.8	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	3.6
1942	0.7	1.0	2.0	2.2	6.3	7.1	2.3	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	2.2
1943	0.7	2.1	6.5	7.2	24.8	28.0	7.5	2.7	1.8	1.3	1.0	0.7	7.0
1944	0.5	0.6	0.9	0.9	2.0	2.2	0.9	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.9
1945	0.7	3.3	12.1	13.4	48.0	54.3	14.1	4.6	2.7	1.9	1.2	0.7	13.1
1946	0.7	2.4	8.3	9.1	32.1	36.2	9.6	3.3	2.1	1.5	1.1	0.7	8.9
1947	0.7	2.1	6.6	7.2	25.1	28.3	7.6	2.7	1.8	1.3	1.0	0.7	7.1
1948	0.7	1.6	4.7	5.1	17.2	19.4	5.4	2.1	1.4	1.1	0.9	0.7	5.0
1949	0.7	1.2	2.7	2.9	8.9	10.0	3.0	1.4	1.1	0.9	0.8	0.7	2.9
1950	0.7	4.3	16.2	17.9	65.0	73.6	18.9	6.0	3.5	2.3	1.4	0.7	17.5
1951	0.7	3.3	11.8	13.1	46.9	53.1	13.8	4.5	2.7	1.9	1.2	0.7	12.3
1952	0.7	3.0	10.7	11.8	42.1	47.6	12.4	4.1	2.5	1.7	1.2	0.7	11.5
1953	0.7	1.7	4.9	5.4	18.0	20.3	5.6	2.2	1.5	1.2	0.9	0.7	5.3
1954	0.7	3.4	13.4	14.8	53.4	60.4	15.6	5.1	3.0	2.0	1.3	0.7	14.5
1955	0.7	3.8	14.1	15.6	56.4	63.6	16.4	5.3	3.1	2.1	1.3	0.7	15.3
1956	0.7	3.5	13.0	14.4	51.8	58.6	15.1	4.9	2.9	2.0	1.3	0.7	14.1
1957	0.7	3.1	11.3	12.5	44.8	50.6	13.1	4.4	2.6	1.8	1.2	0.7	12.2
1958	0.7	2.9	10.4	11.5	41.0	46.3	12.1	4.0	2.4	1.7	1.1	0.7	11.2
1959	0.7	2.7	9.6	10.6	37.5	42.4	11.1	3.8	2.3	1.6	1.1	0.7	10.3
1960	0.7	1.9	5.3	6.4	21.8	24.6	6.7	2.5	1.6	1.2	1.0	0.7	6.2
1961	0.7	3.4	12.4	13.7	49.1	55.5	14.4	4.7	2.8	1.9	1.2	0.7	13.4
1962	0.7	3.3	12.2	13.5	48.5	54.3	14.2	4.7	2.8	1.9	1.2	0.7	13.2
1963	0.7	2.2	7.0	7.7	26.9	30.4	6.1	2.9	1.8	1.4	1.0	0.7	7.5
1964	0.7	2.7	13.9	15.4	55.6	62.9	16.2	5.2	3.1	2.1	1.3	0.7	15.1
1965	0.7	2.4	7.9	3.7	30.5	34.4	9.1	3.2	2.0	1.5	1.0	0.7	8.5
1966	0.7	3.9	14.5	16.0	58.0	65.6	16.9	5.4	3.2	2.1	1.3	0.7	15.7
1967	0.7	3.4	12.6	13.9	50.0	56.5	14.6	4.6	2.8	1.9	1.2	0.7	13.5
1968	0.7	1.3	3.3	3.6	11.6	13.0	3.8	1.6	1.2	1.0	0.8	0.7	3.6
1969	0.7	1.4	3.9	4.2	13.7	15.4	4.4	1.8	1.3	1.0	0.9	0.7	4.1
1970	0.7	1.6	4.7	5.1	17.2	19.4	5.4	2.1	1.4	1.1	0.9	0.7	5.0
1971	0.7	2.0	6.1	6.7	23.2	26.2	7.1	2.6	1.7	1.3	1.0	0.7	6.6
1972	0.5	0.5	0.6	0.6	1.0	1.1	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6
1973	0.6	0.3	1.4	1.5	3.8	4.2	1.5	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	1.4
1974	0.7	2.2	7.0	7.7	26.9	30.4	6.1	2.9	1.8	1.4	1.0	0.7	7.5
1975	0.7	1.8	5.5	6.1	20.7	23.4	6.4	2.4	1.6	1.2	0.9	0.7	6.0
1976	0.6	0.9	1.6	1.7	4.5	5.0	1.7	1.0	0.8	0.7	0.7	0.6	1.6
1977	0.5	0.6	0.9	0.9	2.0	2.2	1.0	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.9
MOY.	0.7	2.4	8.1	8.9	31.3	35.4	9.3	3.2	2.0	1.5	1.0	0.7	8.7

Tableau 2-10 : COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT POUR DIFFERENTS BASSINS VERSANTS
EN CASAMANCE

Bassin	Surface km ²	Année	Lame d'eau écoulée mm	Pluviométrie annuelle mm	Coeff. de ruissellement %	Crue maximum m ³ /s
<u>Kayanga</u>	1755	1967	242	1200	20,2	135
		1968	63,2	900	7,0	32
		1969	74,2	1000	7,4	23
<u>Casamance Kolda</u>	3700	1967	75,1	1200	6,3	46
		1968	16,2	750	2,2	14
		1969	60,2	1100	5,5	116
Fafakorou	700	1968	23,5	750	3,1	6
		1969	16,7	750	2,2	5
Sare Sara	815	1967	105,5	1250	8,4	20
		1968	25,8	800	3,2	8
		1969	108	1400	7,7	260
Sare Kowayel	640	1969	21,4	1200	1,8	12,5
Madina Omar	385	1967	72,8	1250	5,8	7,5
		1968	25,0	780	3,2	4
		1969	53,3	1000	5,3	11



Tableau 2-11: Précipitations mensuelles atteintes ou dépassées en N° des années observées.

Kolda

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
max	6	7,1	2,6	24,6	149,2	209,3	502,9	990,7	553,6	372,7	73,9	13,4	2152,2
10					43,1	215,4	390,3	507,3	402,5	197,6	35,9		1458,5
20					23	170,4	353,7	444,7	348,5	169,2	18,3		1382,8
50					6,1	119,2	229,9	360,8	278,7	102,2			1178,2
80						80,5	167	259,3	223,2	49,2			1017,7
90						64,7	131	194,1	194,1	37,3			920,4
min						21,4	106,5	70,8	112,3	9			648,2

Vélingara

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
max	2	11,9	21,1	61	152,7	260,8	448,7	782,5	781,5	224,2	37	8	2305,3
10		0,5		2	104	217	329,8	568	428	199,5	25		1428,1
20					38,2	189,4	287,9	392,6	353	149,2	15,8		1256,6
50					10,8	129,2	193,4	297,5	258,4	82,8			1041,1
80					2,1	79,1	152,5	239,1	202,8	42,1			862,7
90						66,9	144,5	164	181,9	26,4			777,9
min						46,7	106,6	77,5	125,6	9,5			684,9

Basse

N°	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
max.		7,1		24,1	111	245,6	485,9	563,1	529,9	219,5	44,7	4,6	1577,6
10				9,9	67,6	210,8	321,6	500,4	395,5	160,3	42,9	0,2	1261,4
20					39,1	142,4	266,7	419,4	354,1	140,	18,1		1206,2
50					10,4	108	191,5	300,5	237,8	61			989
80						63,1	177,5	202,9	146,8	46,7			802,9
90						56,6	119,1	115,4	86,2	32,5			749,2
min						40,9	80,3	65,6	85,2	31,2			684,

Tableau 2-12: Précipitations décadaires atteintes ou dépassées en N% des années observées.

Koldai:

N%	Mai			Juin			Juillet			Août			Sept			Oct			Nov		
	max	36	27.5	149.3	128.3	175.3	177.8	205.6	197.6	344.4	319.2	332.5	274.3	359.9	242.9	205.2	321.7	192.7	105.2	73.9	9.0
10	0.8	4.5	31.7	55.4	99.4	96.5	107.8	144.4	209.4	188.5	222.6	192.2	187.4	177.5	127.8	106.8	75.3	53.8	25.8	0.6	
20		0.6	20.6	41.8	72.6	79.2	82.5	98.1	146.7	158	174.1	162.5	146.8	144.3	107	82.9	54.2	42.5	4.8		
50			1.6	21	42.1	53.2	62.4	61.1	93.1	84.5	111.4	124.6	101.4	97.4	71.4	49.8	26.9	11.3			
80				3	12	18.8	30.4	36.3	56.4	46.6	66.9	78.3	70.7	56.5	38.5	24.3	2.2				
90					2.5	7.2	19	13.7	36.4	21.9	31.8	43.9	46.1	43.8	30.8	9					
min							3.2	4.5	19.6	3	2.9	32.5	24.8	5.6	0.6						

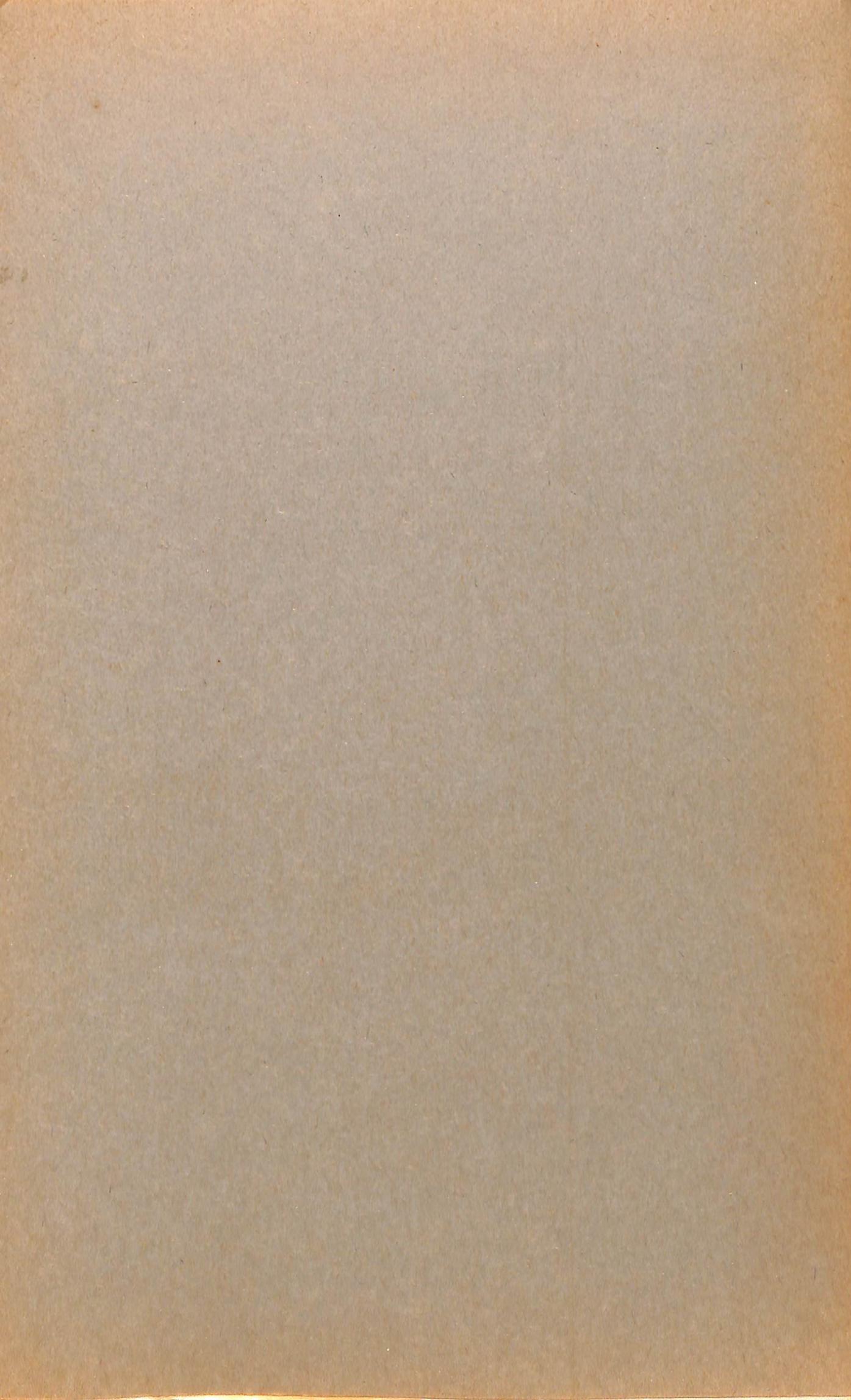
Vélingara:

N%	Mai			Juin			Juillet			Août			Sept			Oct			Nov		
	max	62.8	25	117	112.3	162.8	158	132.2	166	217.7	286.3	260	376.4	325.5	517.8	212	112.7	142.4	117	40.1	44
10	24.8	7.3	64.5	76.8	98	112.9	103	108.5	170.1	168.9	200.7	277.9	203.7	192.7	137.4	101.2	90.5	57	19	2.9	4.1
20	2	3.7	25.5	52.1	68.7	90.9	96	89.6	123	116.6	169.3	201.8	150.4	133.6	93.7	74.7	66.8	27	9		
50			5.6	27.7	38.5	49.6	61.5	53	76.6	77.5	89	111.3	101.4	87	62.5	39.1	23.5	7.1			
80				1.1	14.8	24.7	33.5	72.8	57.9	49.1	61	60.5	71	61.4	25.7	17.5	6.4				
90					2.1	9.1	22.6	19.9	47.5	38.5	44.6	36.4	49.8	52.5	22.2	7.5	1				
min									23.1	1.1	11.5	3.7	21.7	5.2	0.0	0.5					

Basse: (les données pour Mai et Novembre manquent)

N%	Mai			Juin			Juillet			Août			Sept			Oct			Nov		
	max				109	149.1	126.7	197.4	292.6	216.4	257.8	319.1	268.9	257.6	257.6	224.8	163.8	110.2	87.6		
10				63	72.1	67.3	116.6	97.5	160.4	152.4	172.2	188.4	191	116.8	104.1	93.5	45.2	36.8			
20				57.4	64.8	51.1	100.6	85.6	110.7	112.7	157.9	172.5	124.5	95.8	100.6	64.5	31.5	21.6			
50				29.4	37.8	37.2	49.8	61.6	72.9	74.2	99.1	124.2	91.4	62	60.2	32	21.8	3.1			
80				7.6	10.7	17.3	27.7	26.4	54.6	30.2	45.5	48	50.5	37.7	25.4	15.7	7.6				
90						5.1	20.6	17.5	19.8	0	26.5	25.4	32.3	13.7	18.8	7.6					
min						2.5	7.1	8.6	16.5	0	14.7	3.7	10.9	2.3	10.4	7.2					

	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC
918	0.0	0.0	0.0	0.0	103.7	230.6	329.8	310.2	451.4	56.0	0.0	0.0
919	0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	142.6	148.1	159.1	287.1	46.8	3.6	0.0
920	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	237.1	177.3	313.9	263.8	81.1	0.0	0.0
921	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	101.5	184.1	164.9	286.9	52.1	0.0	0.0
922	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	45.2	139.9	181.8	228.3	106.2	2.4	0.0
923	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	70.4	187.8	337.9	282.1	116.3	21.8	0.0
924	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	144.4	211.5	341.4	300.2	47.4	1.7	0.0
925	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	103.6	144.5	275.2	227.3	148.2	0.0	0.0
926	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	120.8	205.4	357.3	321.5	53.7	2.9	0.0
927	0.0	0.0	0.0	0.0	93.9	124.3	161.7	339.0	219.6	91.3	31.8	0.0
928	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	106.5	260.0	316.1	278.7	122.4	1.6	0.0
929	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	171.3	193.5	383.0	306.4	70.4	0.0	0.0
930	0.0	0.0	0.0	0.0	69.4	172.8	162.5	241.5	189.6	143.3	1.4	0.0
931	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.3	218.6	80.7	194.8	35.3	3.9	0.0
932	0.0	0.0	0.0	0.0	59.3	15.5	210.3	352.8	318.5	9.5	0.0	0.0
933	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	139.8	214.3	270.0	411.5	23.1	26.0	0.0
934	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	237.1	177.3	313.9	263.8	81.1	0.0	0.0
935	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	260.8	187.8	287.8	253.3	50.3	15.8	0.0
936	0.0	0.0	0.0	0.0	127.3	152.8	171.6	515.5	177.4	72.5	1.4	0.0
937	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.4	128.3	284.7	175.3	103.8	21.0	0.0
938	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	78.1	135.4	334.9	293.2	14.2	0.0	0.0
939	0.0	0.0	0.0	0.0	12.9	164.2	193.4	310.3	326.1	136.9	0.0	0.0
940	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	148.6	159.8	274.6	348.5	215.8	0.0	0.0
941	0.0	0.0	0.0	0.0	152.7	191.5	320.9	360.9	240.1	21.6	3.5	0.0
942	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	133.1	253.8	250.0	299.0	121.0	18.5	0.0
943	0.0	0.0	0.0	0.0	28.0	98.0	153.0	297.5	428.0	131.0	0.0	0.0
944	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	213.0	152.0	145.0	261.0	95.0	27.0	0.0
945	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	66.9	167.2	392.6	240.0	65.4	6.7	0.0



