

R E P U B L I Q U E R W A N D A I S E
M I N I S T E R E D E L ' A G R I C U L T U R E E T D E L ' E L E V A G E
D I R E C T I O N D U G E N I E R U R A L E T D E L ' H Y D R O L O G I E

ESTIMATION DES VOLUMES
ECOULES ANNUELS ET DES DEBITS
AUX STATIONS DE LA
NYABARONGO
A
KIGALI ET A KANZENZE

P. POURRUT, ingénieur hydrologue O.R.S.T.O.M.

24 JUIL. 1992

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 33555 ex 2

Cote : A

Mars 1974

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
I - INTRODUCTION	1
II- DONNEES DISPONIBLES	1
II.1 - Superficie des bassins versant.....	1
II.2 - Données hydrologiques	1
II.3 - Pluviométrie	2
III-DEFINITION DE L'ETUDE	3
IV- BASSIN DE LA NYABARONGO à KIGALI	4
IV.1 - Correlation entre le volume écoulé et la pluviométrie moyenne	4
IV.2 - Estimation des pluviométries annuelles de fréquence rare	9
IV.3 - Estimation des volumes écoulés annuels de fréquence rare	15
IV.4 - Recherche des valeurs maximales journalières et mensuelles	16
V - BASSIN DE LA NYABARONGO à KANZENZE	18
V .1 - Correlation entre le volume écoulés et la pluviométrie moyenne	18
V .2 - Correlation entre les volumes écoulés à Kigali et à Kanzenze	19
V .3 - Estimation des volumes écoulés annuels de fréquence rare	19
V .4 - Recherche des valeurs maximales journalières et mensuelles	20
VI - CONCLUSION	25
RECAPITULATION DES RESULTATS	26

I - INTRODUCTION.

Au moment où la République Rwandaise connaît un intense développement économique, plusieurs projets s'intéressent à la mise en valeur de la vallée de la Nyabarongo-Akagera. Ce bassin a un potentiel agricole et énergétique très important et nombreux sont les experts (rwandais, des aides bilatérales ou multilatérales) qui se penchent sur son aménagement.

L'hydrologie étant le paramètre de base d'un aménagement fluvial, nous avons jugé indispensable de mettre à la disposition des ingénieurs cette courte étude qui traite principalement des écoulements annuels. Notre propos n'est pas de traiter toute l'hydrologie de l'ensemble du bassin; d'une part il faudrait rédiger une véritable monographie en plusieurs volumes, et d'autre part le projet HYDROMET (PNUD/OMM) est déjà chargé de ce problème particulier.

Nous nous limiterons donc à l'étude de la zone focale des projets en cours, à savoir la Nyabarongo aux stations de Kigali et plus en aval, à Kanzenze, après sa confluence avec l'Akanyaru.

II- DONNEES DISPONIBLES.

II.1 - Superficie des bassins versants

NYABARONGO à KIGALI, pont route de GITARAMA	S = 8.900 Km ²
NYABARONGO à KANZENZE, pont route du BUGESERA	S = 14.600 Km ²

II.2 - Données hydrologiques

NYABARONGO à KIGALI : Cette station a été créée en Septembre 1955 mais beaucoup de relevés manquent et sur les 17 années d'observations, 10 années seulement sont utilisables :

5 années complètes : 1956-57-58-60-61

5 années extrapolées : 1959-63-67-68-72

Il faut noter que la forte crue de Mai 1963 a provoqué un surcreusement de la station et a totalement modifié l'étalonnage.

NYABARONGO à KANZENZE : La station a été créée à la même époque. Elle a été mieux suivie et sa courbe de tarage n'a pas subi de changement en Mai 1963. Sur les 17 années d'observations, 14 sont utilisables :

11 années complètes : 1956-57-59-60-61-62-64-66-69-70-72

3 années extrapolées : 1958-63-67.

II.3 - Pluviométrie

Le réseau pluviométrique, du point de vue nombre de stations, est très bon. Malheureusement la qualité des relevés n'est pas excellente et, surtout, il manque de nombreuses données.

Nous voulions, à l'origine, connaître les pluviométries annuelles d'après les isohyètes. Le tracé de celles-ci s'est révélé acrobatique du fait de fréquentes contradictions entre stations voisines. Devant l'incertitude des résultats acquis suivant cette méthode, nous avons préféré employer la méthode de Thiessen et ne prendre en considération que des stations sûres présentant un échantillon valable. Ces stations sont les suivantes :

GITARAMA	: Années disponibles :	1965 à 1972
KIBISHO	: Années disponibles :	1935 à 1970
	Années manquantes :	1958, 1959, 1962 à 1964, 1968, 1971
KIGALI	: Années disponibles :	1930 à 1972
	Années incomplètes extrapolées :	1961, 1962, 1963
RUBONA	: Années disponibles :	1930 à 1972
	Année incomplète :	1940
RUHENGERRI	: Années disponibles :	1930 à 1972
	Années manquantes :	1940 à 1949
RWAMAGANA	: Années disponibles :	1930 à 1972
	Années manquantes :	1954, 1955, 1957 à 1961
	Année incomplète extrapolée :	1971
RWERERE	: Années disponibles :	1961 à 1972
KARAMA	: Années disponibles :	1962 à 1972

De ces 8 postes pluviométriques les 7 premiers intéressent les deux bassins fluviaux, Karama n'intervenant que pour le calcul des pluviométries de la Nyabarongo à Kanzenze.

La pluie moyenne annuelle sur les bassins a été calculée en faisant la somme des pluies pondérées, les coefficients de pondération étant fonction des zones d'influence représentées à la fig. 1.

Lorsque tous les pluviomètres fonctionnent les coefficients de pondération sont les suivants :

Bassin de la NYABARONGO à KIGALI :

GITARAMA	:	0,243
KIBEHO	:	0,101
KIGALI	:	0,110
RUBONA	:	0,070
RUHENGERRI	:	0,213
RWAMAGANA	:	0,091
RWERERE	:	<u>0,172</u>

TOTAL 1,000

Bassin de la NYABARONGO à KANZENZE :

GITARAMA	:	0,203
KIBEHO	:	0,156
KIGALI	:	0,101
RUBONA	:	0,197
RUHENGERRI	:	0,130
RWAMAGANA	:	0,055
RWERERE	:	0,105
KARAMA	:	<u>0,053</u>

TOTAL 1,000

Cependant, comme nous l'avons laissé entendre précédemment, ces postes pluviométriques ne fonctionnent pas tous en même temps. Aussi les coefficients de pondération sont modifiés suivant les relevés existants. On trouvera, aux tableaux N°2 et N°8 des chapitres IV et V, le détail de ces modifications année par année.

III - DEFINITION DE L'ETUDE.

Notre objectif principal est d'établir une corrélation entre la pluviométrie moyenne sur le bassin et le volume d'eau écoulé annuel. Il en découlera une formule simple permettant de définir le volume à partir d'une pluviométrie quelconque et, en particulier, à partir des pluviométries de fréquence rare que nous allons essayer de déterminer.

Dans l'optique de la construction d'un barrage nous aborderons également le problème des valeurs maximales journalières et mensuelles.

Chaque bassin sera traité séparément dans les 2 chapitres suivants.

IV - BASSIN DE LA NYABARONGO à KIGALI.

IV.1 - Corrélation entre le volume écoulé et la pluviométrie moyenne.

Depuis le début des observations, en Septembre 1955, les volumes écoulés annuels ont pu être mesurés ou raisonnablement extrapolés sur 10 années.

<u>Année</u>	<u>Volumes écoulés en milliards de m³</u>	
1956	1,793	
57	2,276	
58	1,922	
59	(1,858)	
1960	1,928	
61	1,875	<u>Nota</u> : Les valeurs extrapolées sont ()
63	(3,595)	
67	(2,911)	
68	(3,301)	
1972	(2,545)	

Les pluviométries moyennes, pour la même période de 17 ans, sont définies à partir des tableaux des pages suivantes :

Tableau N°1 : relevés pluviométriques annuels bruts à chacun des postes pluviométriques.

Tableau N°2 : variation des coefficients de pondération des pluviomètres suivant les données existantes.

Tableau N°3 : pluies pondérées et pluviométries annuelles moyennes sur le bassin.

