

**Office de la Recherche Scientifique
et Technique Outre-Mer**



**MISSION D'ÉTUDES ET D'AMÉNAGEMENT
DU NIGER**



MONOGRAPHIE DU NIGER



C - LE NIGER MOYEN

- II -

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS D'OBSERVATIONS ÉLÉMENTS CARACTÉRISTIQUES DU RÉGIME

P. DUBREUIL
Maître de Recherches
à l'O.R.S.T.O.M.

par

R. LEFÈVRE
Ingénieur Hydrologue
à l'O.R.S.T.O.M.

M. ROCHE
Ingénieur à ÉLECTRICITÉ de FRANCE

SEPTEMBRE 1962

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE
OUTRE-MER

MISSION d'ETUDES
et d'AMENAGEMENT du NIGER

MONOGRAPHIE du NIGER

C - Le NIGER MOYEN

- II -

Interprétation des résultats d'observations

Eléments caractéristiques du régime

par

P. DUBREUIL
Maître de Recherches
à l'ORSTOM

R. LEFEVRE
Ingénieur Hydrologue
à l'ORSTOM

M. ROCHE

Ingénieur à ELECTRICITE de FRANCE

S O M M A I R E

4ème Partie

ELEMENTS CARACTERISTIQUES du REGIME - INTERPRETATION des RESULTATS

	Page
<u>CHAPITRE I</u> - Poppel du régime à DIRE	3
<u>CHAPITRE II</u> - Correspondance entre les hauteurs aux différentes stations du bief moyen	8
<u>CHAPITRE III</u> - Régime du bief DIRE-NIAMEY	11
A - Etude des étiages	12
B - Etude des crues	17
C - Débits moyens mensuels et débits caractéristiques	20
D - Etude des modules	32
<u>CHAPITRE IV</u> - Régime des affluents rive droite nigériens et voltaïques	40
1 - Le GOROUOL à ALCONGUI	41
2 - Le DARGOL à KAKASSI	43
3 - La SIRBA à GARBE-KOUROU	45
4 - Les affluents voltaïques et le régime du NIGER Moyen	47
<u>CHAPITRE V</u> - Régime des affluents dahoméens	
1 - Régime de l'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA	51
2 - Régime de la SOTA à COUBERI	57
3 - Comparaison entre l'ALIBORI et la SOTA	60

	Page
<u>CHAPITRE VI</u> - Régime du NIGER à MALANVILLE	
1 - Etude des étiages	64
2 - Etude des crues	66
3 - Débits moyens mensuels et débits caractéristiques	70
4 - Etude des modules	70
<u>CHAPITRE VII</u> - Essai de bilan annuel du NIGER moyen	75
- Résumé des caractéristiques hydrologiques aux différentes stations	80

4ème PARTIE

INTERPRETATION des RESULTATS ELEMENTS CARACTERISTIQUES du REGIME

Les trois premières parties de la monographie du NIGER Moyen contiennent les principaux aspects géographiques et climatiques de la vallée du fleuve, entre DIRE et MALANVILLE, et des quelques affluents qui, en plus des apports issus de la cuvette lacustre, contribuent à son alimentation. Y sont également exposés, les résultats d'observations et de jaugeages obtenus aux différentes stations.

Ces différentes données ont permis de mettre au point les tableaux de débits journaliers qui figurent en annexe (volume III). Il reste à en tirer les caractéristiques hydrologiques propres au fleuve lui-même et à ses affluents. Pour que ces caractéristiques soient le plus possible représentatives du régime, on s'est efforcé d'étendre les périodes d'observations aux stations les plus courtes en utilisant des corrélations, suivant les méthodes usuelles.

Après un bref rappel des caractéristiques hydrologiques du NIGER à la station de DIRE, nous examinerons successivement les correspondances entre les relevés des différentes stations du bief moyen, le régime du bief DIRE-NIAHEY, celui des affluents nigériens et voltaïques, des affluents dahoméens et enfin le régime du NIGER à MALANVILLE, régime complexe dans lequel les apports dahoméens jouent un rôle important.

Dans un dernier chapitre, nous tenterons d'établir un bilan hydrologique du NIGER Moyen, de DIRE jusqu'à MALANVILLE. Enfin, nous grouperons dans une série de fiches les principales caractéristiques propres à chaque station.

Il serait possible, bien entendu, de poursuivre plus loin l'interprétation, mais nous avons cherché surtout, dans le présent ouvrage, à dégager les caractéristiques hydrologiques essentielles pour les applications, ce qui nous a d'ailleurs entraîné, en général, à démontrer le mécanisme de l'écoulement.