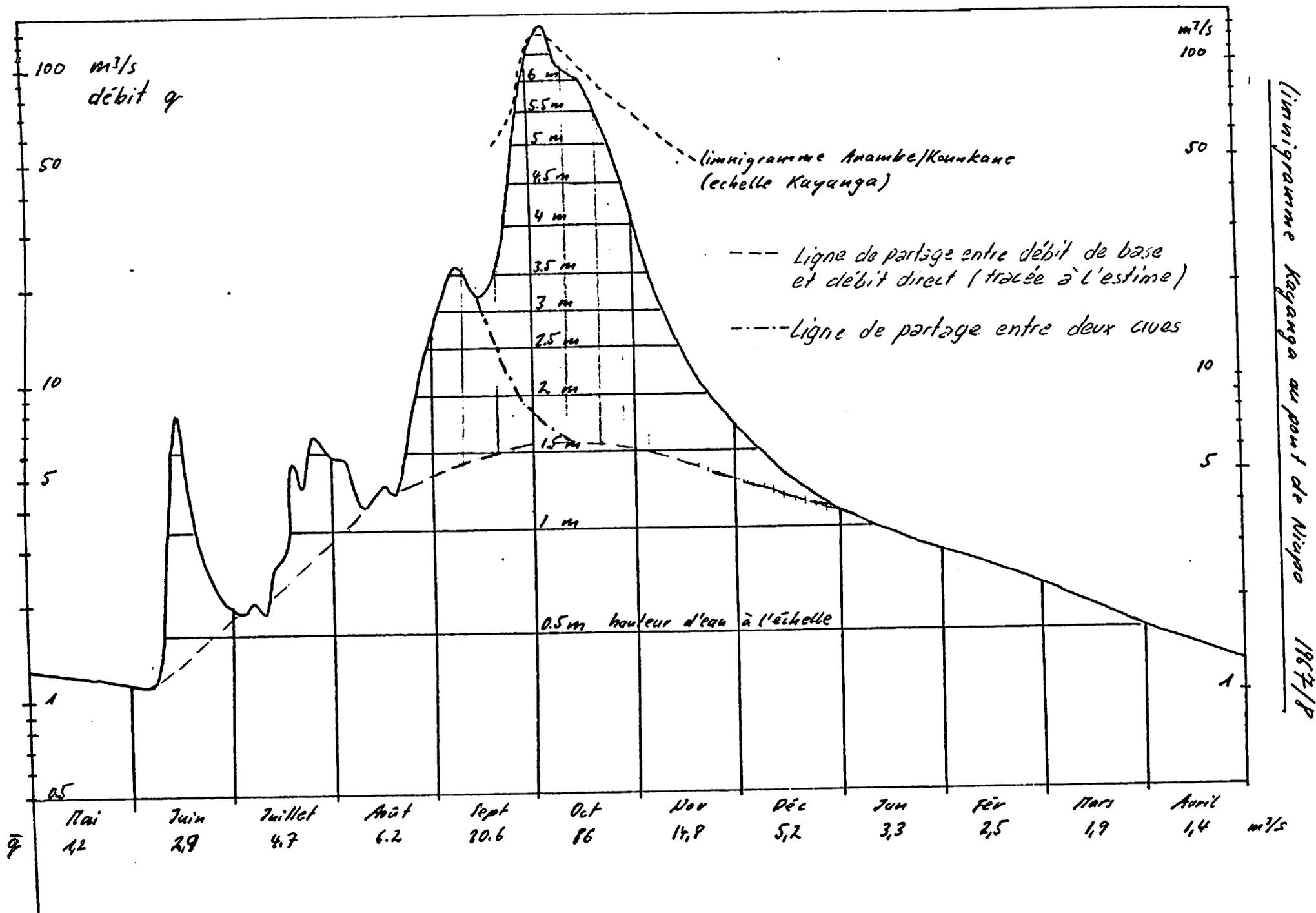
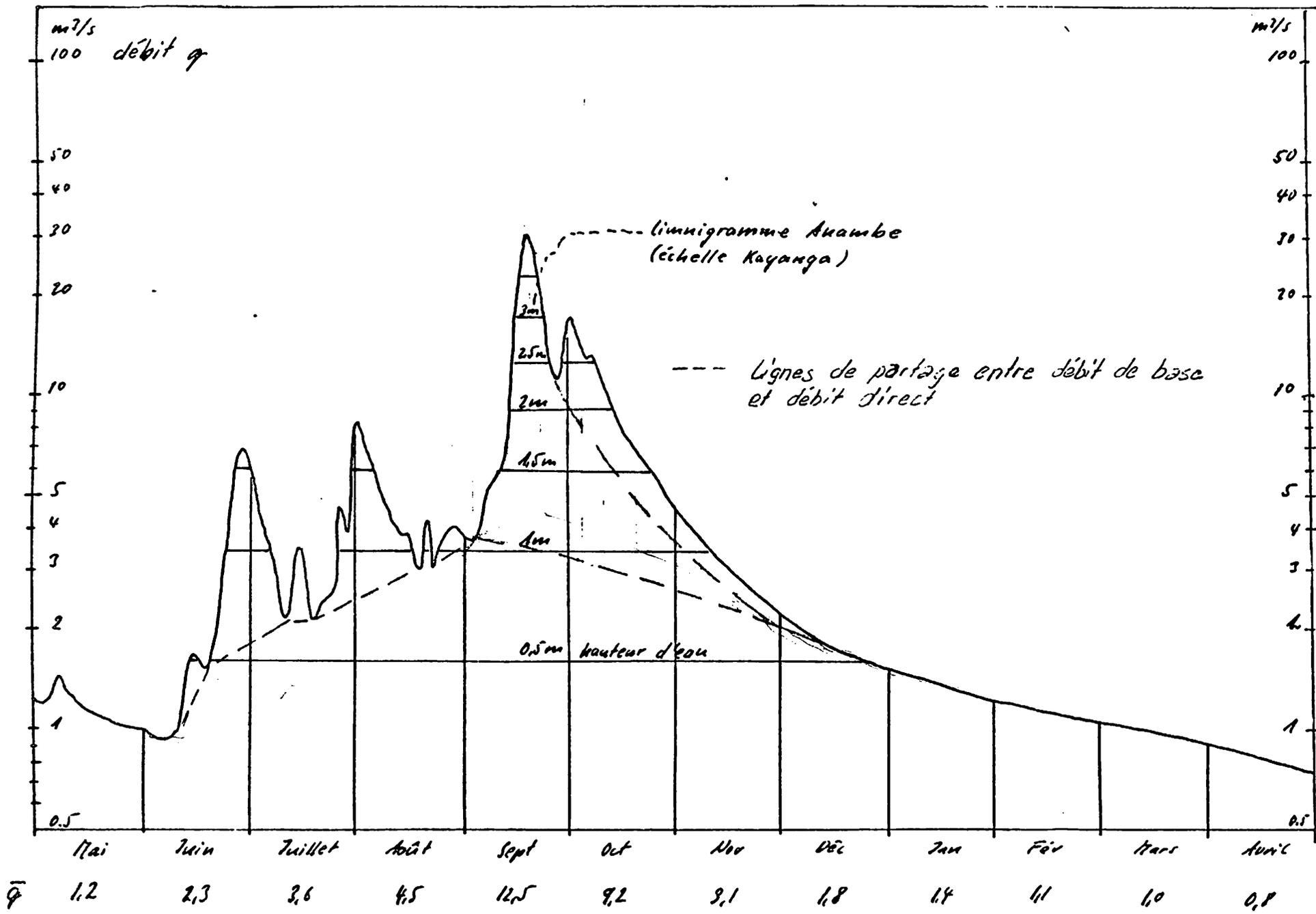


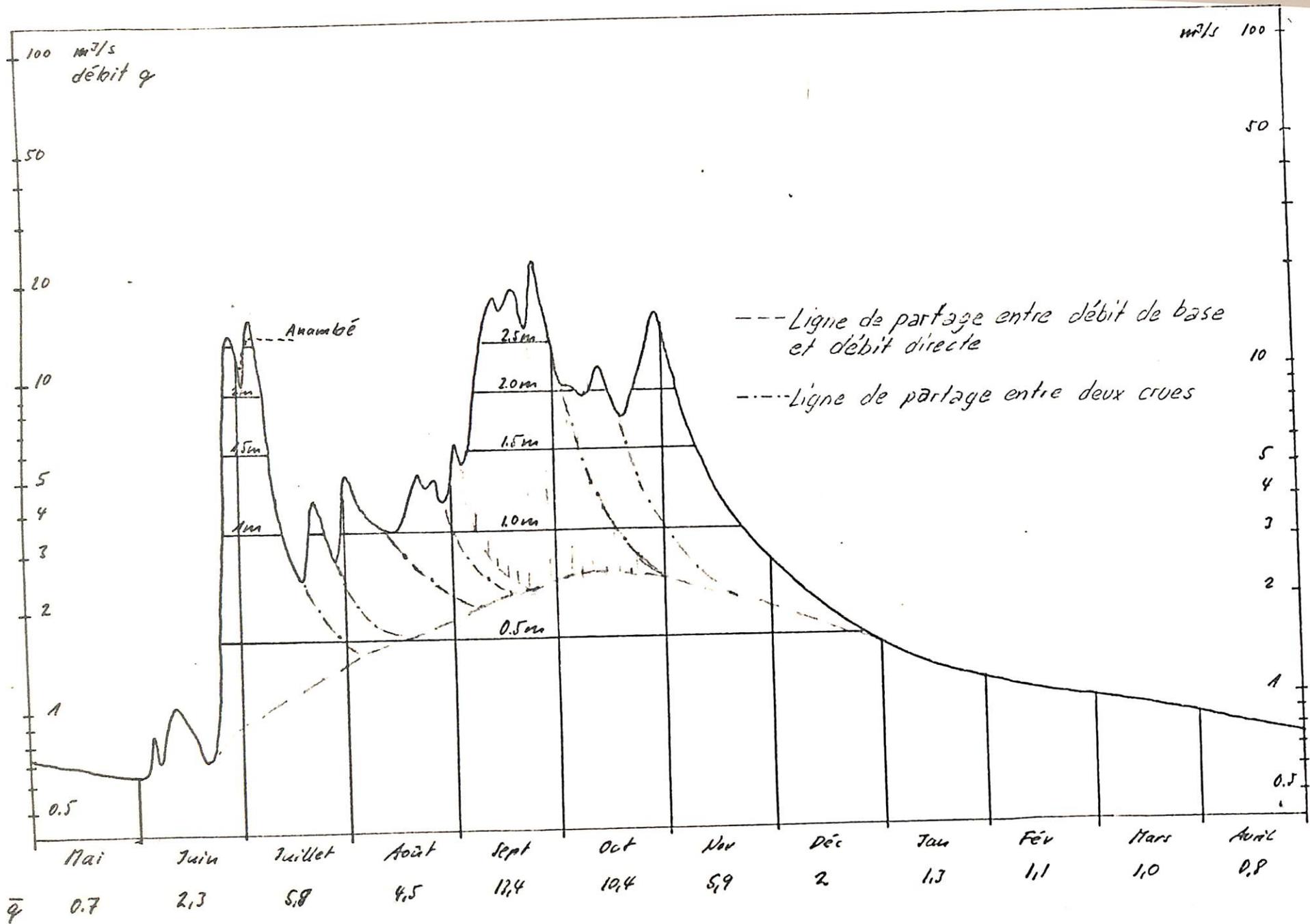
Fig 2-2.