Nous avons reporté, sur la fig. N°2, les écoulements x en milliards de m³ et les pluviométries moyennes y correspondantes en mm. Les points obtenus se placent autour d'une droite de formule $y = ax + b$ où, N étant le nombre d'observations :

$$a = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

et

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{N \sum x^2 - (\sum x)^2}$$

Le coefficient de corrélation r est défini par l'équation :

$$r = \frac{N \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2][N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dans le cas présent nous obtenons :

$r = 0,83$ ce qui indique, N étant égal à 10, une corrélation significative. Cela nous permet donc d'estimer raisonnablement les volumes écoulés à partir des pluviométries. Le calcul de a et b ayant donné :

$$a = 0,00425$$

$$b = 2,9$$

La formule définitive est la suivante :

$$\boxed{V_{Ki} = 0,00425 P_{Ki} - 2,9}$$

où V_{Ki} est le volume écoulé, en milliards de m³
et P_{Ki} la pluviométrie moyenne de l'année, en mm

TABLEAU N° 1

NYABARONGO à KIGALI

Pluviométries ponctuelles annuelles, en mm

Année	Gitarama	Kibeho	Kigali	Rubona	Ruhengeri	Rwamagana	Rwerere
1956	-	1207,8	976,4	1012,8	1320,1	895,2	-
57	-	1673,0	1239,3	1375,8	1253,9	-	-
58	-	-	906,9	1326,2	1260,9	-	-
59	-	-	1159,4	1336,1	1165,3	-	-
1960	-	1342,0	-	968,2	1120,1	-	-
61	-	1515,0	(867,5)	1459,9	1406,2	-	1112,0
62	-	-	(1033,3)	1447,2	1440,3	-	1189,7
63	-	-	(926,8)	1324,1	1801,1	1236,7	1539,1
64	-	-	1026,2	1405,6	1398,6	1091,3	1138,2
65	1047,0	1310,1	1168,0	1149,6	1308,5	1132,5	1246,4
66	1111,7	-	762,4	1333,4	1344,8	959,3	1093,0
67	1459,3	1267,6	948,7	1128,8	1278,4	935,2	1258,2
68	1232,6	-	1149,4	1299,2	1453,0	1246,6	1143,3
69	823,9	1328,0	779,8	1131,7	1692,5	879,0	1071,8
1970	923,3	1284,8	985,9	1202,9	1282,0	1088,1	1169,9
71	1105,8	-	961,8	1285,6	1763,5	(890,3)	1307,6
72	1014,8	1572,2	1270,0	1086,0	1557,5	1268,6	1357,3

TABLEAU N°2

NYABARONGO à KIGALI

Variation des coefficients de pondération des postes pluviométriques

! Années	!Gitarama	! Kibeho	! Kigali	! Rubona	!Ruhengeri	!Rwamagana	!Rwerere	!
Obs.comple								
tes 1965-1967-69-70-72	0,243	0,101	0,110	0,070	0,213	0,091	0,172	!
! 1956	-	0,101	0,317	0,192	0,299	0,091	-	!
! 1957	-	0,101	0,408	0,192	0,299	-	-	!
! 1958-59	-	-	0,408	0,293	0,299	-	-	!
! 1960	-	0,247	-	0,394	0,359	-	-	!
! 1961	-	0,101	0,301	0,170	0,243	-	0,185	!
! 1962	-	-	0,301	0,271	0,243	-	0,185	!
! 1963	-	-	-	0,288	0,331	0,091	0,290	!
! 1964-66	-	-	0,210	0,271	0,243	0,091	0,185	!
! 1968-71	0,243	-	0,110	0,171	0,213	0,091	0,172	!

TABLEAU N°3

NYABARONGO à KIGALI

Pluies pondérées et pluviométries moyennes annuelles, en mm

Année	Gitarama	Kibeho	Kigali	Rubona	Ruhengeri	Rwamagana	Rwerere	Pl.moy.
1956	-	122,0	309,5	194,5	394,7	81,5	-	1102,2
57	-	169,0	505,6	264,2	374,9	-	-	1313,7
58	-	-	370,0	388,6	377,0	-	-	1135,6
59	-	-	473,0	391,5	348,5	-	-	1212,9
1960	-	324,1	-	381,5	402,1	-	-	1107,7
61	-	153,0	261,1	248,2	341,7	-	205,7	1209,7
62	-	-	311,0	392,2	350,0	-	220,1	1273,3
63	-	-	-	381,3	596,2	112,5	446,3	1536,3
64	-	-	215,5	380,9	339,9	99,3	210,6	1246,2
65	254,4	132,3	128,5	80,5	278,7	103,1	214,4	1191,9
66	270,1	-	83,9	228,0	286,4	87,3	188,0	1143,7
67	354,6	128,0	142,4	79,0	272,3	85,1	216,4	1277,4
68	299,5	-	126,4	222,2	309,5	113,4	196,6	1267,6
69	200,2	134,1	88,0	79,2	360,5	80,0	184,3	1126,3
1970	224,4	129,8	108,4	84,2	273,1	99,0	201,2	1120,1
71	268,7	-	105,8	219,8	375,6	81,0	224,9	1275,8
72	246,6	158,8	139,7	76,0	331,7	115,4	233,5	1301,7

IV.2 - Estimation des pluviométries de fréquence rare.

Nous allons faire notre étude statistique, c'est à dire rechercher une loi de distribution, sur deux séries distinctes :

- d'une part sur la série de 17 années de pluviométries moyennes sur le bassin, correspondant à la période d'observations hydrologiques,
- et d'autre part, comme l'échantillon précédent est faible (et peut à juste raison être critiqué par le fait que les pluviométries sont calculées à partir de pluies pondérées de façon hétérogène suivant les années) à partir de la série la mieux suivie et la plus valable : celle de la station de Rubona.

Nous avons utilisé à priori la loi la plus simple, celle de LAPLACE GAUSS, pour savoir si la distribution était normale autour de la valeur centrale \bar{x} nous réservant le droit, dans le cas contraire, d'utiliser d'autres lois.

Nous rappelons brièvement qu'on peut substituer à la variable x la variable auxiliaire $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ appelée variable réduite qui a pour moyenne 0 et pour écart-type l'unité. On arrive ainsi à la forme réduite de la loi normale

$$f(u) dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}} dx$$

Les paramètres \bar{x} et σ sont respectivement la moyenne et l'écart-type de la série :

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \text{ où } N \text{ est le nombre total d'observations}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

D'autre part la table des valeurs de l'intégrale de GAUSS donne les valeurs u pour différentes fréquences : (voir nota en bas de page)

- pour une fréquence médiane $F = 0,5$ $u = 0$
- pour une fréquence décennale $F = 0,1$ $u = 1,282$
- pour une fréquence centennale $F = 0,01$ $u = 2,326$

comme $u = \frac{x - \bar{x}}{s}$
 $x = s u + \bar{x}$

Rappelons aussi que, dans le cas d'une distribution normale 50 % des observations sont comprises entre $\frac{s}{3}$ et $-\frac{s}{3}$

68 % des observations sont comprises entre s et $-s$

95 % des observations sont comprises entre $2s$ et $-2s$

99,7% des observations sont comprises entre $3s$ et $-3s$

Enfin, l'écart-type de la moyenne \bar{x} étant

$\frac{s}{\sqrt{N}} = \frac{s}{\sqrt{N}}$ on dit que l'intervalle de confiance de la moyenne à 95 % est $\bar{x} \pm 2s$

Le tableau N°4 présente les pluviométries moyennes annuelles sur le bassin, classées dans l'ordre décroissant avec leur rang et leur fréquence expérimentale. Nous avons fait de même, dans le tableau N°5, avec les pluviométries observées à RUBONA de 1930 à 1972 (seule l'année 1940 est incomplète).

Signalons que les fréquences au dépassement sont calculées pour chaque valeur suivant $F = \frac{n - 1/2}{N}$

La distribution des pluies annuelles moyennes sur le bassin, suivant la loi normale de Gauss, est représentée à la fig. N°3. Un coup d'oeil suffit pour se rendre compte que la loi ne satisfait pas la très forte valeur de 1963 et qu'il faut chercher un autre mode de distribution. Nous avons donc essayé plusieurs lois et celle de Galton, représentée à la fig. N°4, donne les meilleurs résultats.

Nota : Lorsque l'échantillon N est inférieur à 50, u se distribue non plus normalement mais selon la loi de Student qui présente une distribution plus aplatie. On a pour Rubona $N=42$ et l'on admettra que u se distribue normalement.

Rappelons sommairement que, dans cette loi, on est conduit à considérer non plus les variations absolues de la variable mais ses variations relatives, c'est-à-dire les variations de son logarithme :

$$z = \log X$$

Avec l'introduction de cette variable auxiliaire, qui suit la loi de Gauss, nous avons comme pour cette dernière :

$$\bar{z} = \frac{\sum z_i}{N} \text{ et } \sigma = \frac{\sum (z_i - \bar{z})^2}{N - 1}$$

La fig. N°4 nous montre que l'alignement des points, sans être parfait, est meilleur que pour la loi de Gauss et que les valeurs extrêmes s'y intègrent de façon acceptable.