Les données brutes qui ont été présentées dans le Tome III permettent des travaux ultérieurs. D'ailleurs, il ne serait peut-être pas raisonnable actuellement de pousser davantage ces études. L'équipe qui a mis au point cet ouvrage aura consacré 5 années à ce travail et il est grand temps que d'autres grands fleuves africains fassent l'objet de monographie analogue à celle du NIGER.

CHAPITRE I

RAPPEL du REGIME à DIRE

On a pu voir, dans la monographie de la Cuvette Lacustre (Tome II, page 90), que la station de DIRE marque sensiblement la fin de cette cuvette, bien que les pertes du NIGER à l'aval ne soient pas négligeables, surtout en année forte.

L'hydrogramme annuel affecte une allure très régulière traduisant en fait le remplissage et la vidange de l'énorme capacité de la cuvette. Au même phénomène sont liées les fortes variations relatives de la pente de la ligne d'eau au cours du cycle annuel. D'autre part, les pointes de crue sont brêtées par les déversements le long des rives, ce qui a pour effet de limiter les débits de crue : l'influence de ce même phénomène sur les modules est moins sensible, par suite d'une restitution partielle, lors de la décrue, des volumes ainsi emmagasinés.

Les étiages, par ailleurs difficiles à mesurer à cause des très faibles vitesses, sont irréguliers et imprévisibles : la décrue est assez rapide et le débit minimal à la station dépend beaucoup de la date d'arrivée de la crue amont. Les deux facteurs principaux réglant le régime des étiages sont donc : la précocité de la décrue et celle de la crue suivante, phénomènes tous deux aléatoires dont la combinaison permet de larges variations dans les valeurs de l'étiage absolu, on fait de 160 m³/s au moins pour le maximum possible, à une dizaine pour le minimum, bien que l'on ne puisse pas mesurer les débits inférieurs à 57 m³/s.

Les crues, pour les raisons que nous avons déjà évoquées plus haut, sont très aplaties et l'aplatissement est d'autant plus prononcé que la crue est plus forte : c'est le phénomène que nous avons appelé "écrasement des crues". Il se traduit par une distribution statistique très

particulière : la courbe des fréquences cumulées au dépassement, rapportée en coordonnées arithmétique pour les débits et gaussienne pour les fréquences, présente une concavité tournée vers l'axe des fréquences, alors que dans le cas général elle est plutôt tournée vers l'axe des débits.

L'analyse de l'éventualité des crues à DIRE, c'est-à-dire de la date à laquelle se présente le maximum annuel, montre que ce dernier est, en moyenne, d'autant plus tardif, que la crue est plus importante. Les dates vont de la première décade de Décembre pour les crues très faibles (circonstance qui se présente assez rarement) à la seconde décade de Janvier pour les années particulièrement abondantes. Le plus souvent, le passage a lieu entre le 10 et le 31 Décembre.

L'étude statistique des crues est délicate, à cause de la forme même de la distribution. On a songé à la mener à partir de la corrélation qui existe entre les cotes maximales atteintes à DIRE et les modules. Du fait de forme très régulière de l'hydrogramme annuel, cette corrélation est en effet assez serrée. On a pu ainsi tracer une courbe de régression, la dispersion des points restant très acceptable. Cette courbe, pour laquelle on a porté en abscisses les modules et en ordonnées les cotes maximales correspondantes, présente une concavité très nette tournée vers l'axe des modules.

La distribution statistique des modules peut être considérée comme normale, ainsi que l'a montrée l'application du test du χ^2 , avec une valeur moyenne de $1185 \text{ m}^3/\text{s}$ et un écart-type de $243 \text{ m}^3/\text{s}$. La combinaison de ces deux éléments : courbe de correspondance modules - hauteurs maximales et courbe de répartition statistique des modules, permet d'estimer les débits maximaux de fréquence rare. On a admis :

- Crue d'ordre décennal : $2640 \text{ m}^3/\text{s}$
- Crue d'ordre centenaire : $2800 \text{ m}^3/\text{s}$

On voit que les débits maximaux croissent lentement à partir de la crue décennale.

Pour un fleuve présentant une telle régularité dans son hydrogramme annuel, les débits moyens mensuels donnent, à eux seuls, une idée excellente du régime. Ils sont donnés année par année sur le tableau 1, ainsi que les modules et les volumes écoulés, ces derniers étant exprimés en milliards de m³.