limniogramme Kayanga au pont de Niopo

1988/9

Fig. 2-2 b



Linnigramme Kagaygo au pond de Niopo

1969/70

Fig. 2-20

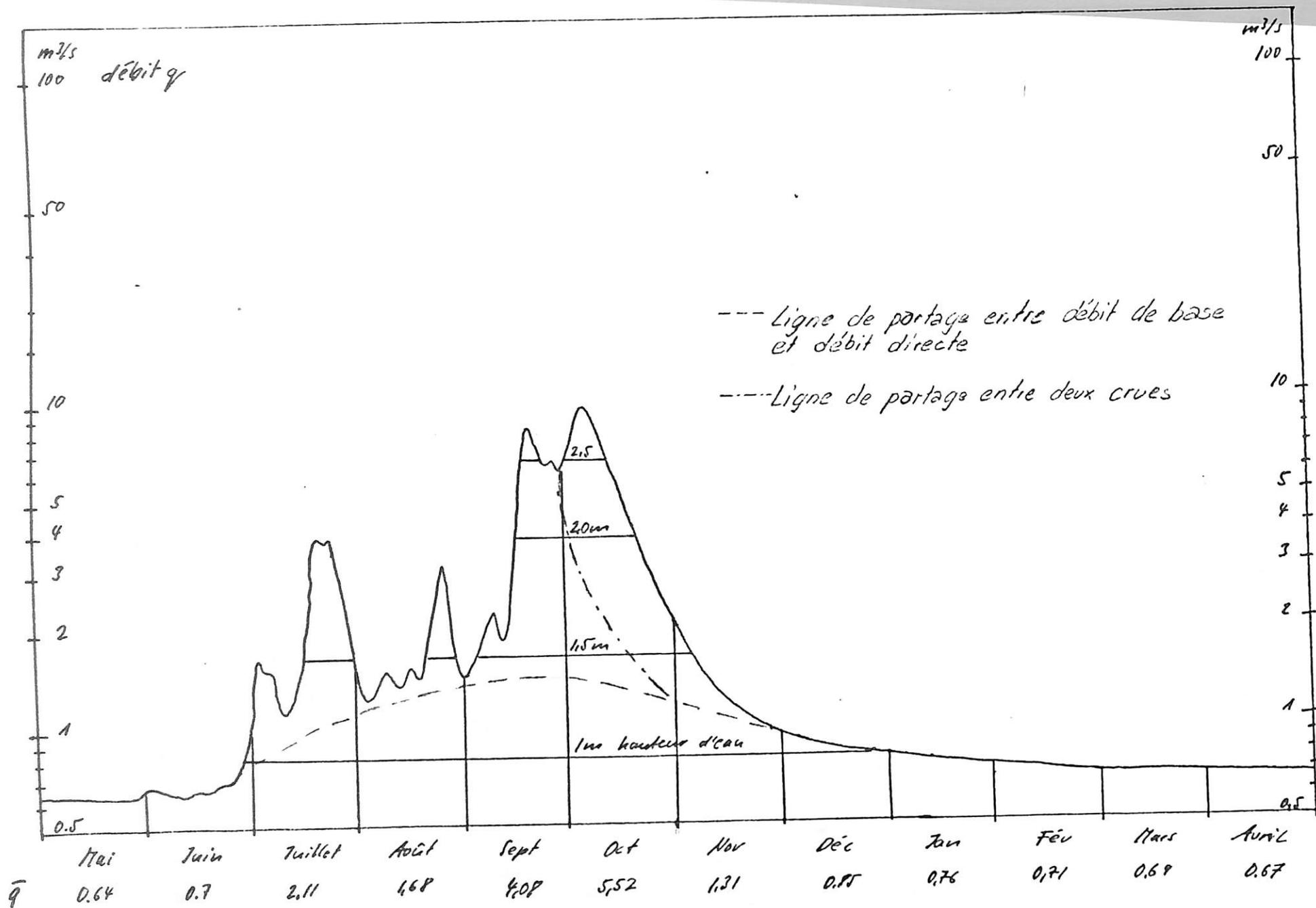


Fig. 2-2d

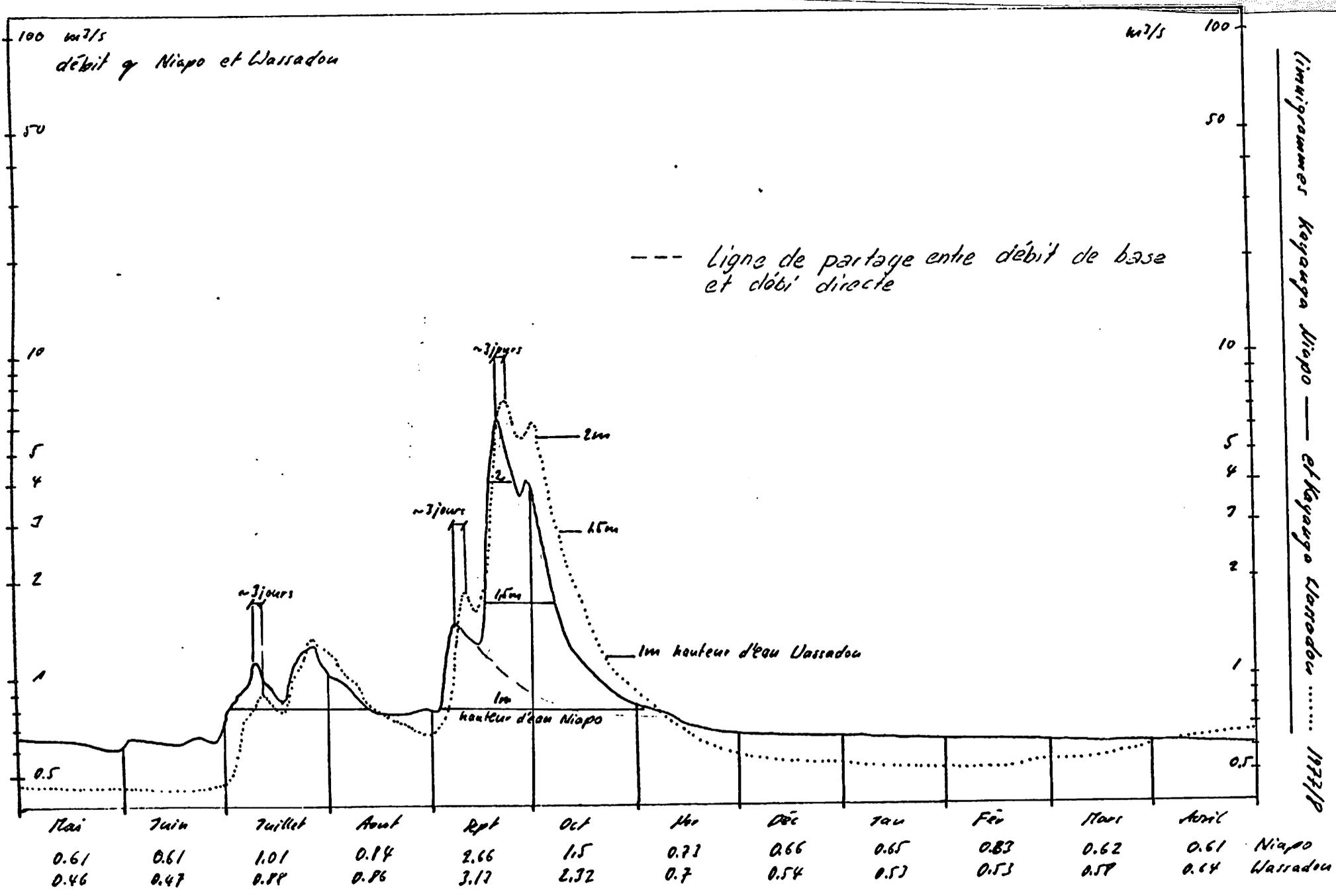
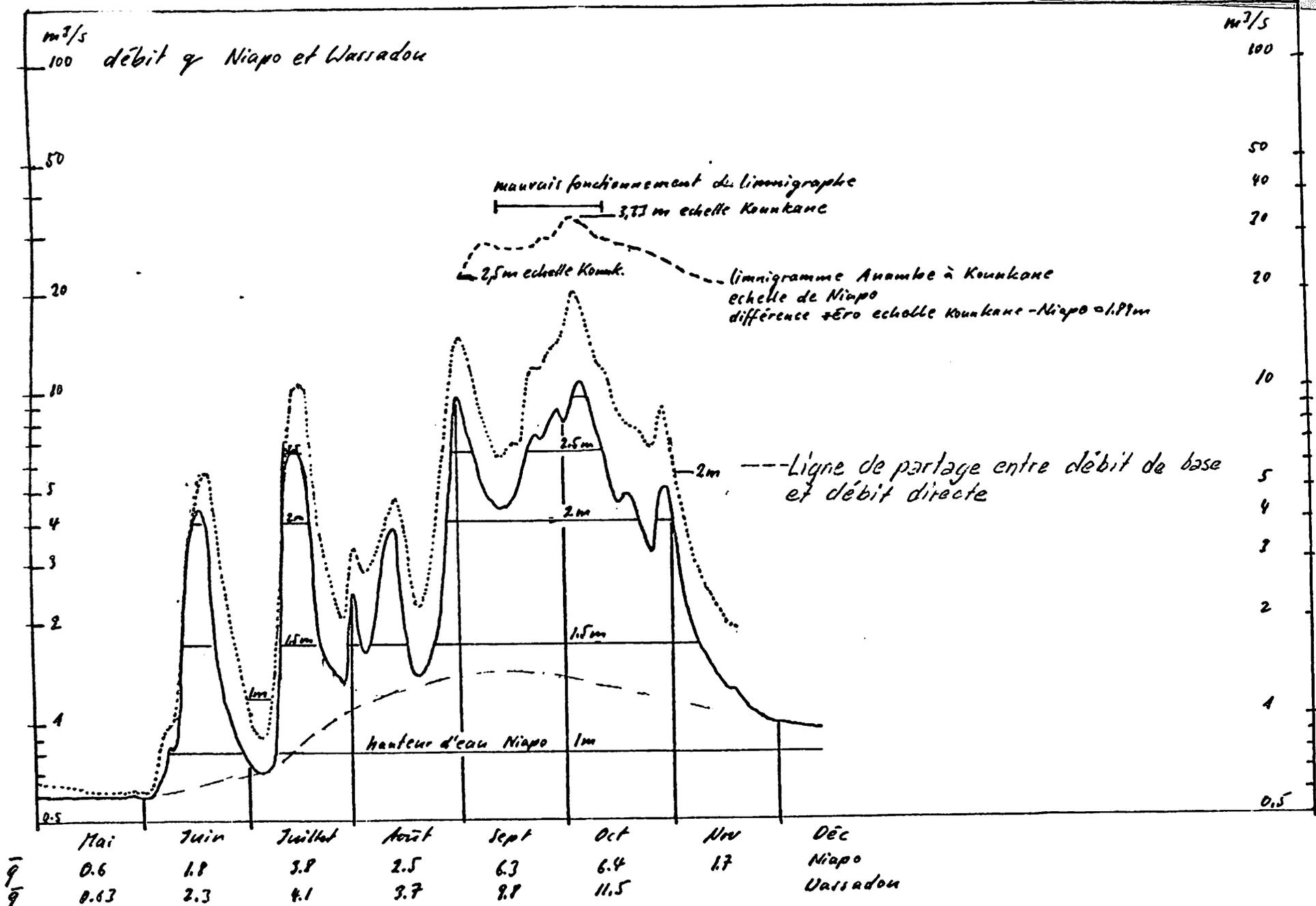
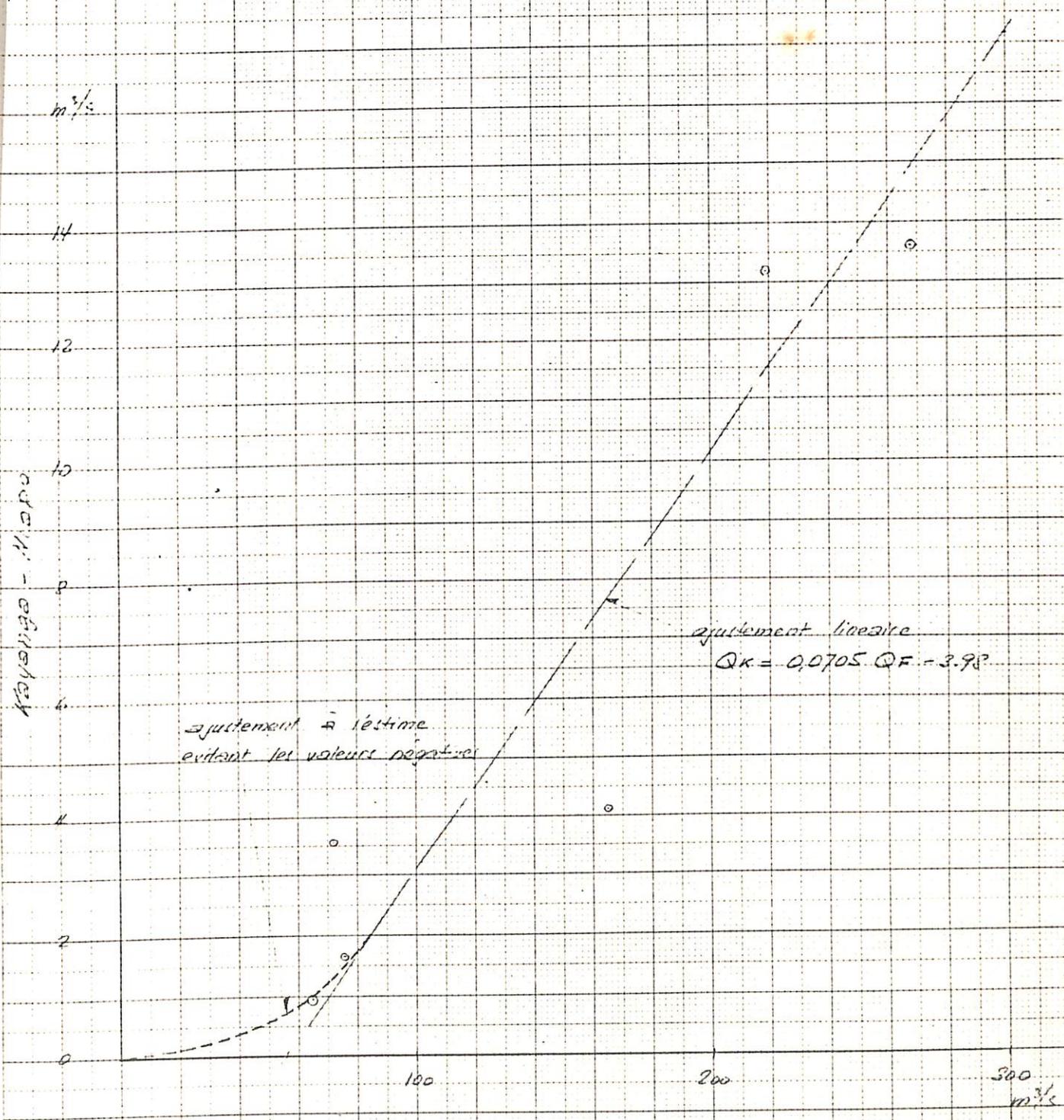