Par lecture graphique nous pouvons retenir :

TABLEAU N°4

Pluviométries annuelles moyennes sur le bassin
de la Nyabarongo à Kigali (1956-1972)

Loi de Gauss

n	Pluie en mm	Année	Fréquence	\bar{x}
			$\frac{n - 1/2}{N}$	
1	1536,3	1963	0,029	310,3
2	1313,7	1957	0,088	87,7
3	1301,7	1972	0,147	75,7
4	1277,4	1967	0,206	51,4
5	1275,8	1971	0,265	49,8
6	1273,3	1962	0,324	47,3
7	1267,6	1968	0,382	41,6
8	1246,2	1964	0,441	20,2
9	1212,9	1959	0,500	13,1
10	1209,7	1961	0,559	16,3
11	1191,9	1965	0,618	34,1
12	1143,7	1966	0,676	82,3
13	1135,6	1958	0,735	90,4
14	1126,3	1969	0,794	99,7
15	1120,1	1970	0,853	105,9
16	1107,7	1960	0,912	118,3
17	1102,2	1956	0,971	123,8

$\bar{x} = 1226,0$ mm

<u>Fréquence</u>	<u>Pluviométrie</u>
médiane (F=0,5 ou période de retour 2 ans)	1220 mm
décennale sèche (F=0,9 ou période de retour 10 ans)	1100 mm
décennale humide (F=0,1 ou période de retour 10 ans)	1350 mm

Les lecteurs optimistes (quant à nous, nous sommes circonspects étant donné la taille réduite de l'échantillon) pourraient également en déduire :

cinquantennale sèche	1035 mm
cinquantennale humide	1440 mm
centennale sèche	1015 mm
centennale humide	1470 mm

Nous préférons, même si c'est mathématiquement criticable, observer la distribution à la station de RUBONA (N = 42 années d'observations). Nous allons comparer les valeurs des pluviométries médiane, décennales sèche et humide avec celles du bassin, et utiliser la corrélation existante pour en déduire les pluviométries de fréquences rares (cinquantennales et centennales).

La fig. N°5 représente la distribution des pluviométries annuelles à Rubona suivant la loi de Gauss - Malgré une rupture (pas de pluviométries observées entre 1203 mm et 1275 mm), qu'on retrouve dans les autres lois essayées, la distribution normale est la plus satisfaisante et on peut en retenir graphiquement :

<u>Fréquence</u>	<u>Pluviométrie</u>
Centennale sèche	860 mm
Cinquantennale sèche	900 mm
Décennale sèche	1005 mm
Médiane	1180 mm
Décennale humide	1355 mm
Cinquantennale humide	1460 mm
Centennale humide	1500 mm

La fig. N°6 compare les valeurs médiane et décennales (points A, B et C) à RUBONA et sur le bassin - Les points A, B et C étant alignés on peut extrapoler graphiquement les pluviométries de fréquence rare sur le bassin à partir de celles déterminées précédemment à RUBONA. On obtient les valeurs suivantes :

TABLEAU N°5

Pluviométries annuelles à Rubona (1930-1972)

Loi de Gauss

n	Pluies en mm	Année	Fréquen- ce	$x_i - \bar{x}$	n	Pluie en mm	Année	Fréquen- ce	$x_i - \bar{x}$
1	1459,9	1961	0,012	290,0	22	1147,6	1933	0,542	22,3
2	1447,2	1962	0,036	277,3	23	1132,7	1942	0,536	37,2
3	1405,6	1964	0,060	235,7	24	1131,7	1969	0,560	38,2
4	1405,5	1941	0,083	235,6	25	1128,3	1967	0,583	41,6
5	1375,8	1957	0,107	205,9	26	1128,0	1954	0,607	41,9
6	1374,1	1945	0,131	204,2	27	1110,2	1936	0,631	59,7
7	1336,1	1959	0,155	166,2	28	1086,0	1972	0,655	83,9
8	1333,4	1966	0,179	163,5	29	1075,1	1953	0,679	94,8
9	1326,2	1958	0,202	156,3	30	1074,2	1943	0,702	95,7
10	1324,1	1963	0,226	154,2	31	1057,5	1939	0,726	112,4
11	1300,2	1968	0,250	130,3	32	1041,7	1944	0,750	128,2
12	1285,6	1971	0,274	115,7	33	1034,8	1931	0,774	135,1
13	1280,7	1930	0,298	110,8	34	1030,0	1938	0,798	139,9
14	1274,5	1950	0,321	104,6	35	1015,5	1932	0,821	154,4
15	1202,9	1970	0,345	33,0	36	1012,8	1956	0,845	157,1
16	1187,7	1937	0,369	17,8	37	997,3	1948	0,869	172,6
17	1185,0	1951	0,393	15,1	38	995,4	1934	0,893	174,5
18	1176,4	1949	0,417	6,5	39	991,0	1935	0,917	178,9
19	1166,8	1955	0,440	3,1	40	968,2	1960	0,940	201,7
20	1149,7	1965	0,464	20,2	41	929,7	1946	0,964	240,2
21	1148,4	1947	0,488	21,5	42	903,2	1952	0,988	266,7

$$\bar{x} = 1169,9 \text{ mm}$$

<u>Fréquence</u>	<u>Rubona</u>	<u>Bassin</u>
centennale sèche	860 mm	995 mm
cinquantennale sèche	900 mm	1020 mm
cinquantennale humide	1460 mm	1420 mm
centennale humide	1500 mm	1450 mm

Notons que si les points A, B et C sont alignés, c'est par hasard car seuls les échantillons suivant une loi normale peuvent avoir une relation linéaire - On admettra ici cette linéarité jusqu'aux fréquences 0,01 et 0,99.

Par comparaison de ces chiffres avec ceux obtenus suivant la distribution de Galton nous retiendrons en définitive :

BASSIN DE LA NYABARONGO à KIGALI

<u>Fréquence</u>	<u>Période de retour</u>	<u>Pluviométrie</u>
Centennale sèche	100 ans	1000 mm
Cinquantennale sèche	50 ans	1030 mm
Décennale sèche	10 ans	1100 mm
Médiane	2 ans	1220 mm
Décennale humide	10 ans	1350 mm
Cinquantennale humide	50 ans	1430 mm
Centennale humide	100 ans	1460 mm

IV.3 - Estimation des volumes écoulés annuels de fréquence rare.

La formule trouvée au paragraphe IV.1 appliquée aux pluviométries retenues au paragraphe IV.2 nous donne les résultats suivants :

Volume écoulé en année centennale sèche	: 1,35 milliards de m ³
" " " cinquantennale "	: 1,48 " "
" " " décennale "	: 1,78 " "
" " " médiane	: 2,29 " "
" " " décennale humide	: 2,80 " "
" " " cinquantennale "	: 3,18 " "
" " " centennale "	: 3,31 " "

NOTE CRITIQUE : Le lecteur pourra, à juste titre, s'étonner du fait que les 10 années d'écoulement observées (fig.2) sont situées entre la décennale sèche et la centennale humide. Nous en fûmes aussi très inquiets. Notre inquiétude s'est cependant calmée en constatant que notre cycle d'observations hydrologiques (17 années de 1955 à 1972) est vraisemblablement situé pendant une période de pluviométrie excédentaire.

Ainsi à Rubona, pourtant observé 42 ans, 10 de nos années d'observations hydrologiques sont classées parmi les 12 plus fortes années pluviométriques observées (tableau N°5). Quoiqu'il en soit l'année 1963 est de fréquence très rare, voisine de la centennale.

IV.4 - Recherche des valeurs maximales journalières et mensuelles

Nous avons classé, au tableau N°6, les valeurs maximales journalières et mensuelles atteintes chaque année. Notre échantillon est de 15 observations, aucune donnée n'ayant pu être connue en 1969 et 1971. Cela sera notre seul outil de travail car il n'est plus question, comme pour les écoulements annuels, d'essayer d'allonger artificiellement la série en ayant recours à des échantillons pluviométriques plus étendus. On comprend en effet qu'il est très difficile de localiser les pluies directement responsables des volumes écoulés mensuels et, à plus forte raison, des volumes journaliers.

La distribution des valeurs maximales mensuelles et journalières est représentée à la fig. N°7 (Loi de LAPLACE-GAUSS) et à la fig. N°8 (loi de GALTON). De cette dernière figure, où l'ajustement est nettement meilleur nous retiendrons les résultats graphiques suivants :

<u>Fréquence</u>	<u>Débit maximal journalier</u>	<u>Débit max.mensuel</u>
médiane	225 m ³ /s	150 m ³ /s
décennale	335 m ³ /s	195 m ³ /s
cinquantennale	430 m ³ /s	230 m ³ /s

Parmi les valeurs observées :

- le débit journalier maximal de 1963 est d'ordre trentennal
- le débit de Mai 1963 est d'ordre cinquantennal.

TABLEAU N°6

NYABARONGO à LIGALI

Valeurs maximales journalières et mensuelles

n	Valeurs journalières			Valeurs mensuelles			Fréquence $\frac{n-1}{2}$ N
	Année	Débit	Date	Année	Débit	Mois	
1	1963	400	début Mai	1963	230,0	Mai	0,033
2	1967	340	22/5	1964	190,6	Mai	0,100
3	1964	337	28/4	1968	182,8	Avril	0,167
4	1968	316	12/4	1957	168,0	Mai	0,233
5	1965	253	27/4	1967	161,0	Mai	0,300
6	1970	241	14/4	1965	157,7	Avril	0,367
7	1966	224	8/5	1970	156,1	Avril	0,433
8	1957	220	3/5	1966	154,4	Avril	0,500
9	1962	200	14/5	1960	137,0	Avril	0,567
10	1958	195	16/5	1961	136,5	Déc.	0,633
11	1960	193	5/4	1962	135,5	Nov.	0,700
12	1956	181	8/5	1956	132,0	Mai	0,767
13	1959	175	24/5	1958	122,5	Mai	0,833
14	1961	174	2/12	1972	115,8	Mai	0,900
15	1972	174	15/4	1959	107,0	Mai	0,967

V - BASSIN DE LA NYABARONGO à KANZENZE.