Le classement et l'étude statistique de ces débits mensuels montre que leur dispersion est beaucoup plus élevée à la décrue qu'à la crue : respectivement 1600 m³/s et 600 m³/s pour une fourchette de probabilité de 90%.

Parmi les autres caractéristiques hydrologiques intéressantes du NIGER à DIRE, nous rappellerons la loi de décrue linéaire au cours de la période comprise entre le 20ème et le 100ème jour suivant le maximum : taux de décrue très stable avec une valeur moyenne de 19 m³/s par jour. Notons que cette décrue, qui traduit la vidange de la cuvette lacustre, n'est pas un tarissement au sens donné habituellement à ce terme.

On a déjà donné, à propos de l'étude statistique des crues, les paramètres caractérisant les modules considérés comme des variables normales :

Module moyen : 1185 m³/s

Ecart-type : 243 m³/s

Ces deux valeurs suffisent à déterminer l'irrégularité interannuelle, par le coefficient de variation :

$$C_v = \frac{243}{1185} = 0,205$$

Il est d'usage de définir également cette irrégularité par le rapport K_3 des débits extrêmes : module décennal dans le sens de l'abondance divisé par le module décennal dans le sens de la sécheresse. On trouve ici :

$$K_3 = 1,71$$

Enfin, la prise en compte des observations à KOULIKORO par l'intermédiaire des corrélations entre DIRE, MOPTI, TILÉMBÉYA et KOULIKORO, permet d'estimer à 1120 m³/s le module moyen à DIRE, pour la période 1907-1957, alors que l'estimation sur 34 années d'observation directe donnait 1185 m³/s.

TABLEAU N° 1

Le NIGER à DIRE

Débits moyens mensuels

 m^3/s

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume
														109m ³
1924-25	255	1038	1891	2096	2397	2534	2486	2135	1505	819	293	118	1448	45,6
1925-26	379	1021	1678	2076	2309	2557	2658	2335	1744	1048	425	147	1527	48,2
1926-27	470	1113	1634	1945	2185	2245	1755	1182	634	208	78	73	1127	35,5
1927-28	273	912	1540	1949	2242	2483	2535	2149	1567	877	314	152	1414	44,7
1928-29	302	864	1588	2022	2328	2599	2523	2161	1538	853	321	161	1435	45,2
1929-30	590	1322	1835	2144	2393	2621	2614	2213	1574	890	333	155	1554	49,0
1930-31	541	1053	1596	1957	2201	2401	2263	1756	1149	572	193	214	1323	41,7
1931-32	522	1039	1568	1933	2177	2272	1948	1370	805	314	106	98	1180	37,3
1932-33	328	880	1463	1855	2154	2345	2271	1744	1138	567	179	77	1248	39,3
1933-34	377	1063	1594	1939	2223	2362	2130	1583	1002	439	114	30	1239	39,0
1934-35	90	584	1291	1761	2044	2168	1767	1211	668	211	73	50	990	31,3
1935-36	106	679	1410	1864	2144	2292	2010	1421	802	281	70	178	1105	34,9
1936-37	428	975	1586	1962	2218	2403	2284	1772	1167	552	164	64	1297	40,9
1937-38	121	595	1268	1726	1994	2137	1690	1104	560	175	57	50	956	30,2
1938-39	115	555	1284	1805	2120	2305	2065	1464	868	326	80	56	1085	34,2
1939-40	145	561	1226	1720	2003	2180	2012	1404	833	302	85	40	1042	33,0
1940-41	116	570	1176	1624	1870	1958	1457	912	421	113	50	40	860	27,1
1941-42	175	736	1312	1712	1973	2040	1499	910	367	80	50	50	909	28,7
1942-43	135	654	1309	1693	1898	1739	1140	619	197	56	35	35	794	25,0
1943-44	103	649	1277	1748	2025	2001	(1510)	(1050)	(530)	(170)	(50)	(40)	929	29,4
1944-45	58	368	1102	1605	1867	1829	1184	624	185	50	30	20	744	23,5
1945-46	52	503	1375	1812	2074	2209	1926	1273	644	153	50	50	1009	31,8

N.B. Les chiffres entre () sont des estimations.