Fig. 2-2e



limnigraphe Kayanga Niapo —, Kayanga Wassadou, Anambé --- 1939

Fig. 2-2f



ajustement à l'estime évitant les valeurs négatives

ajustement linéaire
 $Q_k = 0,0705 Q_F - 3,98$

Falemé - Kidira

○ points expérimentaux

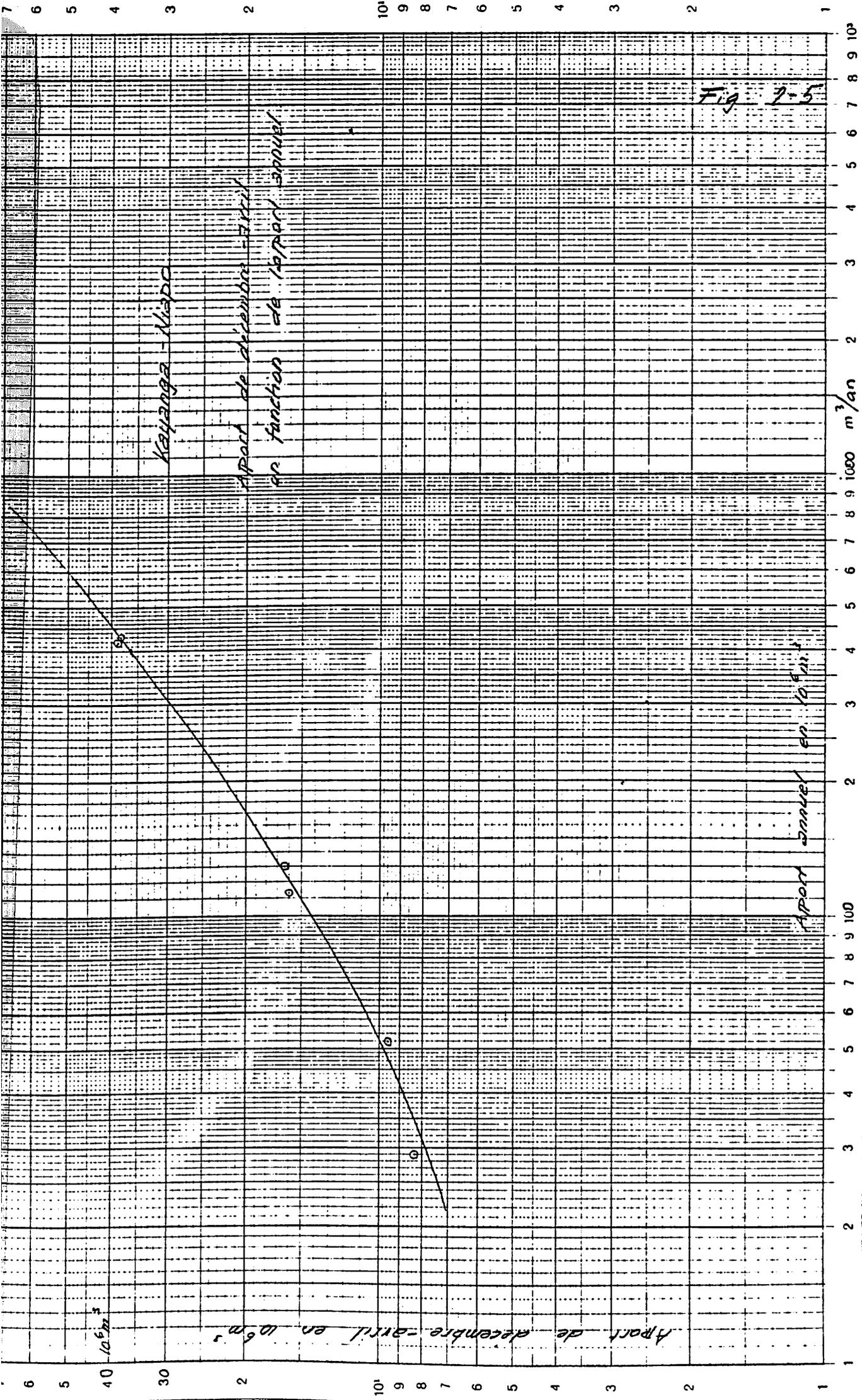


Fig. 2-5

Teilung 1-100 und 1-1000 Einheit 90 mm
Logar. Division f

Kayanga - 1962 Hydrogrammes observés et simulés

m³/s

60

50

40

30

20

10

0

M J J A S O N D J F M A

simulé

observe

1962-63

module annuel 132 m³/s

m³/s

12

10

8

6

4

2

0

observe

simulé

1962-63

module annuel 356 m³/s

m³/s

6

5

4

3

2

1

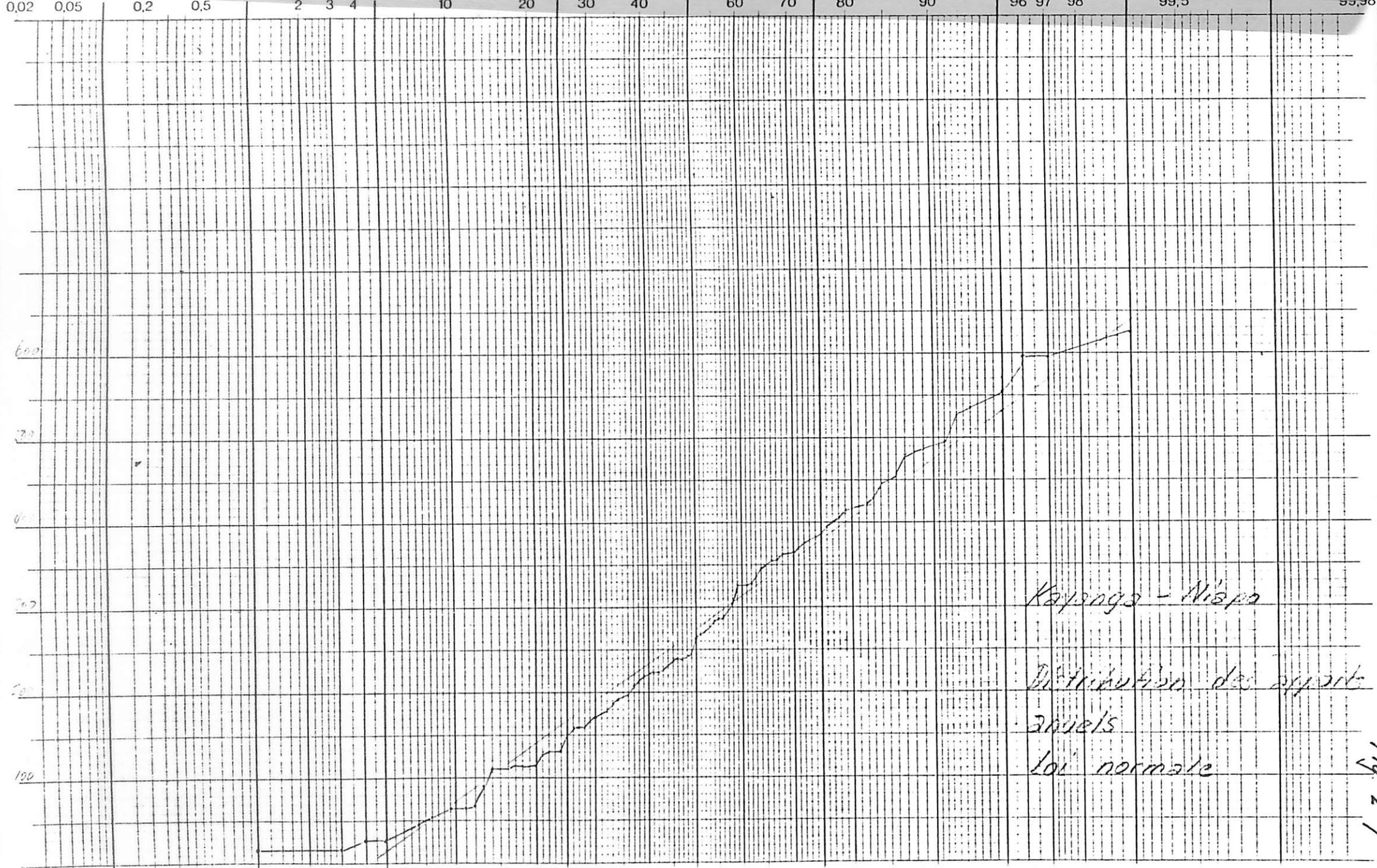
0

observe

simulé

1976-77

module annuel 166 m³/s

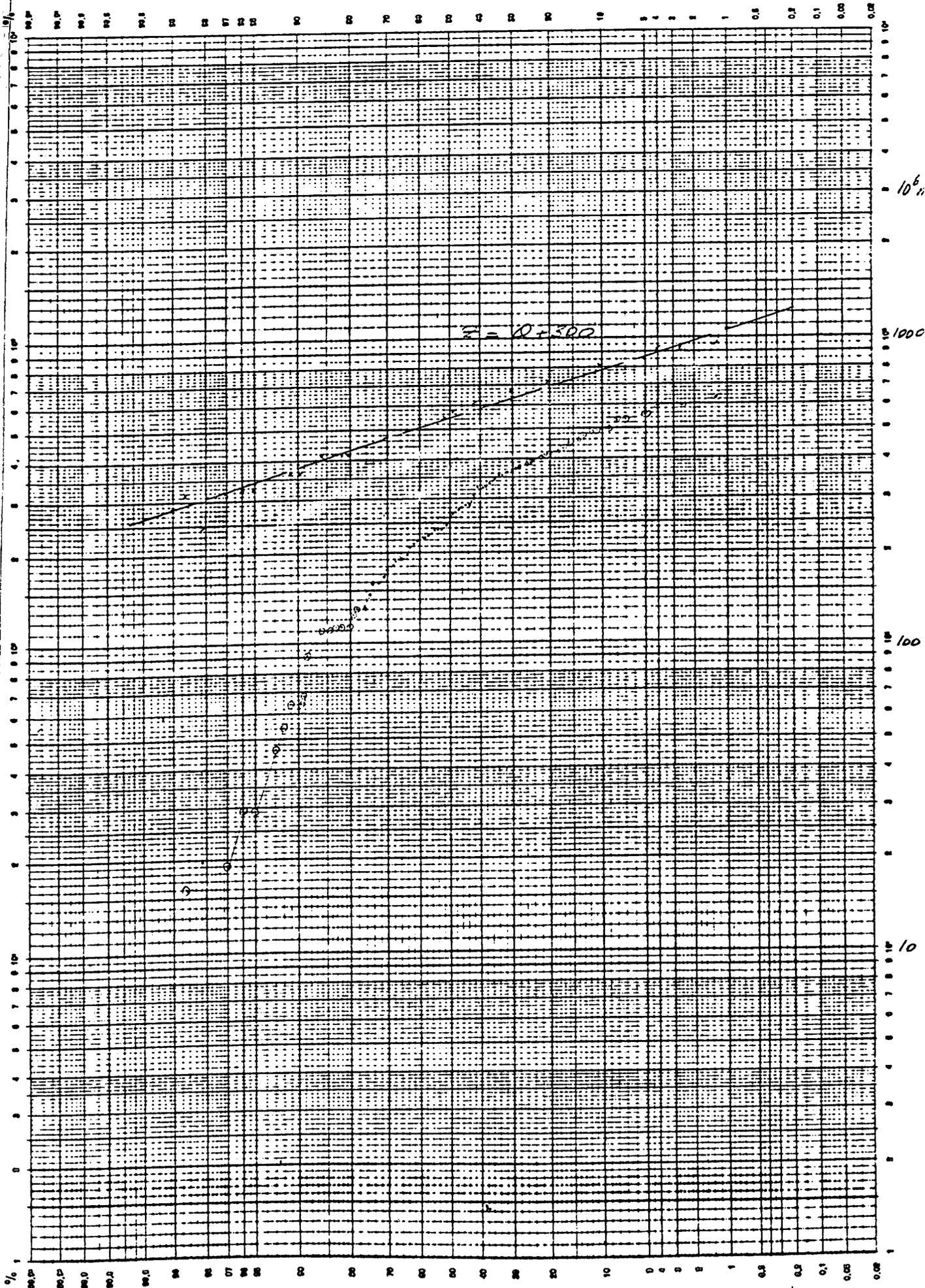


Kayseri - Nişantaşı

Distribution des précipitations
annuelles
loi normale

Fig. 2-7

Fig 2-8



Aparts annual kayang