V.I - Correlation entre le volume écoulé et la pluviométrie moyenne

Depuis Septembre 1955, date de l'installation de la station, les volumes écoulés annuels ont pu être mesurés ou extrapolés sur 14 années :

<u>Année</u>	<u>Volumes écoulés en milliards de m³</u>
1956	2,669
57	3,125
58	(2,734)
59	2,680
1960	2,872
61	2,564
62	4,307
63	(4,602)
64	3,786
66	3,300
67	(2,919)
69	3,279
1970	3,332
72	3,487

Les pluviométries moyennes sur le bassin sont définies à partir des tableaux suivants :

tableau N°7 : relevés pluviométriques annuels bruts à chacun des postes pluviométriques,

tableau N°8 : variation des coefficients de pondération des pluviomètres suivant les données existantes,

tableau N°9 : pluies pondérées et pluviométries annuelles moyennes sur le bassin.

Contrairement au résultat obtenu à la station de Kigali, la corrélation volume écoulé/pluviométrie moyenne est très lâche et pas du tout significative. Ce fait est sans doute dû, d'une part à l'absence totale de poste pluviométrique vraiment représentatif du bassin de l'Akanyaru, et d'autre part du fait que la majorité des apports provient de la Nyabarongo.

La phrase précédente nous conduit à considérer une méthode d'approche différente, à savoir la comparaison des écoulements à Kigali et Kanzenze. En cas de corrélation satisfaisante notre but serait atteint par un moyen détourné.

V.2 - Corrélation entre les volumes écoulés à KIGALI et à KANZENZE

Nous possédons les résultats des écoulements simultanément sur 9 années dont nous avons reporté les valeurs sur le graph. N°9. Sept années sont en très étroite corrélation. Seul 1961 est un peu faible. Quant à 1967 nous ne devons pas en tenir compte car il est manifeste que nos extrapolations sont fausses puisque les apports de l'Akanyaru auraient été quasi-inexistants.

Les régimes hydrologiques de Kigali et Kanzenze étant étroitement liés par une excellente corrélation nous pouvons définir les écoulements de la seconde station par rapport à la première.

La formule, définie par l'équation donnée au chapitre IV.1 et par la fig.N°9, est la suivante :

$$V_{KZ} = 1,065 V_{Ki} + 0,76$$

ou V_{KZ} est le volume écoulé annuel à KANZENZE

et V_{Ki} le volume écoulé la même année à KIGALI

En fonction de la pluviométrie moyenne sur le bassin versant de Kigali cette formule peut s'écrire :

$$V_{KZ} = 0,00453 P_{Ki} - 2,34$$

V.3 - Estimation des volumes écoulés annuels de fréquence rare.

A l'aide des formules établies ci-dessus on peut calculer les volumes écoulés pour différentes périodes de retour :

<u>Fréquence</u>	<u>Volumes écoulés en milliards de m3</u>
Centennale sèche	2,20
Cinquantennale sèche	2,44
Décennale sèche	2,66

Médiane	3,20
Décennale humide	3,74
Cinquantennale ⁿ humide	4,15
Centennale humide	4,30

V.4 - Recherche des valeurs maximales journalières et mensuelles.

Le tableau N° 10 présente les valeurs des débits classés, journaliers et mensuels, au cours des 17 années d'observations.

Après divers essais la loi qui s'ajuste le mieux à l'échantillon est la loi gausse-logarithmique de Galton (voir fig. N° 10). On peut en déduire les valeurs suivantes :

<u>Fréquence</u>	<u>Débit maximal journalier</u>	<u>Débit max. mensuel</u>
médiane	258 m ³ /s	182 m ³ /s
décennale	365 m ³ /s	250 m ³ /s
cinquantennale	455 m ³ /s	300 m ³ /s

TABLEAU N° 8

NYABARONGO à KANZENZE

Variation des coefficients de pondération des postes pluviométriques

Année	Gitarama	Kibeho	Kigali	Rubona	Ruhengeri	Rwamagana	Rwerere	Karama
Obs. compl. 1965-67-69-70-72	0,203	0,156	0,101	0,197	0,130	0,055	0,105	0,053
1956	-	0,156	0,251	0,300	0,238	0,055	-	-
1957	-	0,156	0,306	0,300	0,238	-	-	-
1958-59	-	-	0,306	0,456	0,238	-	-	-
1960	-	0,156	-	0,456	0,388	-	-	-
1961	-	0,156	0,256	0,300	0,183	-	0,105	-
1962	-	-	0,256	0,456	0,130	-	0,105	0,053
1963-64	-	-	0,201	0,456	0,130	0,055	0,105	0,053
1966-68-71	0,203	-	0,101	0,353	0,130	0,055	0,105	0,053

TABLEAU N° 9

NYABARONGO à KANZENZE

Pluies pondérées et pluviométries moyennes annuelles, en mm

Année	Gitarama	Kibeho	Kigali	Rubona	Ruhengeri	Rwamagana	Rwesero	Karama	pl. moy.
1956	-	188,4	245,1	303,8	314,2	49,2	-	-	1100,7
57	-	261,0	379,2	412,7	298,4	-	-	-	1351,3
58	-	-	277,5	604,7	300,1	-	-	-	1182,3
59	-	-	354,8	609,3	277,3	-	-	-	1241,4
1960	-	204,7	-	441,5	434,6	-	-	-	1080,8
61	-	236,3	222,1	438,0	257,3	-	116,8	-	1270,5
62	-	-	264,5	659,9	187,2	-	124,9	46,0	1282,5
63	-	-	186,3	603,8	234,1	68,0	161,6	49,8	1303,6
64	-	-	206,3	641,0	181,8	60,0	119,5	50,0	1258,6
65	212,5	204,4	118,0	226,5	170,1	62,3	130,9	52,8	1177,5
66	225,7	-	77,0	470,7	174,8	52,8	114,8	38,6	1154,4
67	296,2	197,7	95,8	222,4	166,2	51,4	132,1	41,4	1203,2
68	250,2	-	116,1	458,6	188,9	68,6	120,0	60,7	1263,1
69	167,3	207,2	80,8	222,9	220,0	48,3	112,5	36,7	1095,7
1970	187,4	200,4	99,6	237,0	166,7	59,8	122,8	43,3	1117,0
71	224,5	-	97,1	453,8	229,3	49,0	137,3	45,6	1236,6
72	206,0	245,3	128,3	213,9	202,5	69,8	142,5	48,6	1256,9

TABLEAU N° 10

NYABARONGO à KANZENZE

Valeurs maximales journalières et mensuelles

n	Valeurs journalières			Valeurs mensuelles			Fréquence
	Débit	Année	jour	Débit	Année	Mois	$\frac{n-1}{2}$ N
1	410	1963	2/5	281	1963	Mai	0,029
2	402	1964	27/4	272	1971	Mai	0,088
3	362	1971	24/5	239	1968	Mai	0,147
4	330	1967	2/5	228	1970	Mai	0,147
5	296	1967	25/5	191	1964	Mai	0,265
6	286	1970	30/4	187	1962	Janvier	0,324
7	280	1962	16/5	184	1961	Décembre	0,382
8	237	1960	25/4	184	1965	Mai	0,441
9	234	1969	24/5	180	1957	Mai	0,500
10	230	1961	19/12	180	1969	Mai	0,559
11	230	1965	7/5	158	1960	Avril	0,618
12	221	1957	8/5	156	1967	Mai	0,676
13	221	1966	7/5	152	1966	Avril	0,735
14	213	1959	30/5	151	1972	Mai	0,794
15	206	1958	18/5	148	1958	Mai	0,853
16	180	1972	26/5	142	1956	Mai	0,912
17	153	1956	20/5	132	1959	Mai	0,971

VI - CONCLUSIONS.

Le tableau N° 11 récapitule la totalité des résultats obtenus. Comme le lecteur a pu s'en rendre compte, certains de ces résultats font suite à des raisonnements n'ayant pas toute la rigueur mathématique souhaitable, en particulier pour le calcul des pluviométries.

Mais le problème de l'aménagement de la Nyabarongo étant une des préoccupations principales des responsables de la mise en valeur, nous avons pensé nécessaire de prendre certains risques pour fournir aux techniciens les renseignements indispensables à l'édification d'un projet d'aménagement. Aussi, bien qu'étant convaincus de serrer la vérité d'assez près, nous conseillons une certaine prudence aux utilisateurs de ces résultats.