TABLEAU 1 (suite)
Le NIGER à DIRE
Débits moyens mensuels

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume
														10 ⁹ m ³
1946-47	188	802	1450	1856	2119	2281	2118	1541	910	295	64	40	1137	35,9
1947-48	97	655	1277	1676	1940	1996	1357	745	236	58	40	30	843	26,7
1948-49	269	992	1540	1877	2104	2158	(1550)	(1100)	(550)	(170)	(55)	(50)	1035	32,6
1949-50	58	535	1326	1783	2141	2043	1487	1096	686	207	85	56	950	30,0
1950-51	74	718	1494	1950	2188	2370	2222	1684	1018	372	87	129	1190	37,5
1951-52	423	971	1588	1946	2211	2430	2534	2279	1717	1002	351	36	1460	46,2
1952-53	177	921	1688	2070	2284	2474	2431	1981	1360	684	167	79	1356	42,8
1953-54	571	1338	1767	2114	2366	2551	2455	1985	1359	696	238	159	1466	46,2
1954-55	593	1236	1769	2102	2363	2570	2582	2242	1677	980	431	195	1559	49,2
1955-56	640	1319	1796	2138	2391	2589	2550	2106	1442	799	276	39	1510	47,7
1956-57	186	786	1433	1870	2136	2276	1931	1384	781	252	66	50	1095	34,5
1957-58	293	1032	1684	2034	2285	2519	2560	2240	1610	850	340	200	1467	46,2

N.B. Les chiffres entre () sont des estimations.

C H A P I T R E I I

CORRESPONDANCE entre les HAUTEURS aux DIFFERENTES STATIONS du BIEF MOYEN

Nous rappelons que 6 échelles principales sont installées sur le NIGER Moyen, entre TOSSAYE et MALANVILLE, soit, en allant d'amont en aval :

- TOSSAYE	observée depuis 1952 - étalonnée
- GAO	observée depuis 1948
- ANSONGO	observée en 1933-35 et depuis 1949 - étalonnée
- NIAMEY	observée depuis 1928 - étalonnée
- SAY	observée depuis 1953
- MALANVILLE	observée depuis 1952 - étalonnée

Il était intéressant d'établir des relations entre les hauteurs d'eau relevées à ces différentes stations, ne serait-ce que pour compléter les séries d'observations déficientes. C'est ainsi qu'à TOSSAYE, de Juillet 1948 à Mai 1954, les hauteurs ont été déduites des relevés effectués à GAO ; il en est de même en Juin et du 1er au 21 Juillet 1955, du 28 Juin au 14 Juillet 1956, et par la suite, pour toutes les cotes à TOSSAYE inférieures à 1 m. A la même station, les hauteurs du 20 Mai au 30 Juin 1957 ont été reconstituées à partir d'ANSONGO.

A la station d'ANSONGO, les relevés sont tirés de ceux de GAO pour les périodes suivantes :

Août 1948 à Juin 1951
Septembre 1952
Juillet 1958
Avril à Juillet 1959

Le graphique 1 montre l'allure de la correspondance entre TOSSAYE et GAO. Les cotes à GAO ont été prises 5 jours après celles de TOSSAYE pour obtenir un ajustement satisfaisant, ce qui revient à dire que la crue met sensi-

blement 5 jours pour se propager de TOSSAYE à GAO. Au-dessous de la cote 3 m à GAO, la correspondance en crue (courbe C du graphique) est distincte de la correspondance en décrue (courbe D).

Entre GAO et ANSONGO, on a adopté également un décalage de 5 jours (graphique 2). Crue et décrue donnent lieu également à des courbes distinctes.

Le graphique 3 montre que la correspondance des hauteurs, établie directement, entre TOSSAYE et ANSONGO, est très acceptable. Le décalage est de 10 jours, ce qui découle normalement des temps de propagation adoptés pour les deux biefs précédents. Les courbes de crues et de décrue sont distinctes au-dessous de la hauteur 2,65 m à ANSONGO.

Entre NIAMEY et ANSONGO (graphique 4) la loi de correspondance est biunivoque, sans distinction entre crue et décrue, avec toutefois une dispersion des points un peu plus forte que pour les biefs précédents, dispersion qui reste néanmoins parfaitement admissible. Le décalage est de 4 jours.

De NIAMEY à SAY, le décalage est de l'ordre de la journée et la correspondance est également univoque, comme on peut le voir sur le graphique 5.

Bien que l'estimation de la durée de propagation par ce moyen ne soit pas précise, ces résultats permettent de se faire une idée sur la vitesse moyenne de propagation de la crue.