distribusi selca lai log normale

APPORTS ANNUELS KAYANGA

Moyennes glissantes de 5 ans

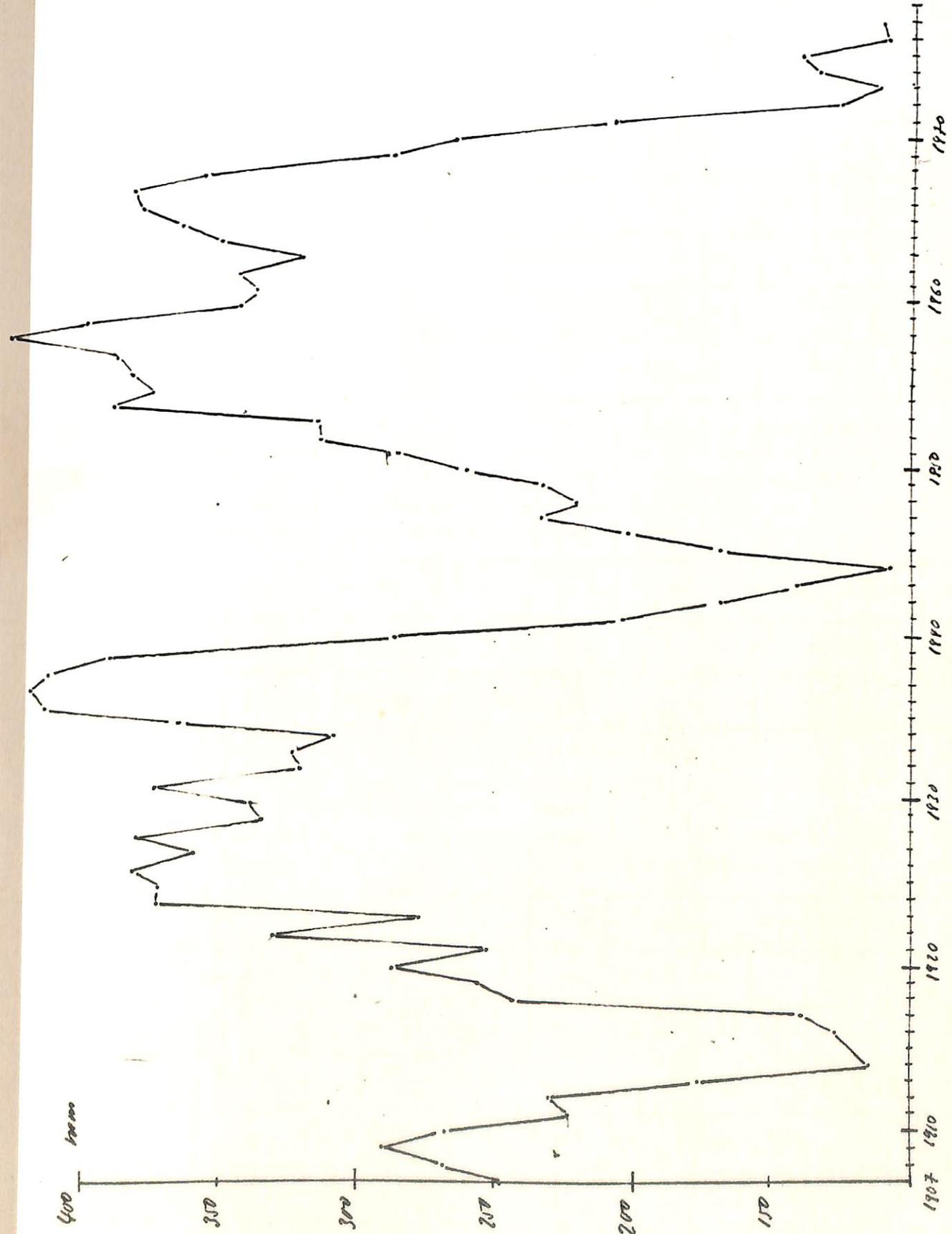


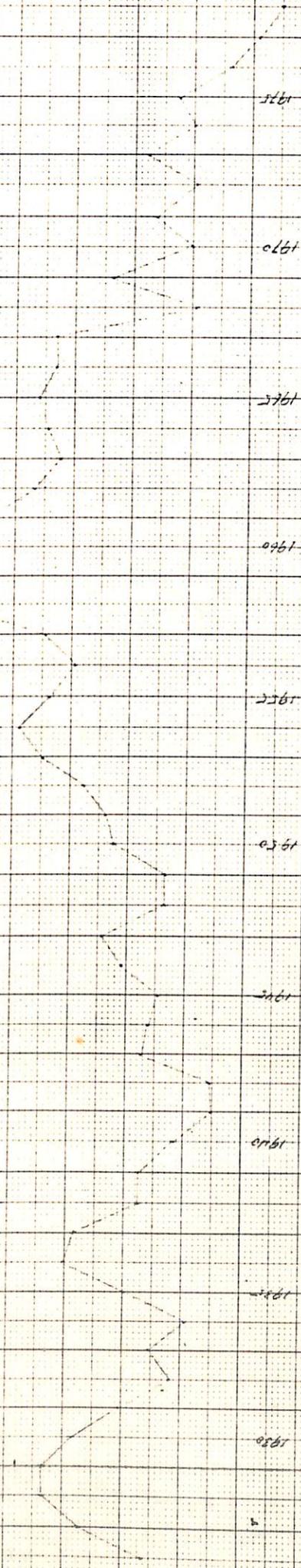
Fig 2-10

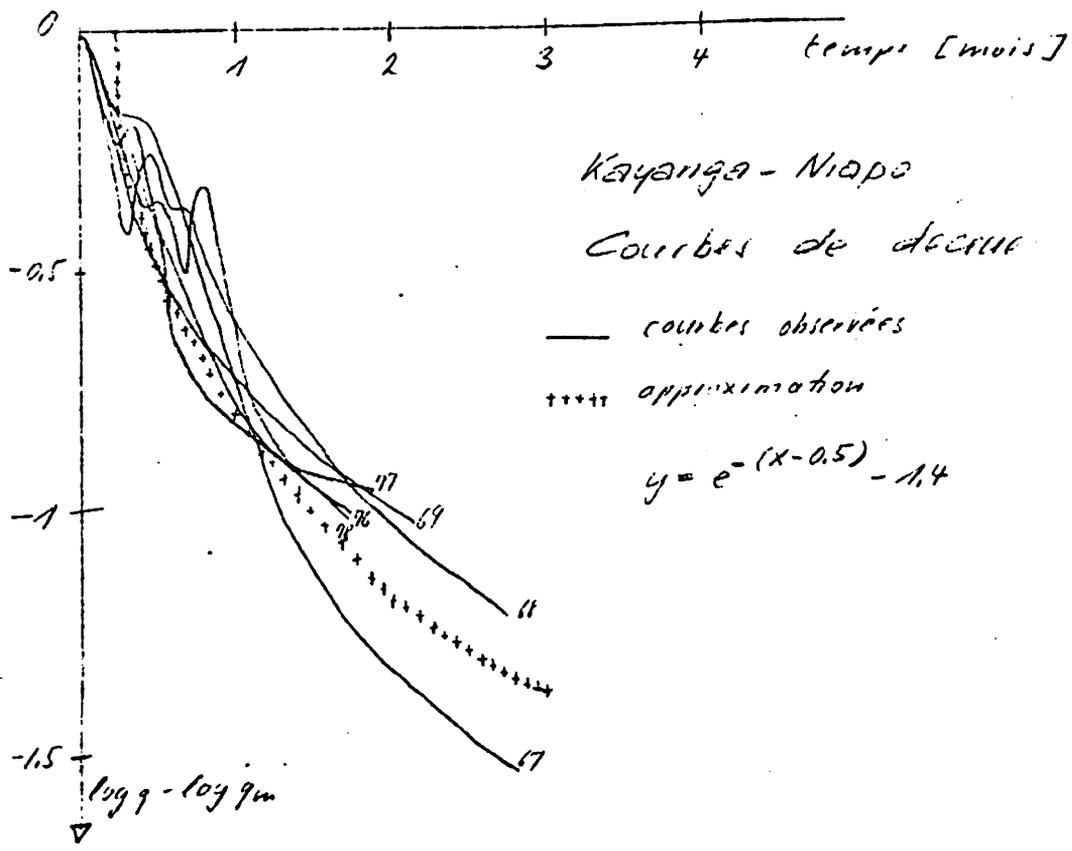
Pharmacia Sarsström AB

Pharmacia Sarsström AB

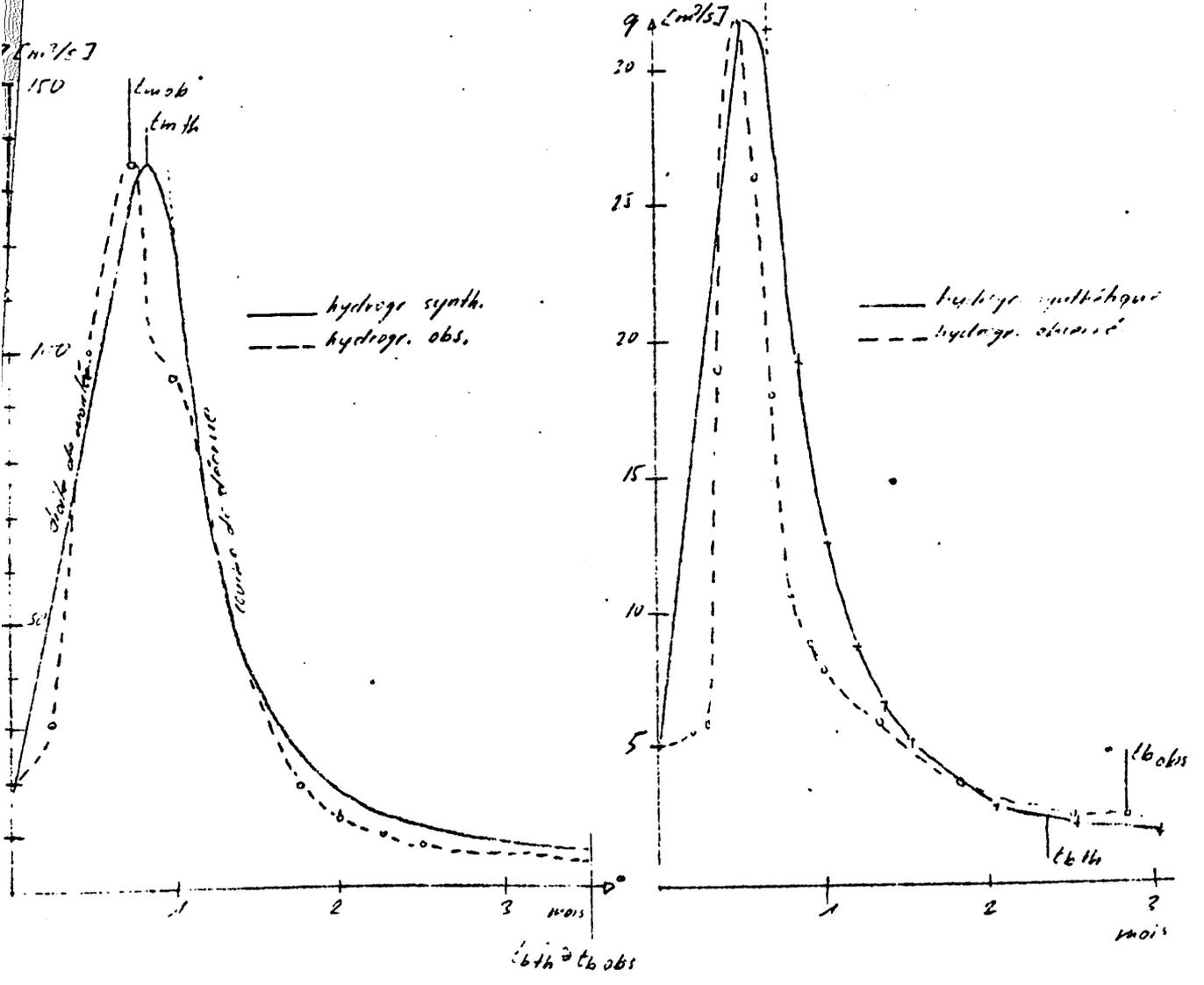
1980 1981 1982 1983 1984 1985 1986 1987 1988 1989 1990 1991 1992 1993 1994 1995 1996 1997 1998 1999 2000

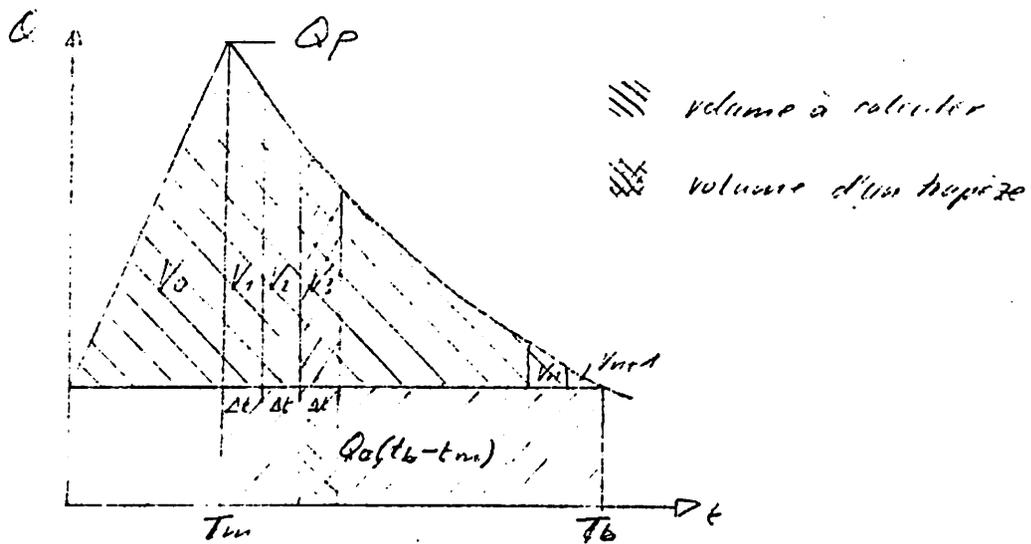
1500 1400 1300 1200 1100



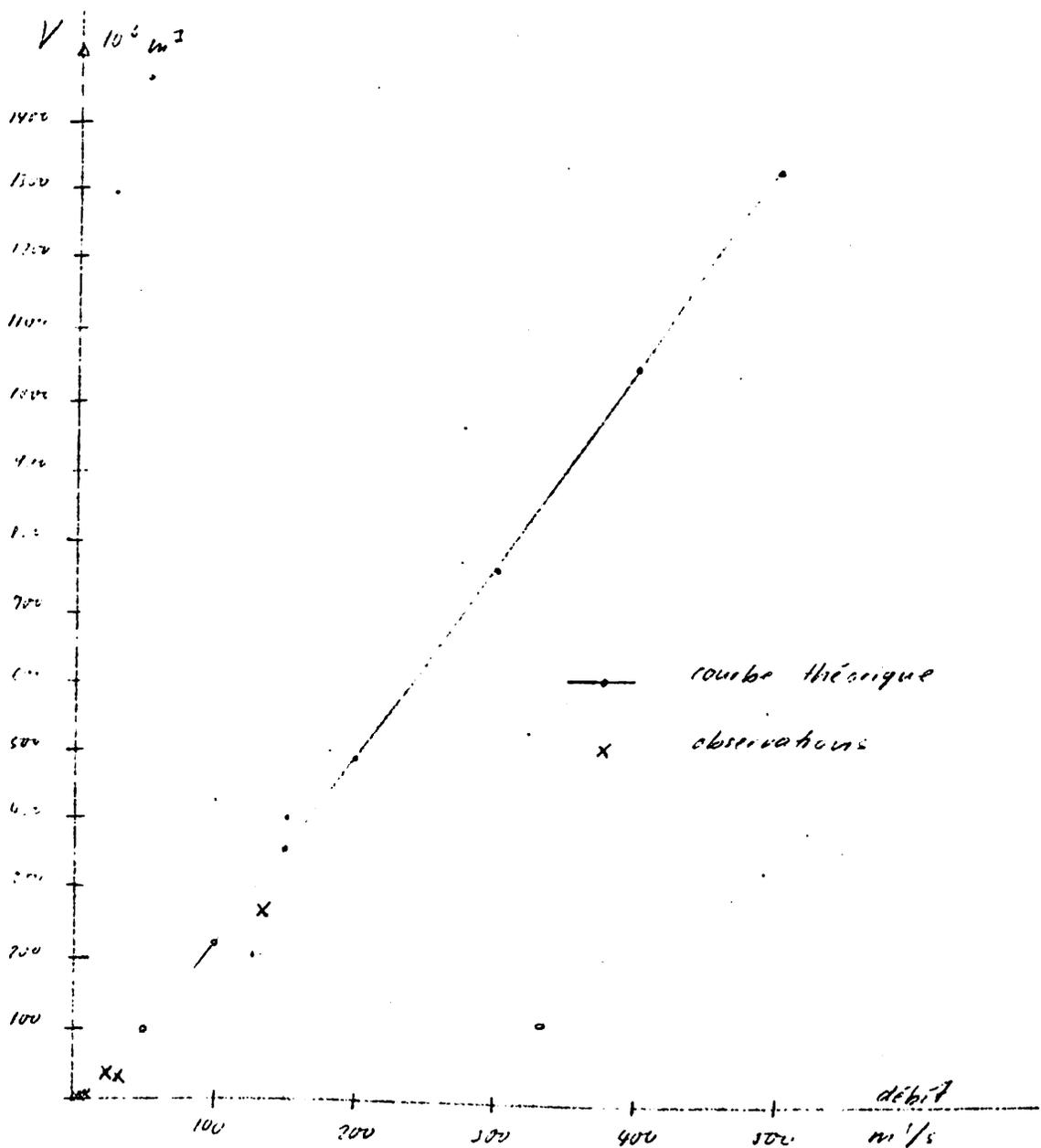


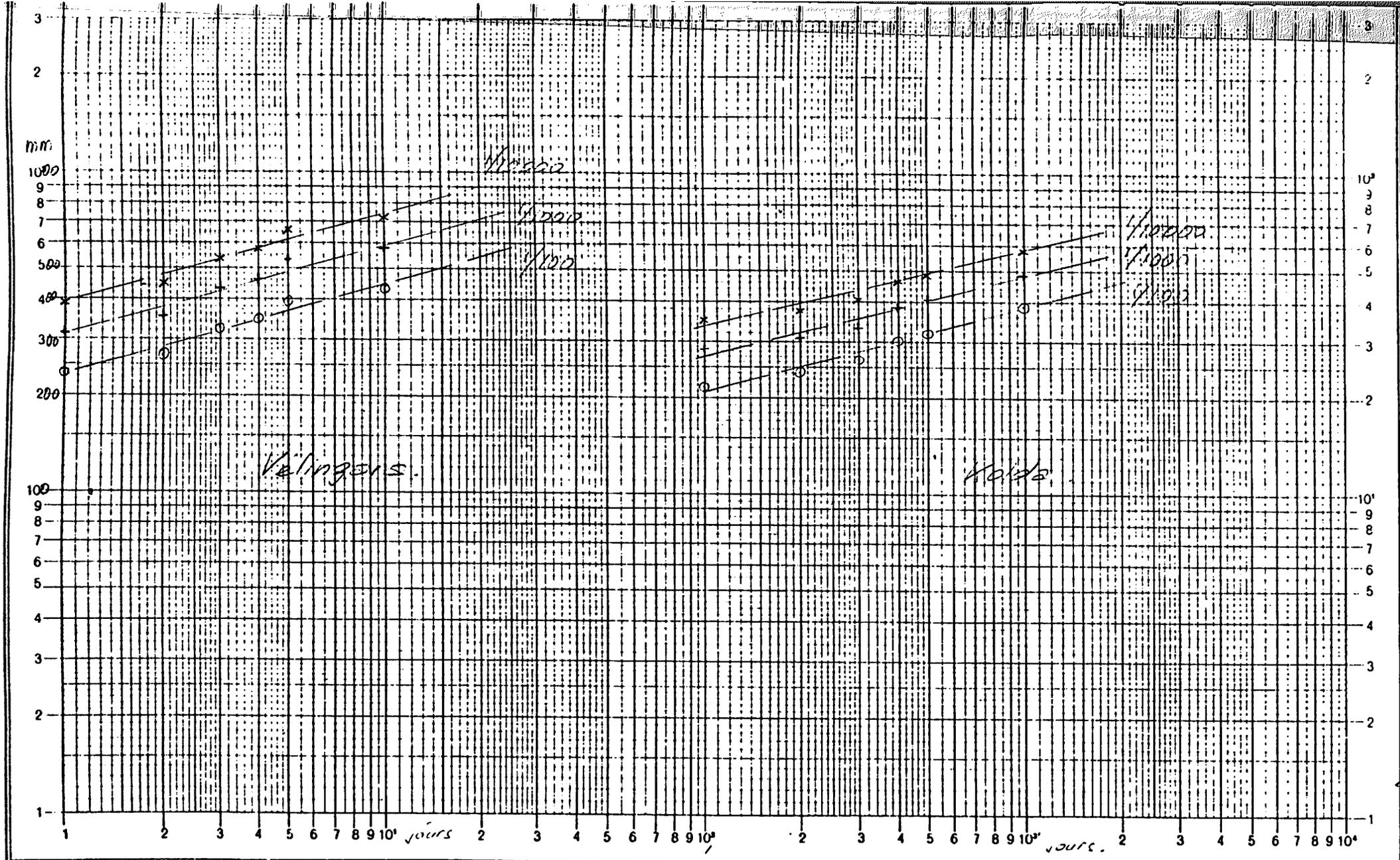
Hydrogrammes observés et synthétiques





Kampanga : Evolution du volume des crues.





Logar. Teilung } 1-300 u. 1-10000 Einheit } 62,5 mm
 Division } Unité }

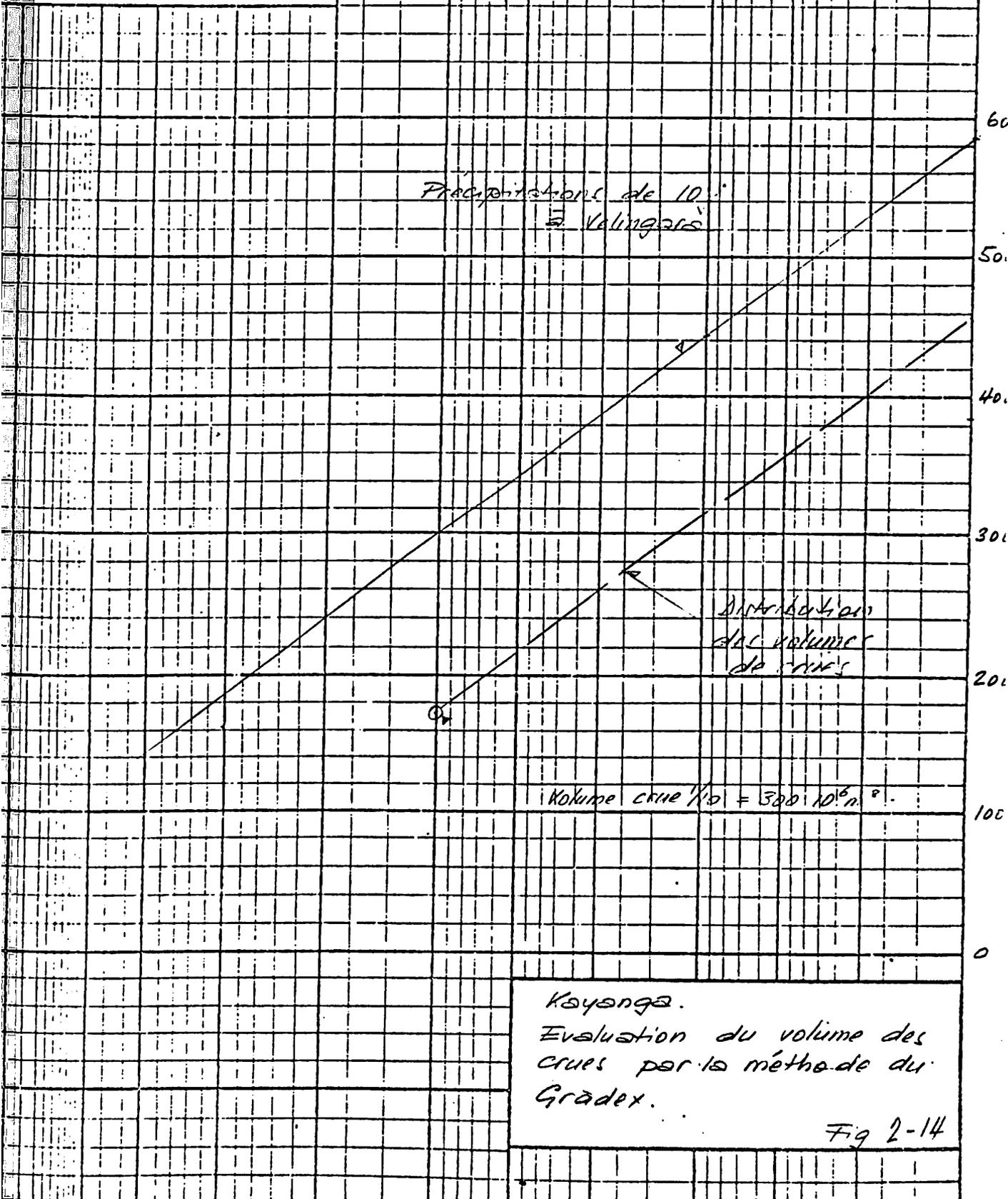
Courbes intensité-durée pour différentes fréquences extrêmes (Velingens, Kolda)