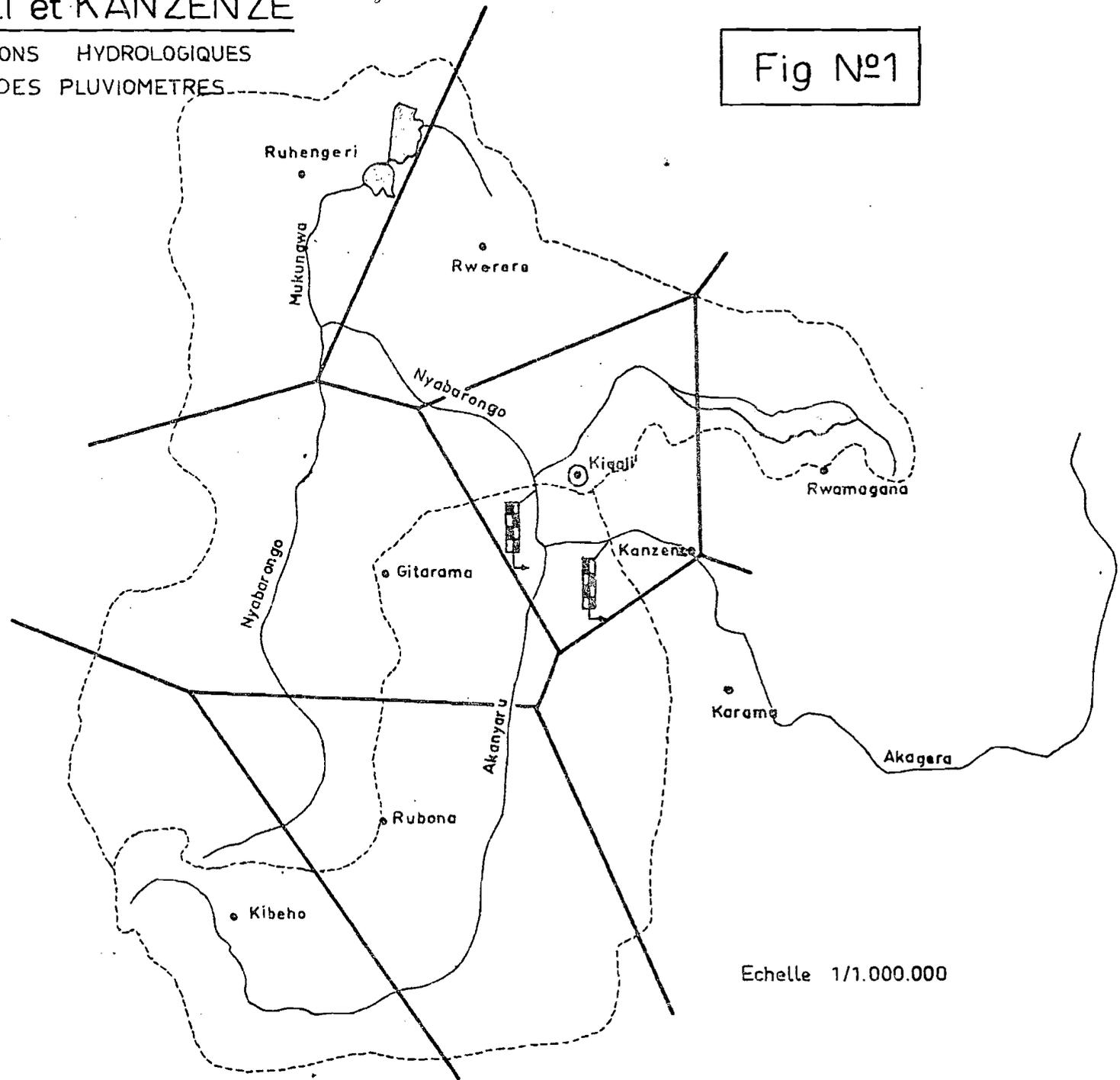
TABLEAU N° 11 : RECAPITULATION

! VALEURS RECHERCHEES !	! PLUVIOMETRIE MOYENNE !	! STATION DE KIGALI !	! STATION DE KANZENZE !
! sur le BASSIN DE KIGALI !			
! Calcul des volumes !	! Quelconque !	! P_{Ki} mm !	! $V_{KZ}=0,00425 P_{Ki}^{-2,9}$!
! écoulés annuels !	! P_{Ki} !	! milliards m ³ !	! ou $V_{KZ}=1,065 V_{Ki} + 0,76$!
! Estimation des va- !	! 100 ans secs !	! 1000 mm !	! 1,35 milliards de m ³ !
! leurs de la pluvio- !	! 50 ans secs !	! 1030 mm !	! 1,48 " !
! métrie et du volume !	! 10 ans secs !	! 1100 mm !	! 1,78 " !
! écoulé annuel pour !	! médiane !	! 1220 mm !	! 2,29 " !
! diverses fréquences !	! 10 ans humides !	! 1350 mm !	! 2,80 " !
!	! 50 ans humides !	! 1430 mm !	! 3,18 " !
!	! 100 ans humides !	! 1460 mm !	! 3,31 " !
! Estimation du débit !	! médiane !	! - !	! 150 m ³ /s !
! maximal mensuel !	! 10 ans humides !	! - !	! 195 " !
!	! 50 ans humides !	! - !	! 230 " !
! Estimation du débit !	! médiane !	! - !	! 225 " !
! maximal journalier !	! 10 ans humides !	! - !	! 335 " !
!	! 50 ans humides !	! - !	! 430 " !