	TOSSAYE		GAO		ANSONGO		NIAMEY		SAY
Distances	110	:	102	:	350	:	62	:	
Durée de propagation (jours)	5	:	5	:	4	:	1	:	
Vitesse de propagation (km/j)	22	:	20	:	87	:	62	:	

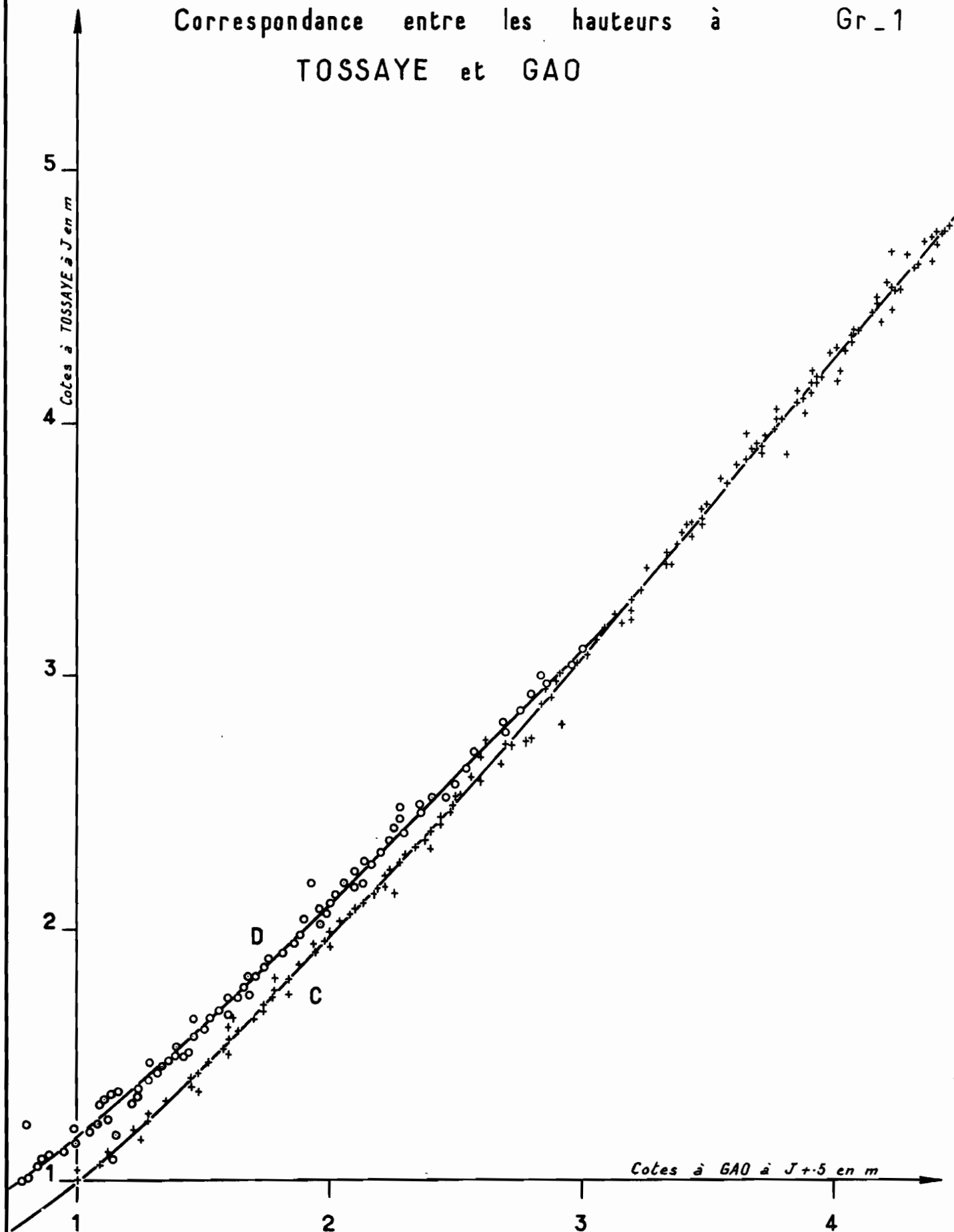
Le tableau précédent montre que la vitesse de propagation est beaucoup plus forte à l'aval d'ANSONGO qu'à l'amont. (1) Une étude plus détaillée de la propagation de

- (1) Cette différence correspond à un fort accroissement de la pente qui dans le bief TOSSAYE-ANSONGO est de 4 cm/km environ et dans le bief ANSONGO-SAY de 15 cm/km environ (valeurs moyennes)

la crue demanderait la mise en oeuvre des stations intermédiaires, telles que TILLABERY, et l'étude de l'influence de la hauteur sur le temps de propagation. D'autre part, des observations plus soignées et plus fréquentes tout le long du fleuve permettraient d'évaluer avec plus de précision le temps réel de propagation dans chaque tranche de hauteurs à une station repère : il est probable qu'on obtiendrait alors une dispersion moins importante dans la correspondance.