Ed. Aerni-Leuch, Bern, Nr. 551

Fig 2-13

1.01 1.1 2 3 4 5 10 20 30 40 50 100 200 300 500 1000
 .01 .1 .25 .50 .75 .90 .95 .975 .99 995 .9975 P .999

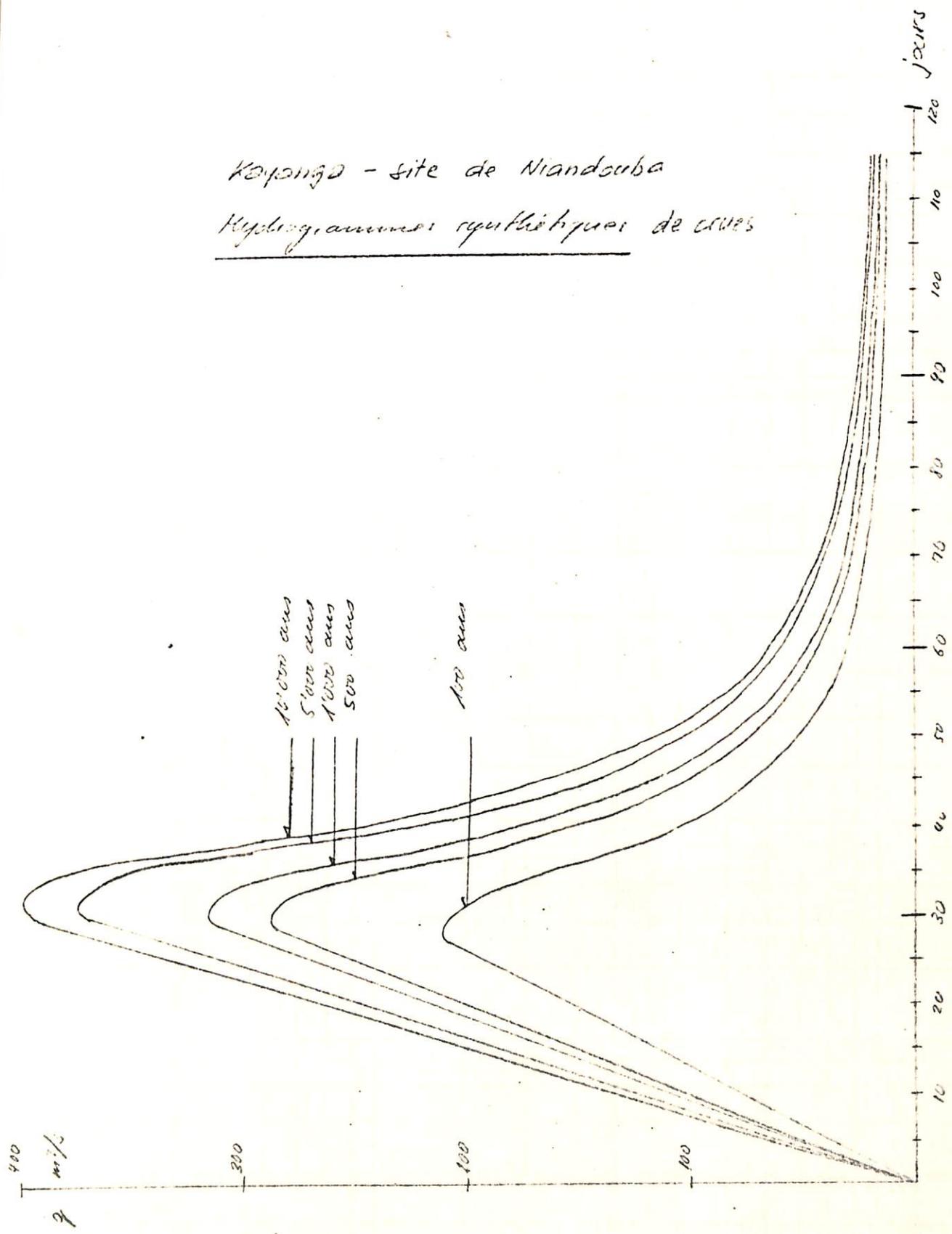
Extremal -
Wahrscheinlichkeitspapier



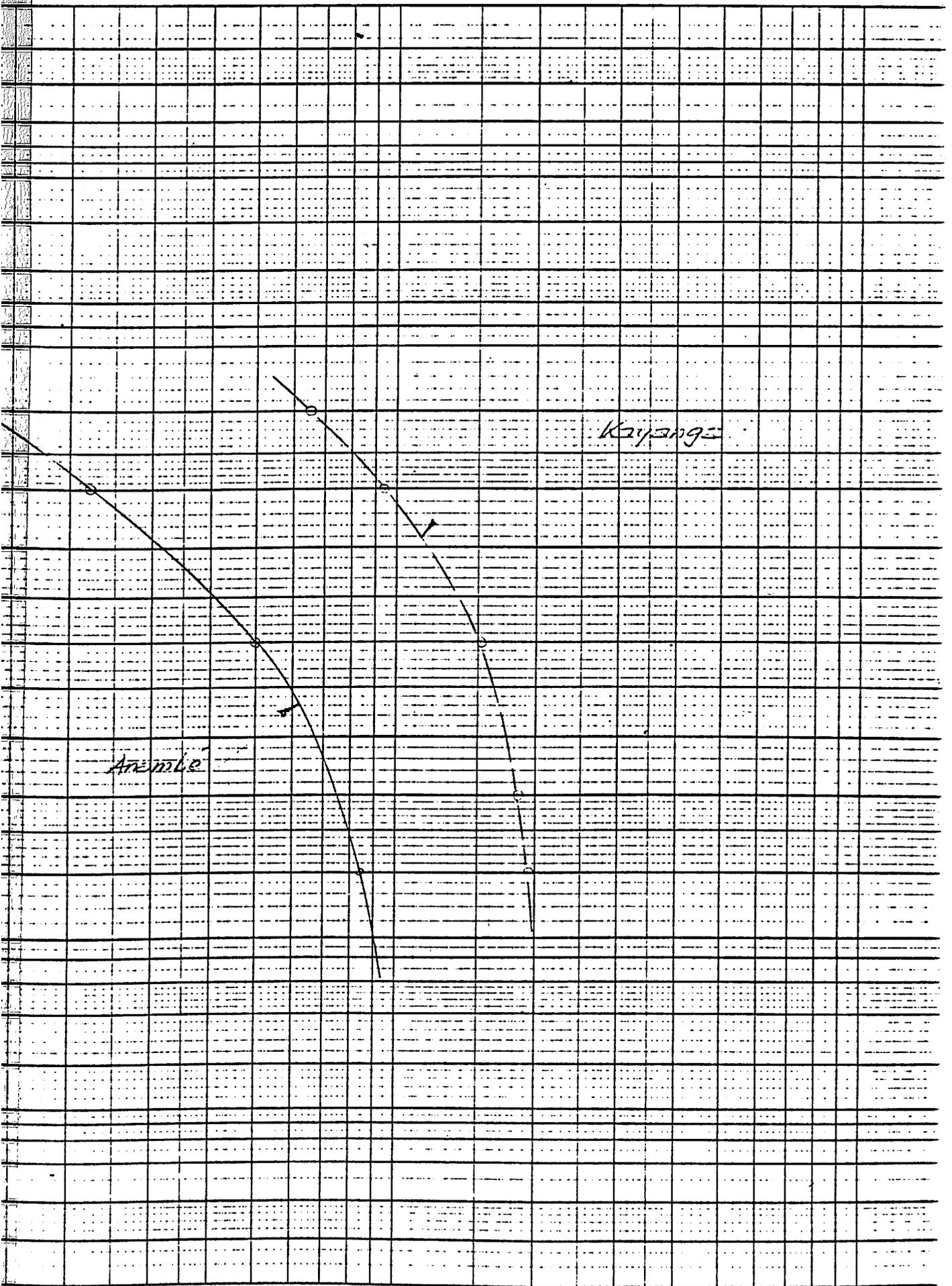
1 .25 .50 .75 .90 .95 .975 .99 .995 .9975 P .999
 -1 0 1 2 3 4 5 6 7
 reduzierte Variable

Fig. 2-15

Koyungo - site de Niandouba
Hydrogrammes synthétiques de crues



2 3 4 5 6 7 8 9 10¹ 2 3 4 5 6 7 8 9 10²

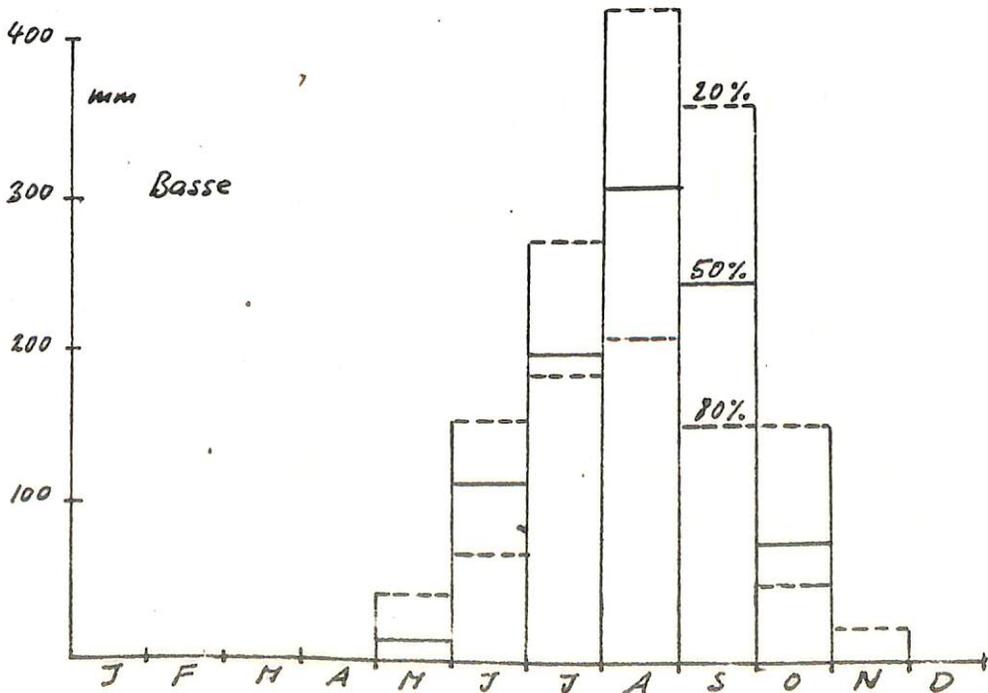
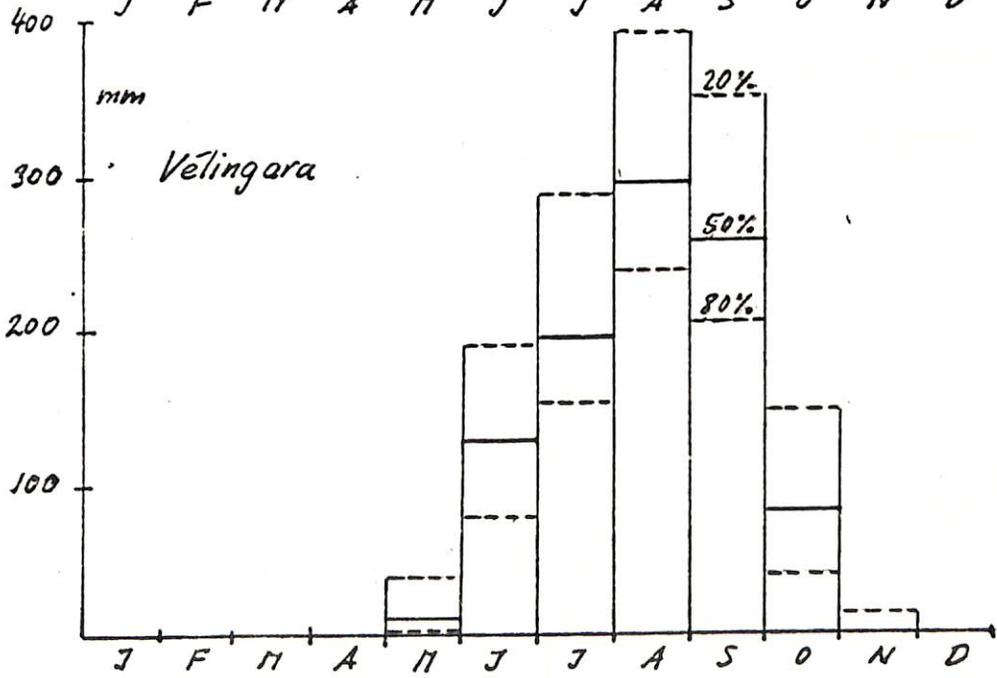
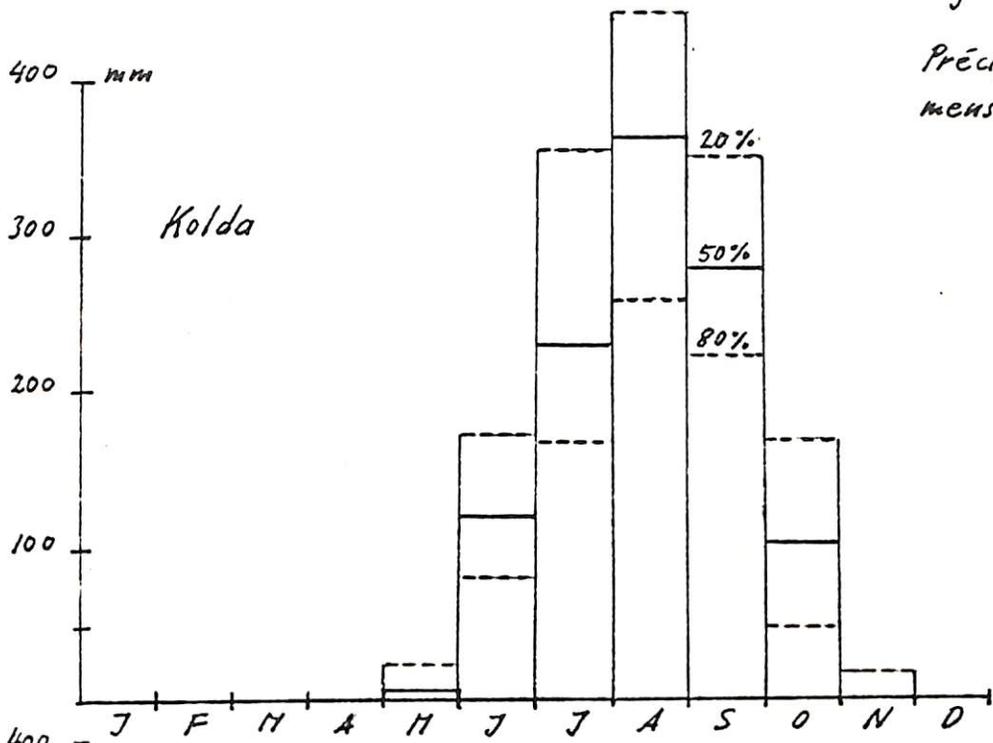


2 3 4 5 6 7 8 9 10¹ 2 3 4 5 6 7 8 9 10² %

Coefficients annuels d'écoulement de la Kayanaa et de l'Anambé en fonction de la fréquence de la pluviométrie annuelle à Velingara.