NYABARONGO à KIGALI et KANZENZE

EMPLACEMENT DES STATIONS HYDROLOGIQUES
ET ZONES D'INFLUENCE DES PLUVIOMETRES

Fig N°1



Echelle 1/1.000.000

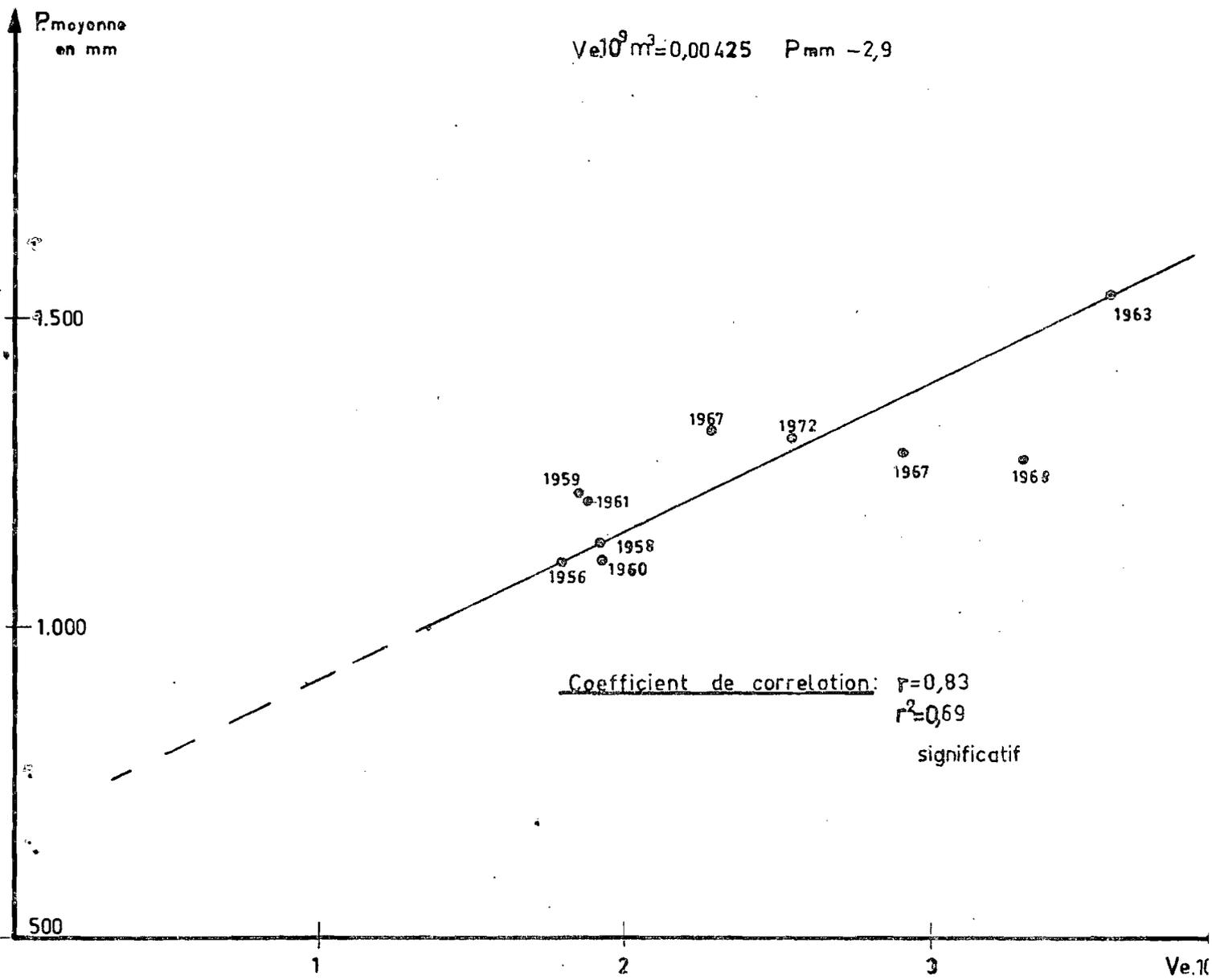
FIG. N°2

NYABARONGO à KIGALI

CORRELATION entre le VOLUME
écoulé et la PLUVIOMETRIE

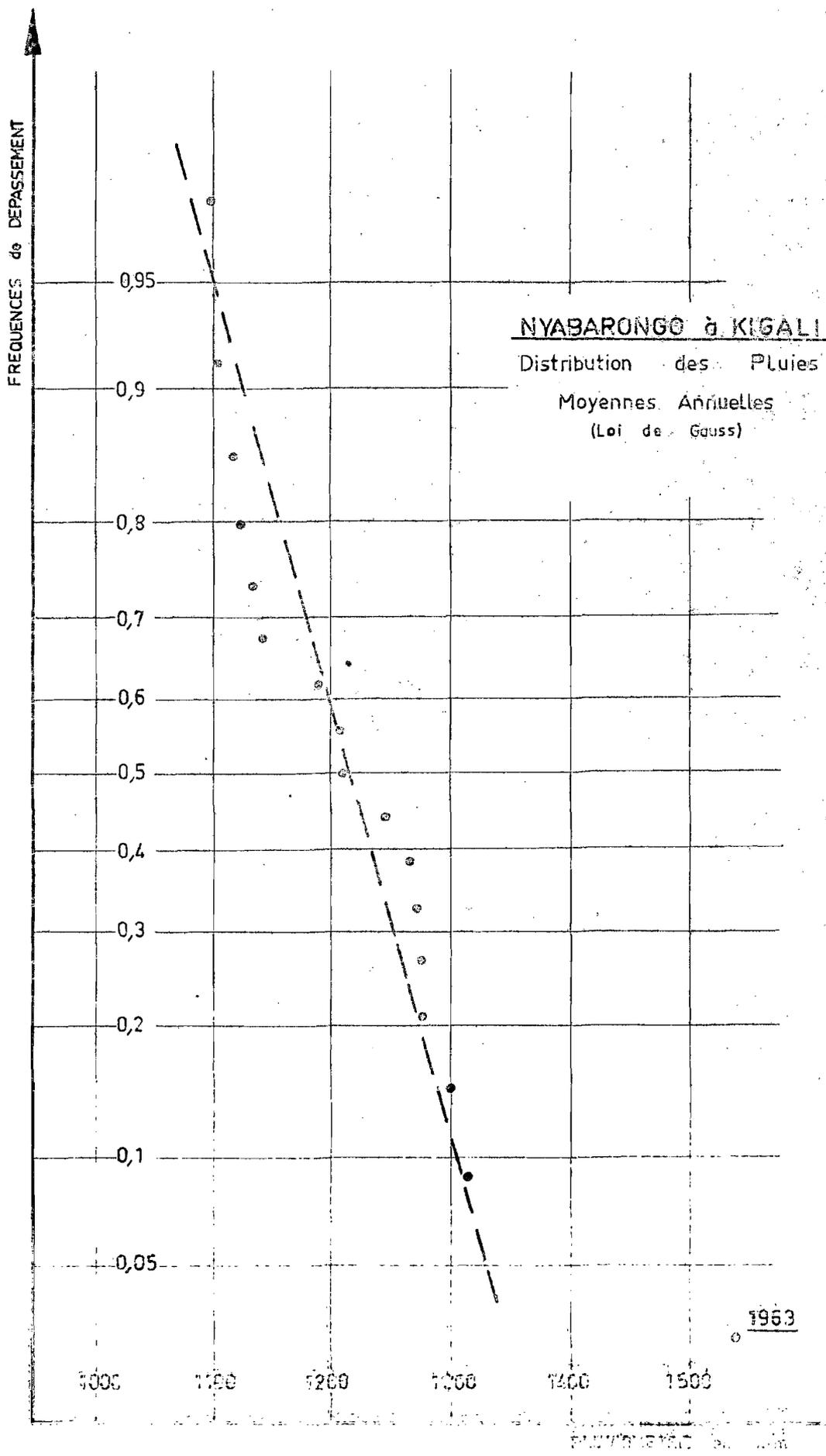
(N°=10)

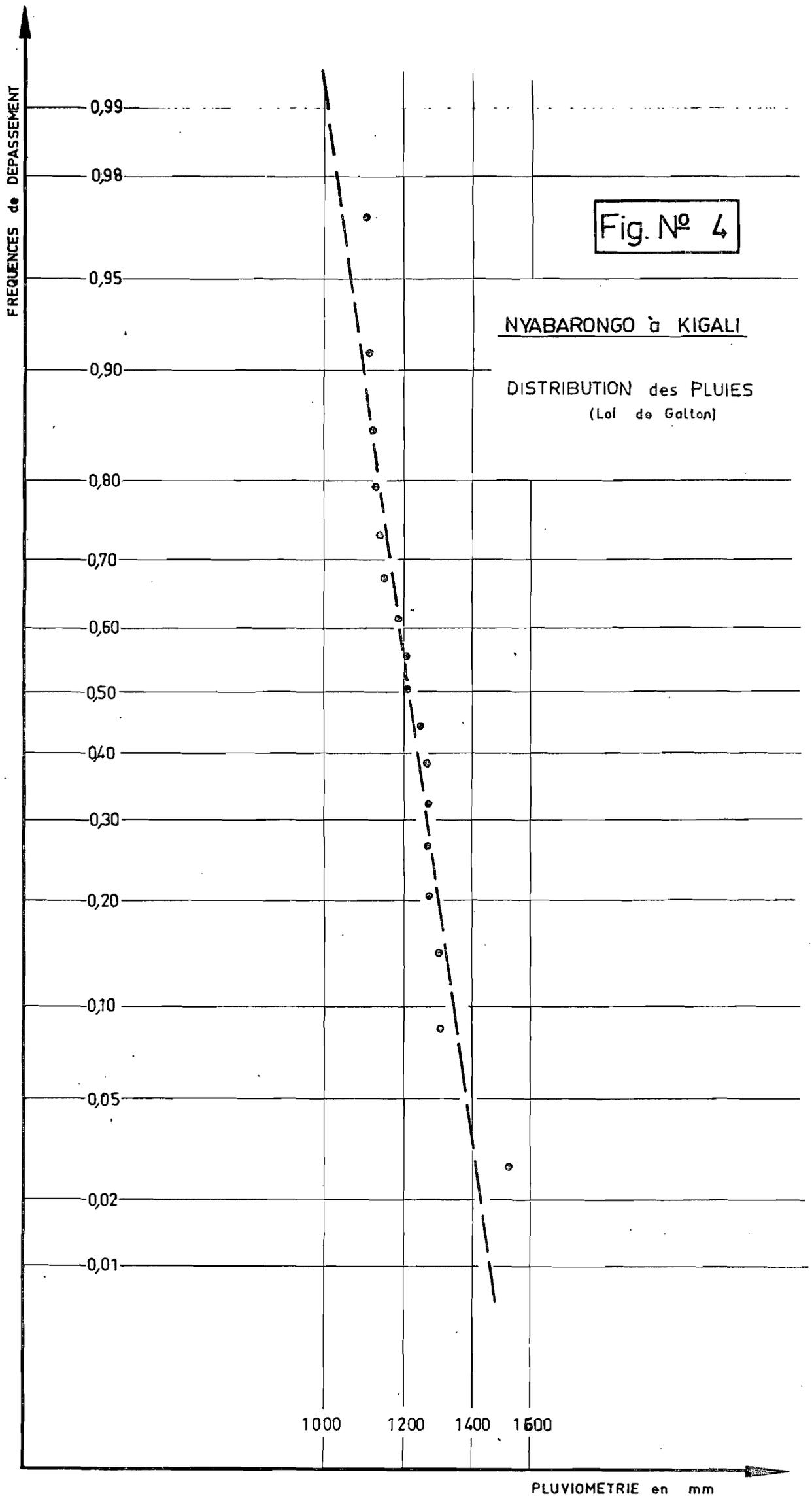
$Ve \cdot 10^9 m^3 = 0,00425 P_{mm} - 2,9$