Fig. 2-17

Précipitations mensuelles



Répartition de la précipitation mensuelle

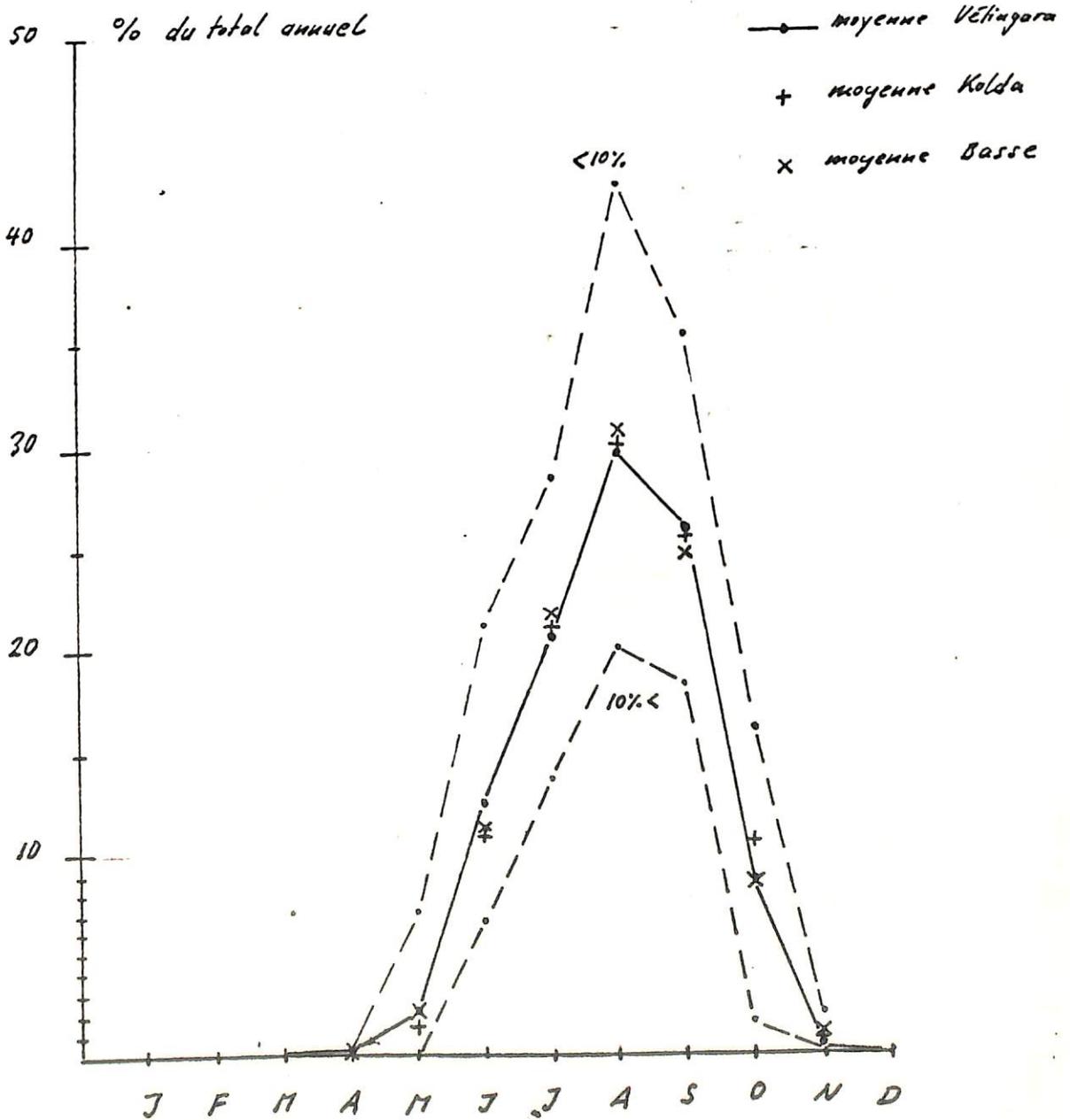
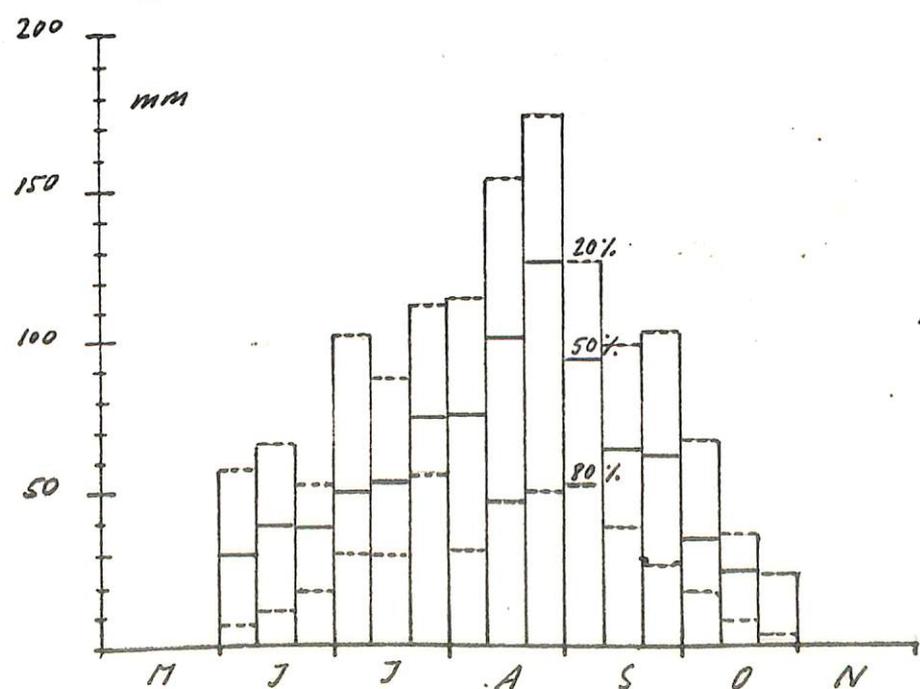
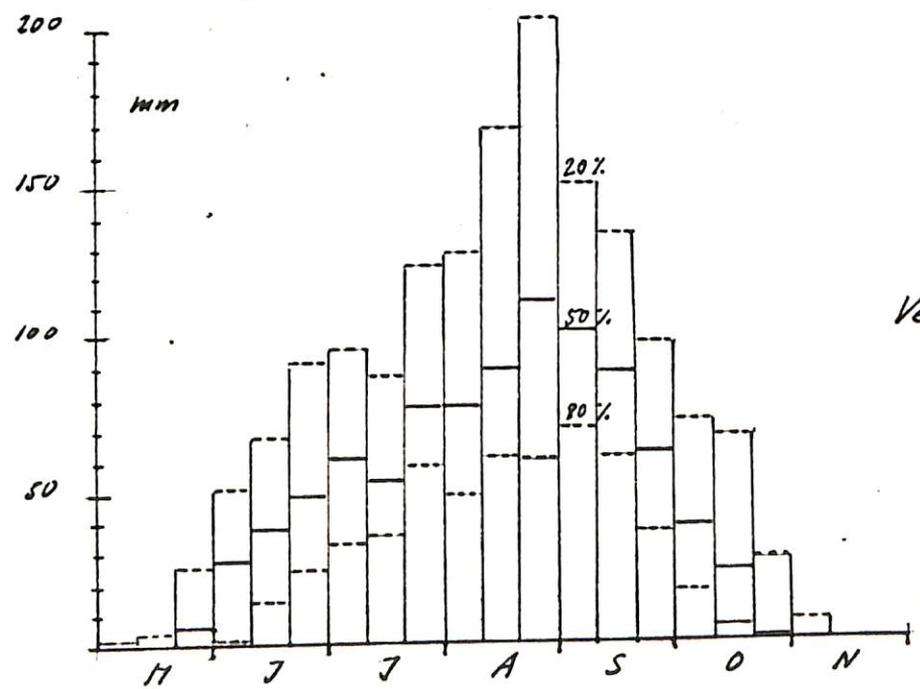
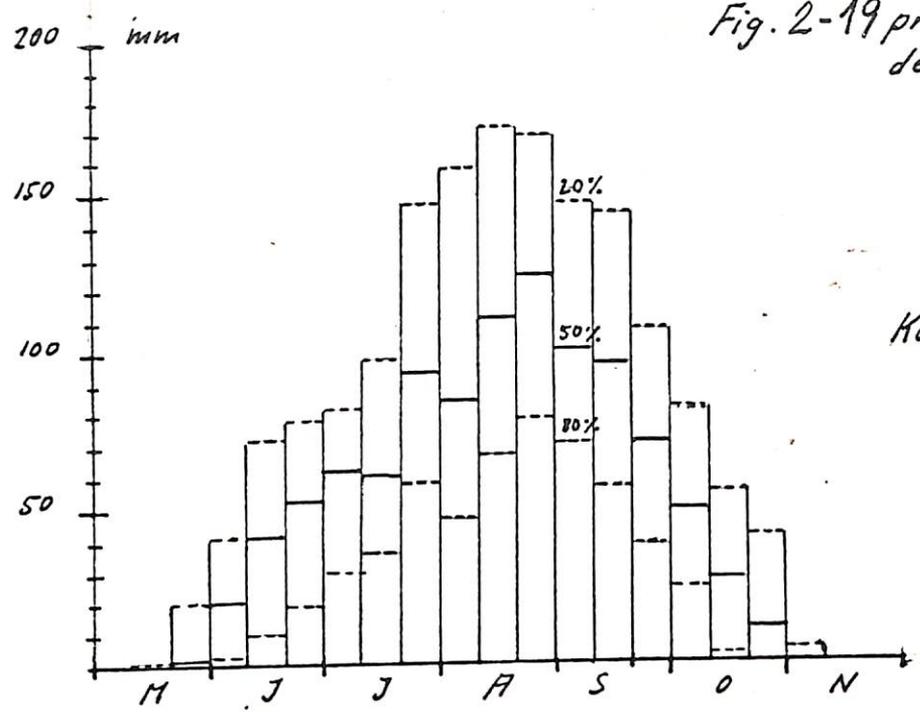
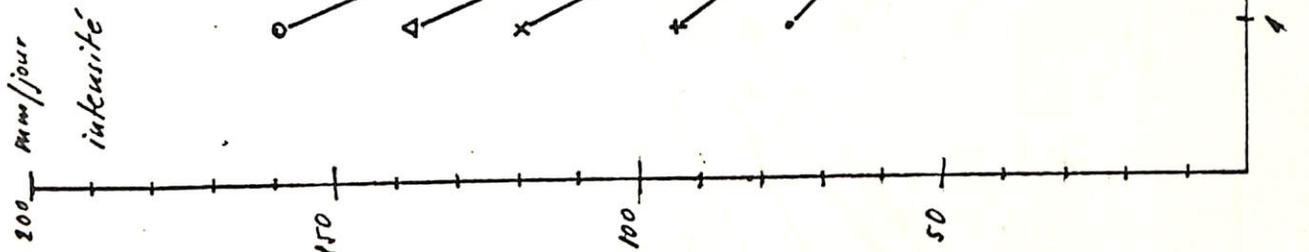


Fig. 2-19 précipitations
décadaires



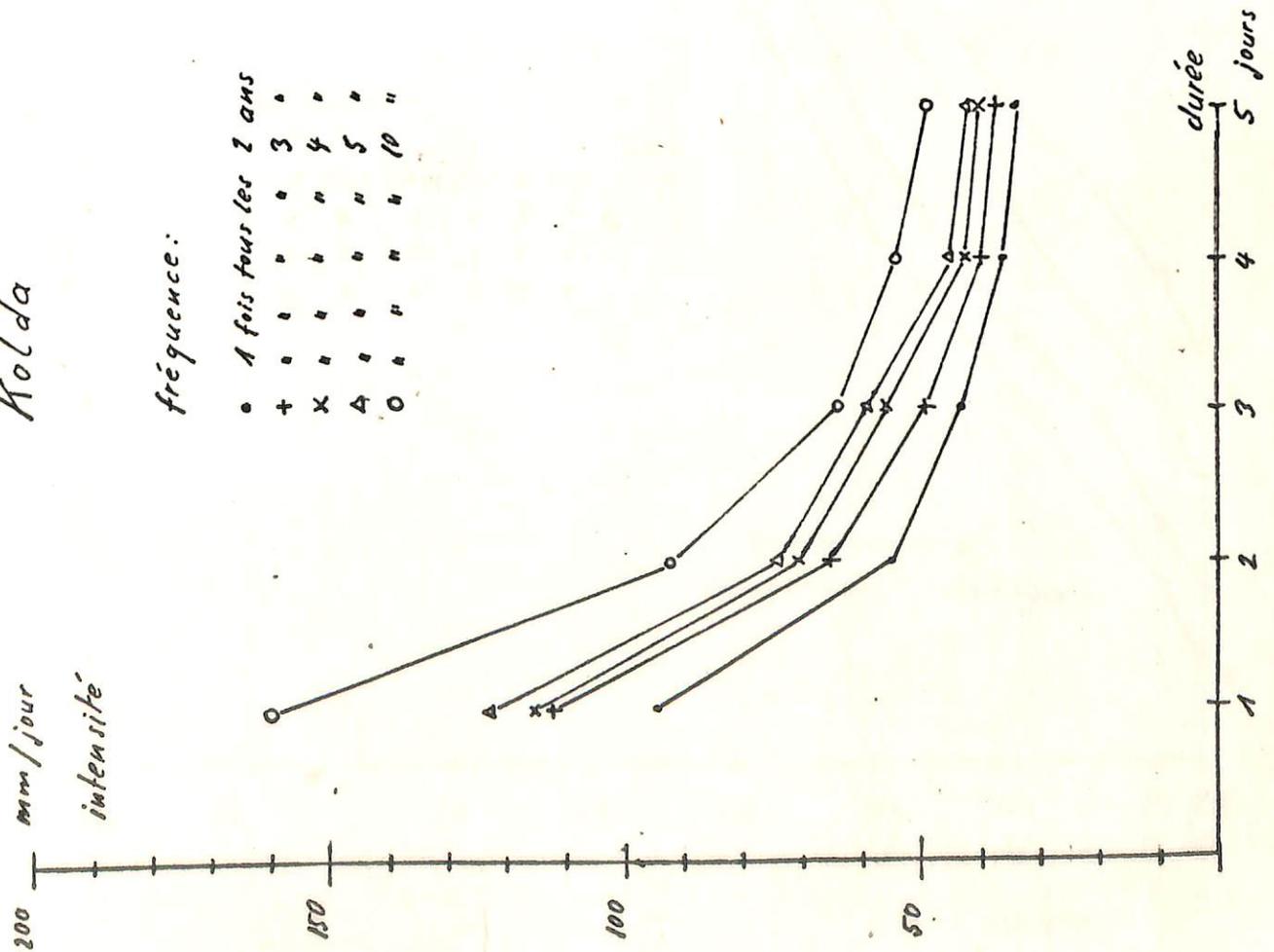
Vélingara



fréquence:

- 1 fois tous les 2 ans
- + " " " " 3 "
- x " " " " 4 "
- △ " " " " 5 "
- " " " " 10 "

Kolda



fréquence:

- 1 fois tous les 2 ans
- + " " " " 3 "
- x " " " " 4 "
- △ " " " " 5 "
- " " " " 10 "