Coefficient de corrélation: $r=0,83$
 $r^2=0,69$
significatif

FIG. N° 3





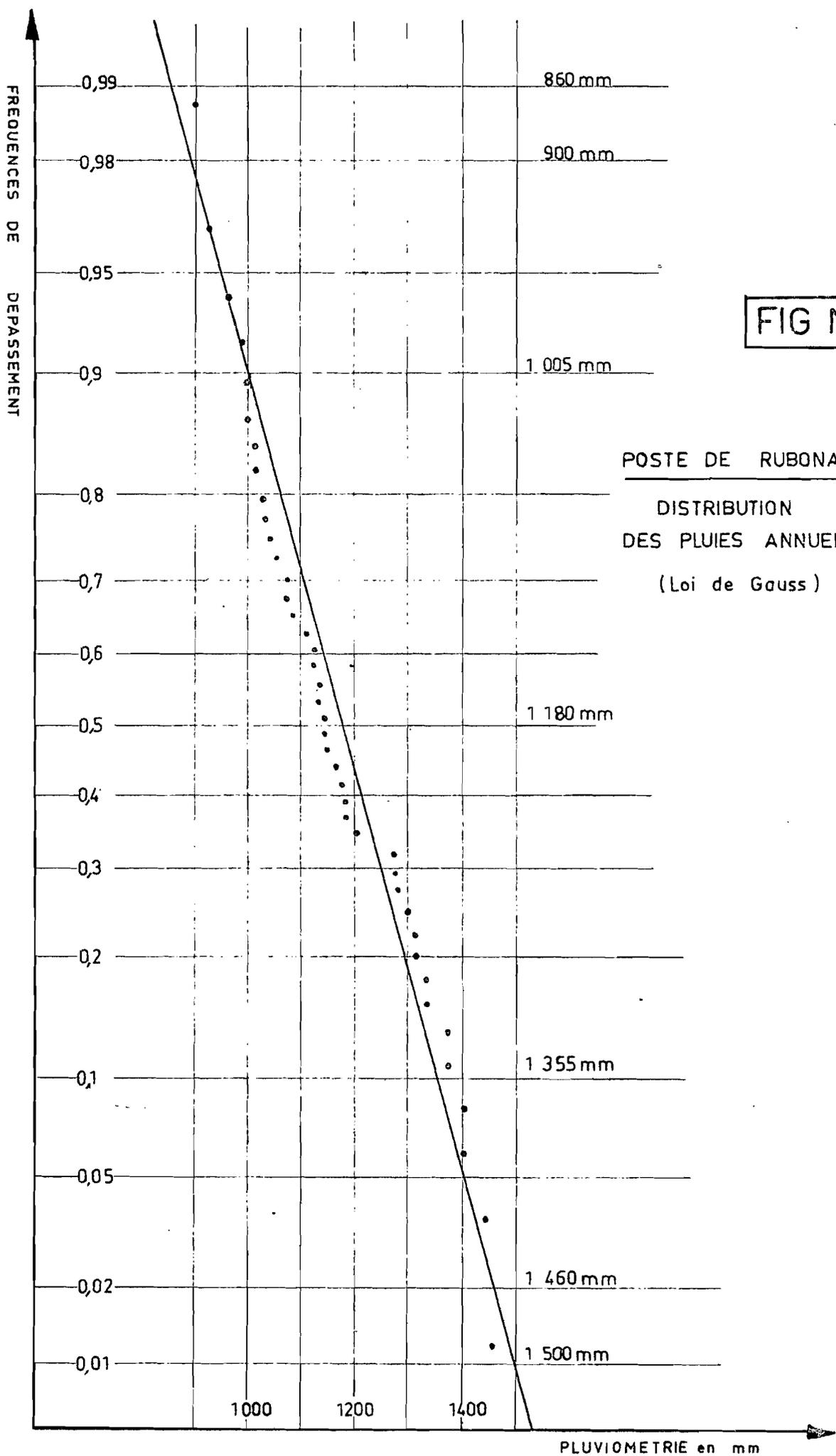


FIG N°5

POSTE DE RUBONA
 DISTRIBUTION
 DES PLUIES ANNUELLES
 (Loi de Gauss)

FIG. N° 6

DEDUCTION des PLUVIOMETRIES
de FREQUENCE rare sur le
BASSIN à partir de celles de
RUBONA

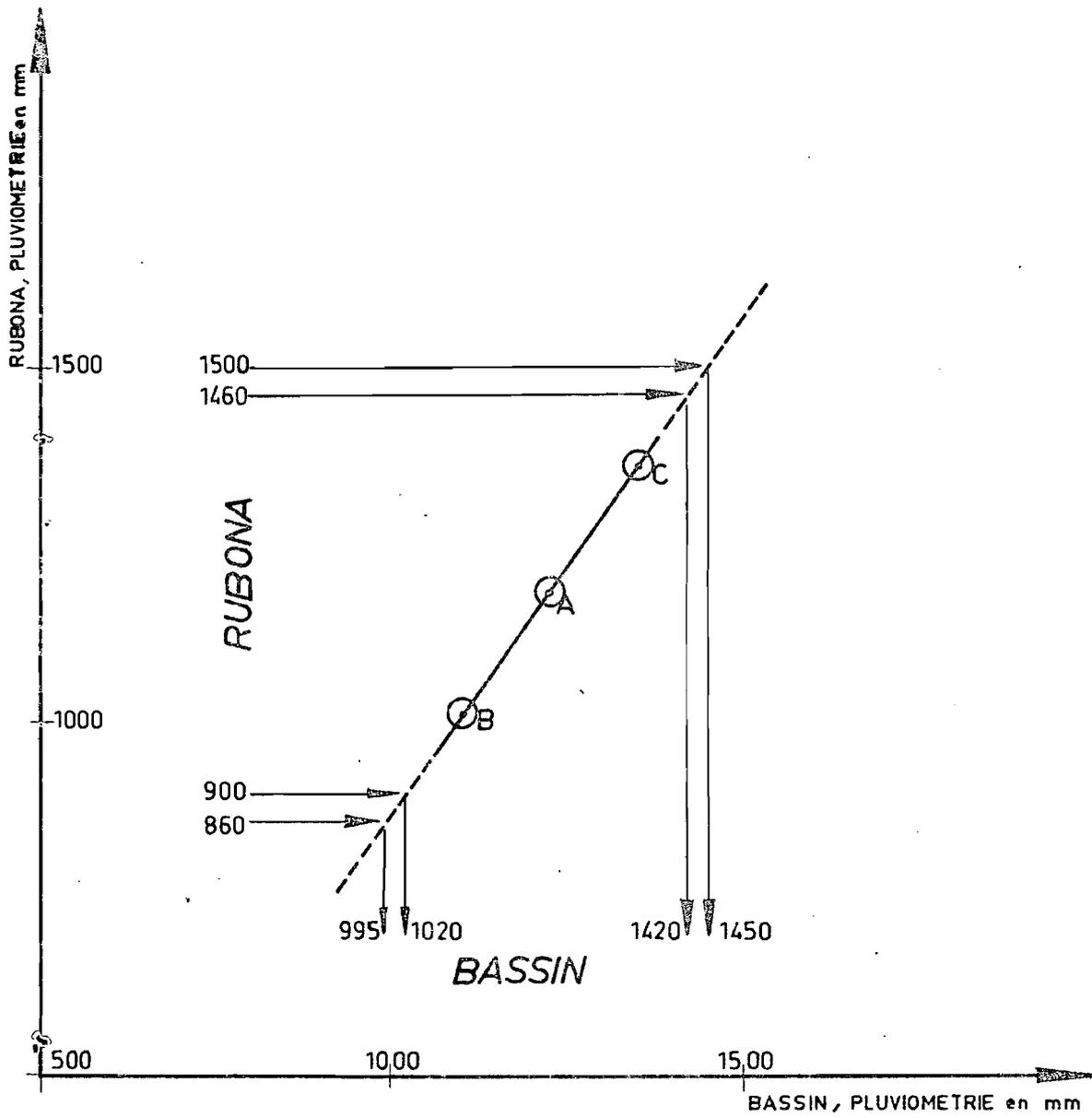
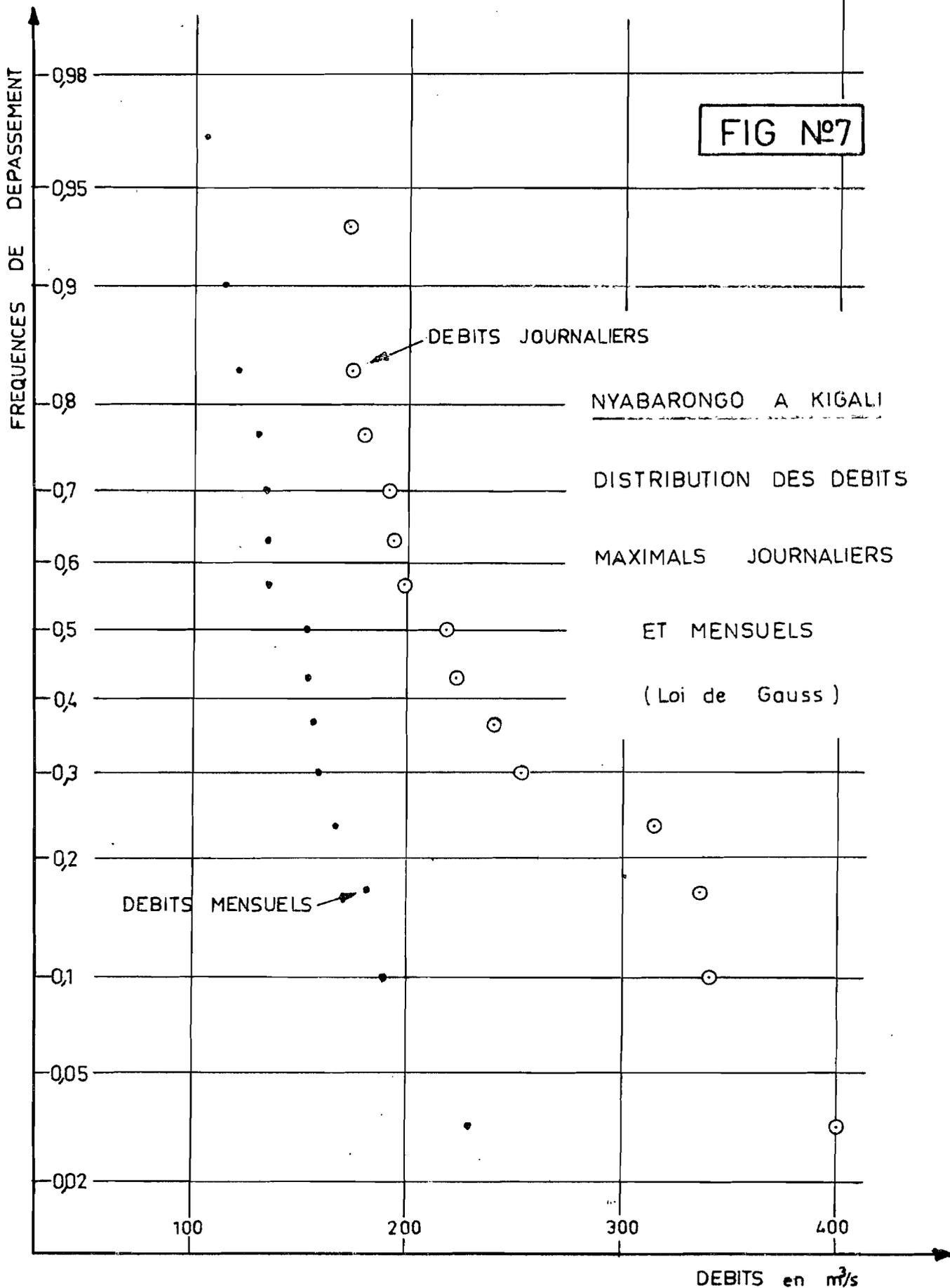


FIG N°7



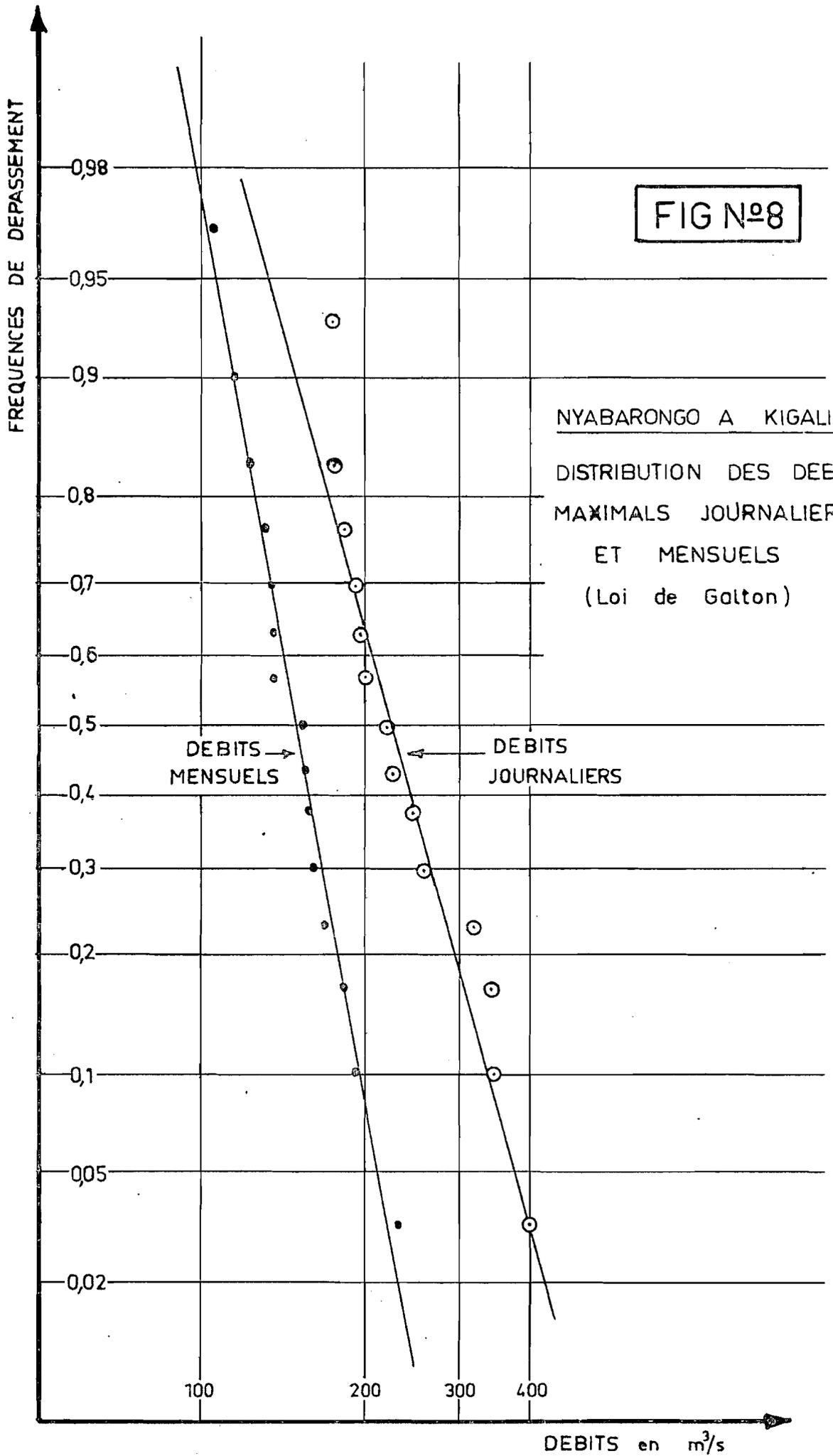
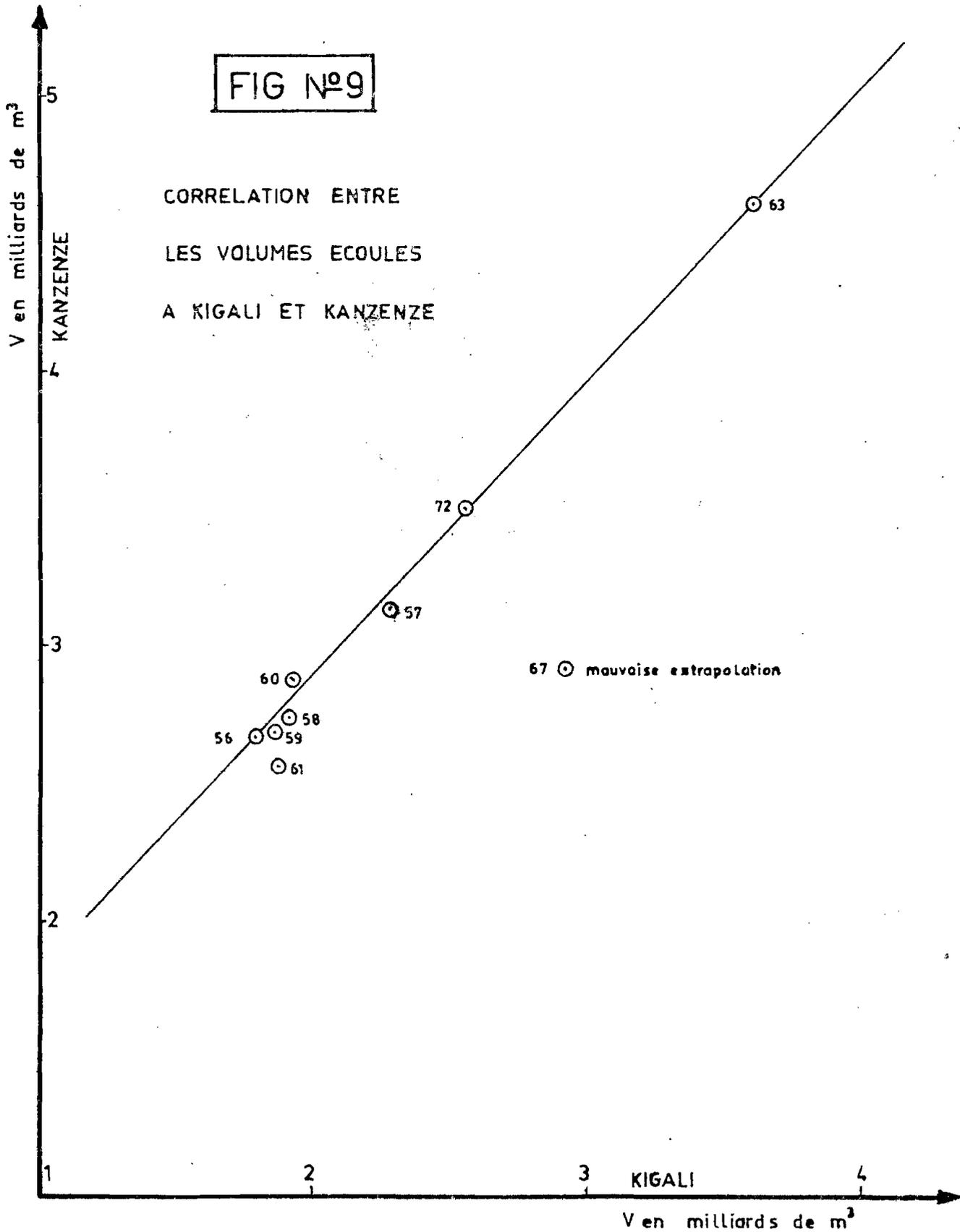


FIG N°9

CORRELATION ENTRE
LES VOLUMES ECOULES
A KIGALI ET KANZENZE



67 ○ mauvaise extrapolation