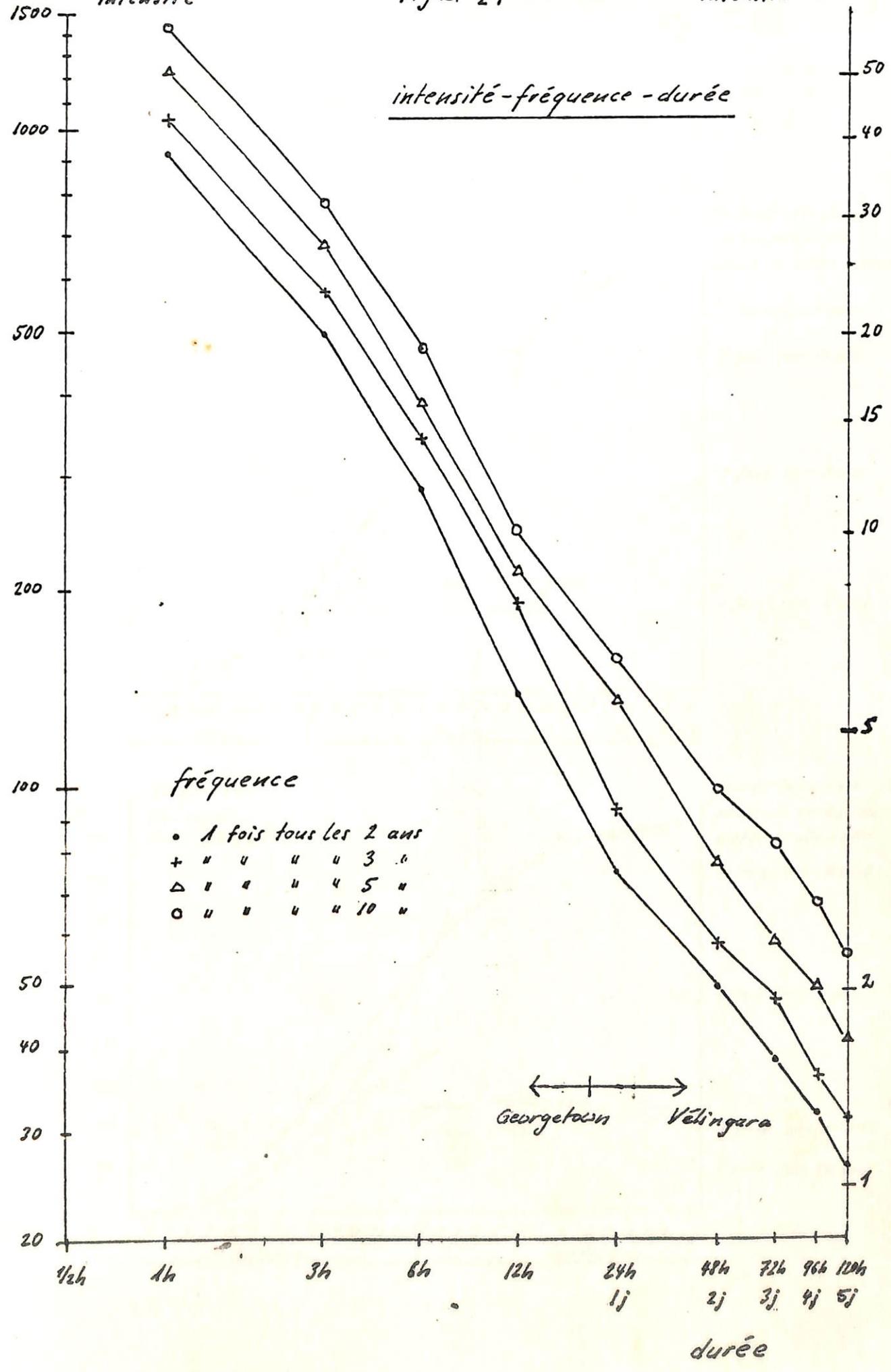
mm/j

Fig. 2.-21

intensité mm/h

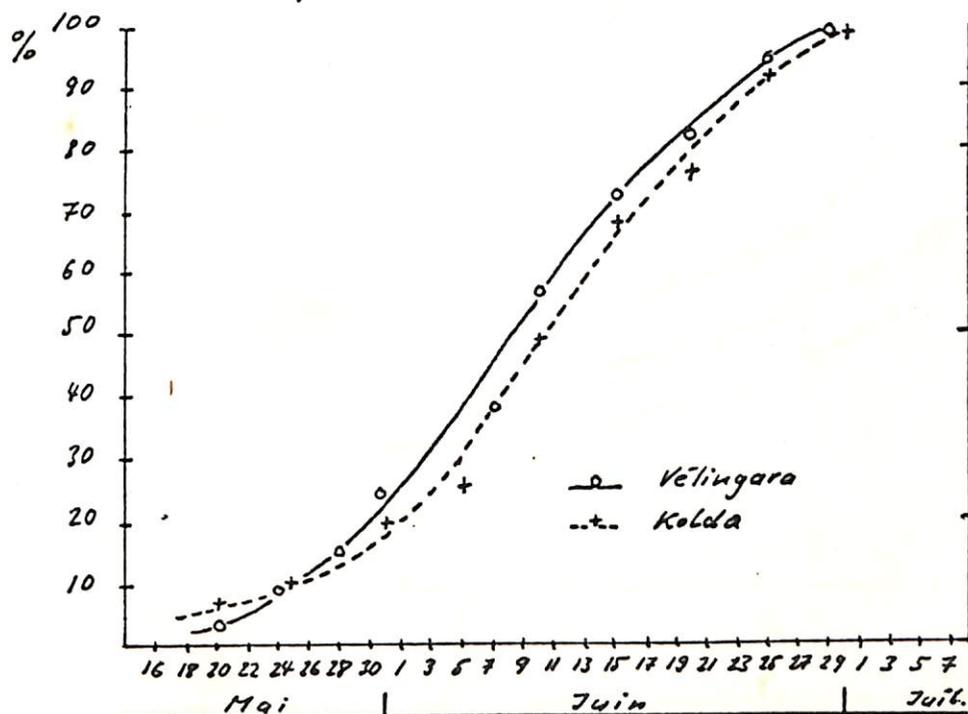
intensité

intensité - fréquence - durée



Début et fin de la saison des pluies

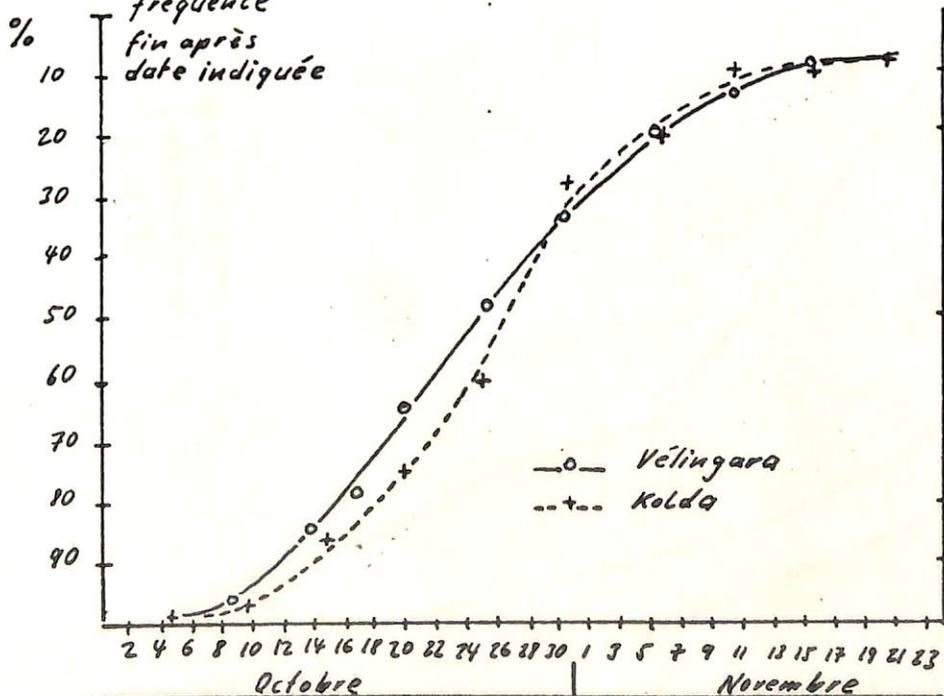
fréquence début avant date indiquée



début de la saison pluviale avant la date indiquée

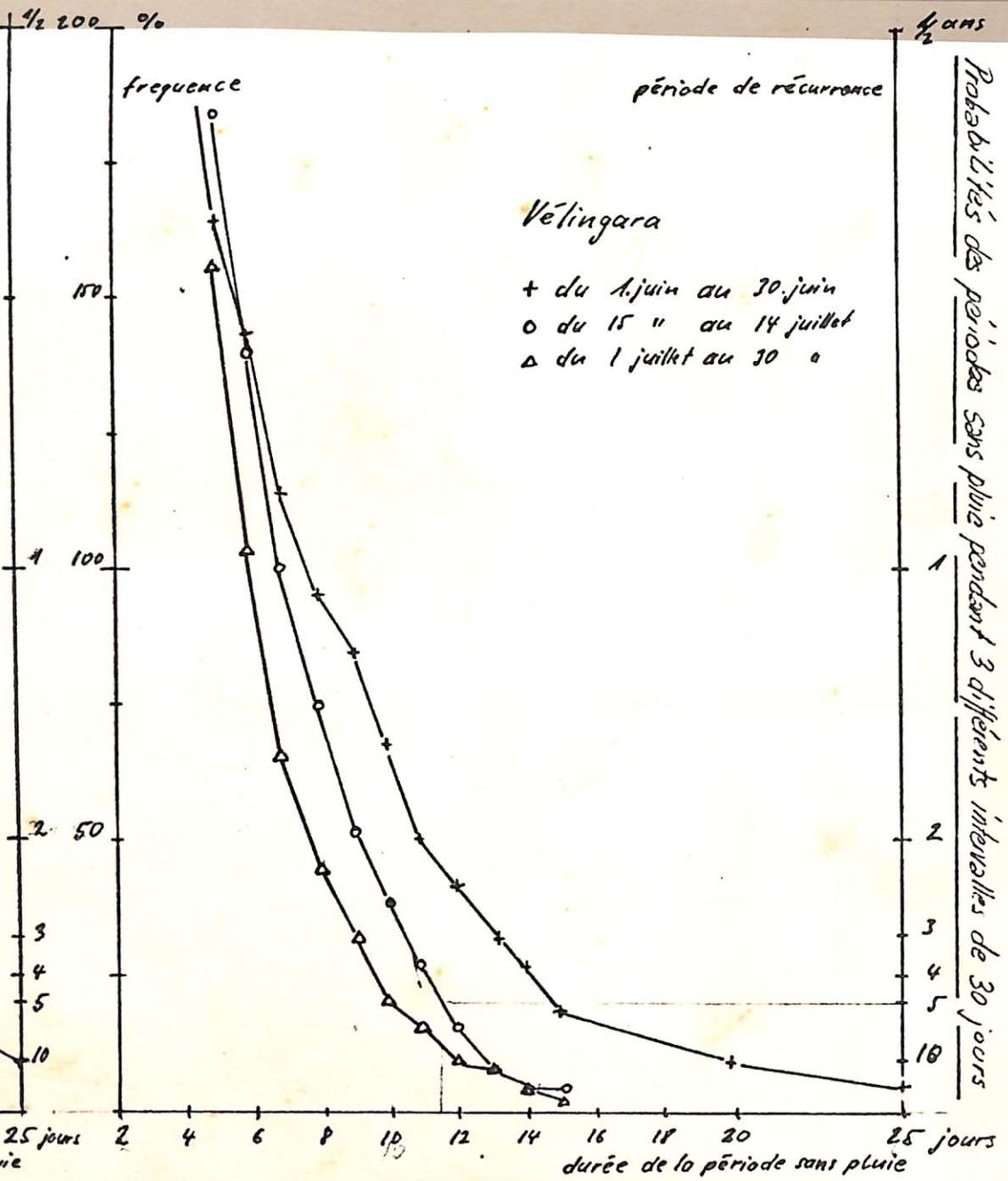
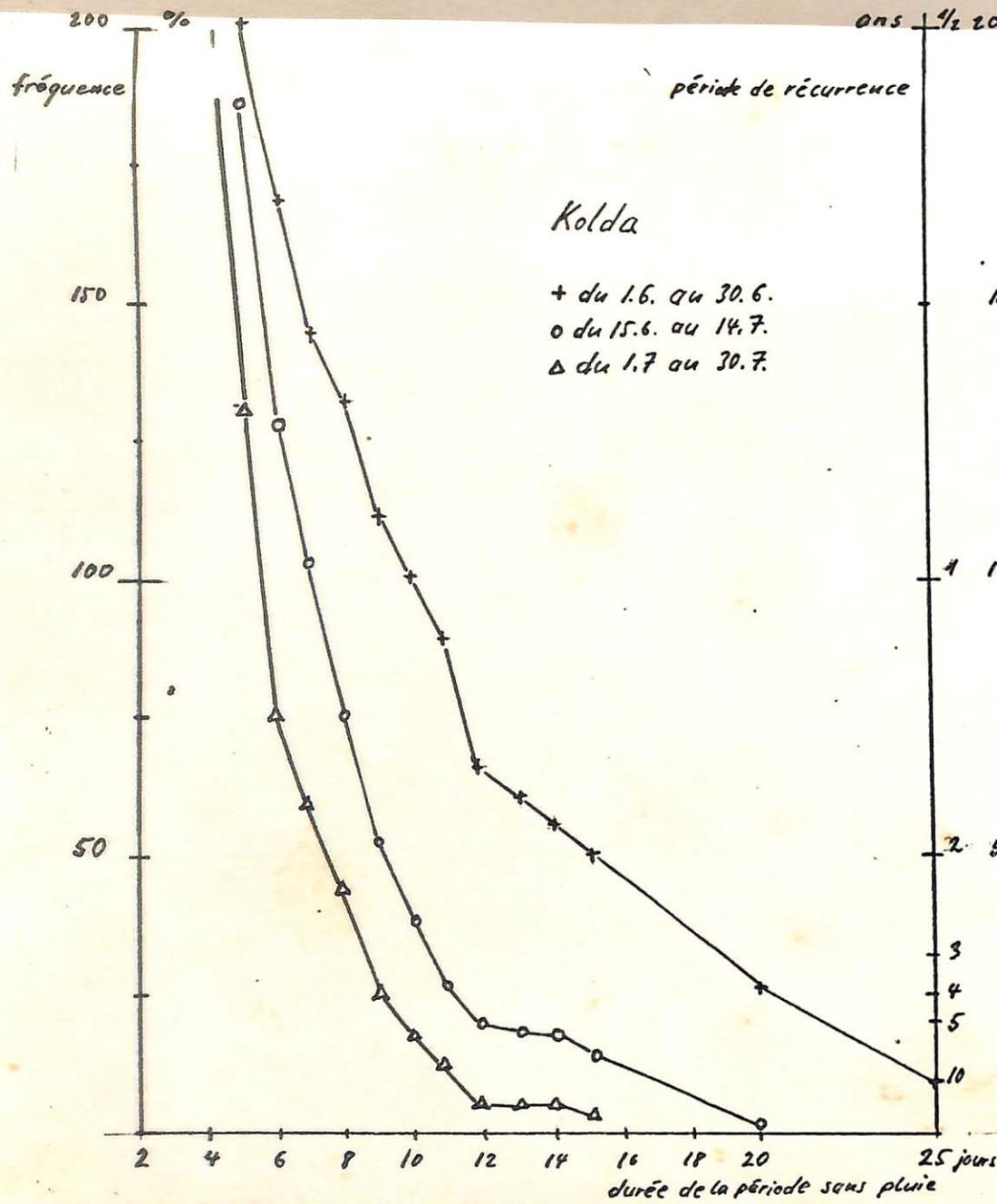
9 fois sur 10 ans
 8 fois sur 10 ans
 1 fois sur 2 ans
 1 fois sur 5 ans

fréquence fin après date indiquée



fin de la saison pluviale après la date indiquée

2 fois sur 10 ans
 1 fois sur 2 ans
 8 fois sur 10 ans
 9 fois sur 10 ans



Probabilités des périodes sans pluie pendant 3 différents intervalles de 30 jours