Correspondance entre les hauteurs à TOSSAYE et GAO

Gr_1



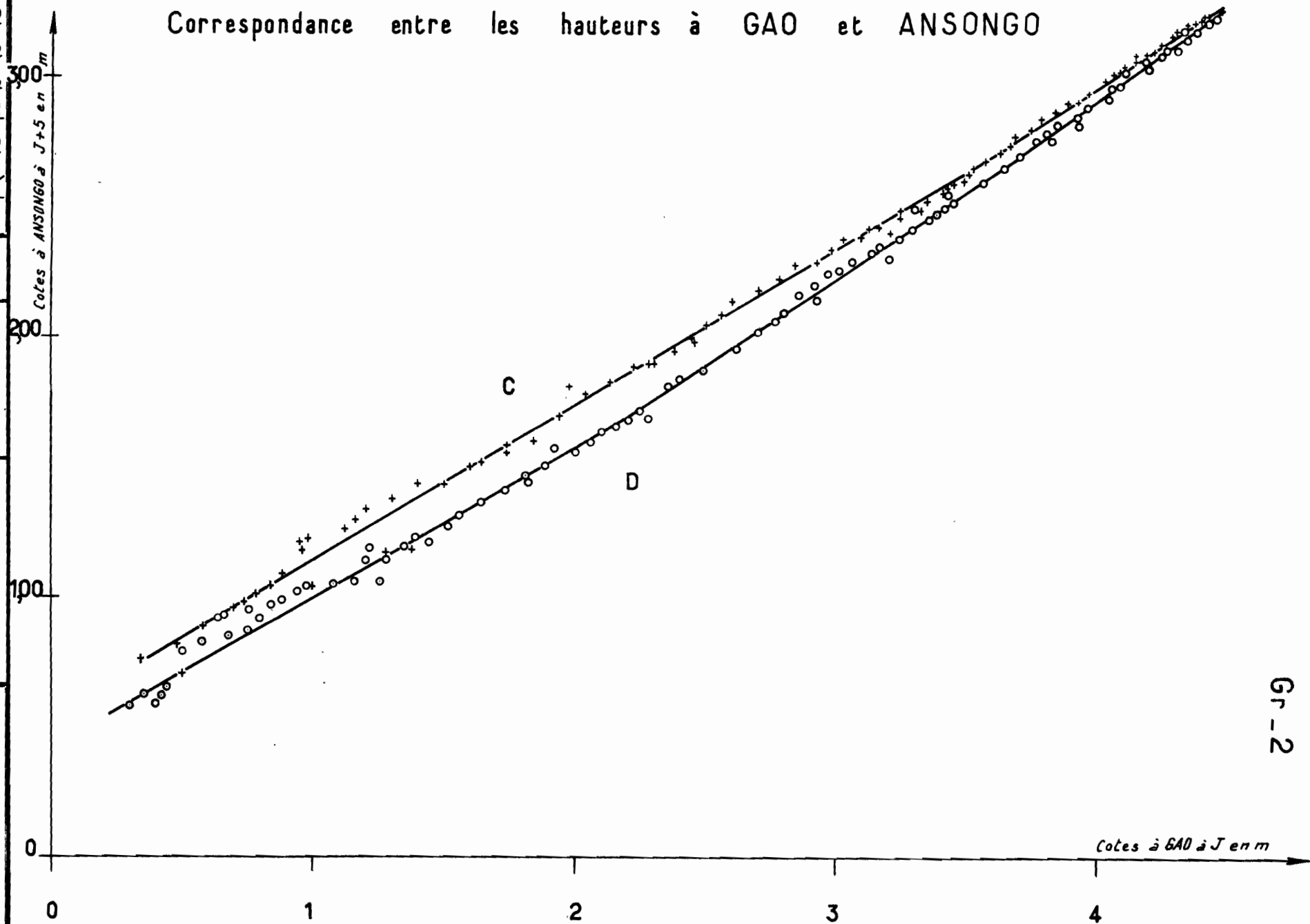
ORSTOM

Ao

DATE: 1-62

DESSINÉ: J. Mélaye

Correspondance entre les hauteurs à GAO et ANSONGO



Gr-2

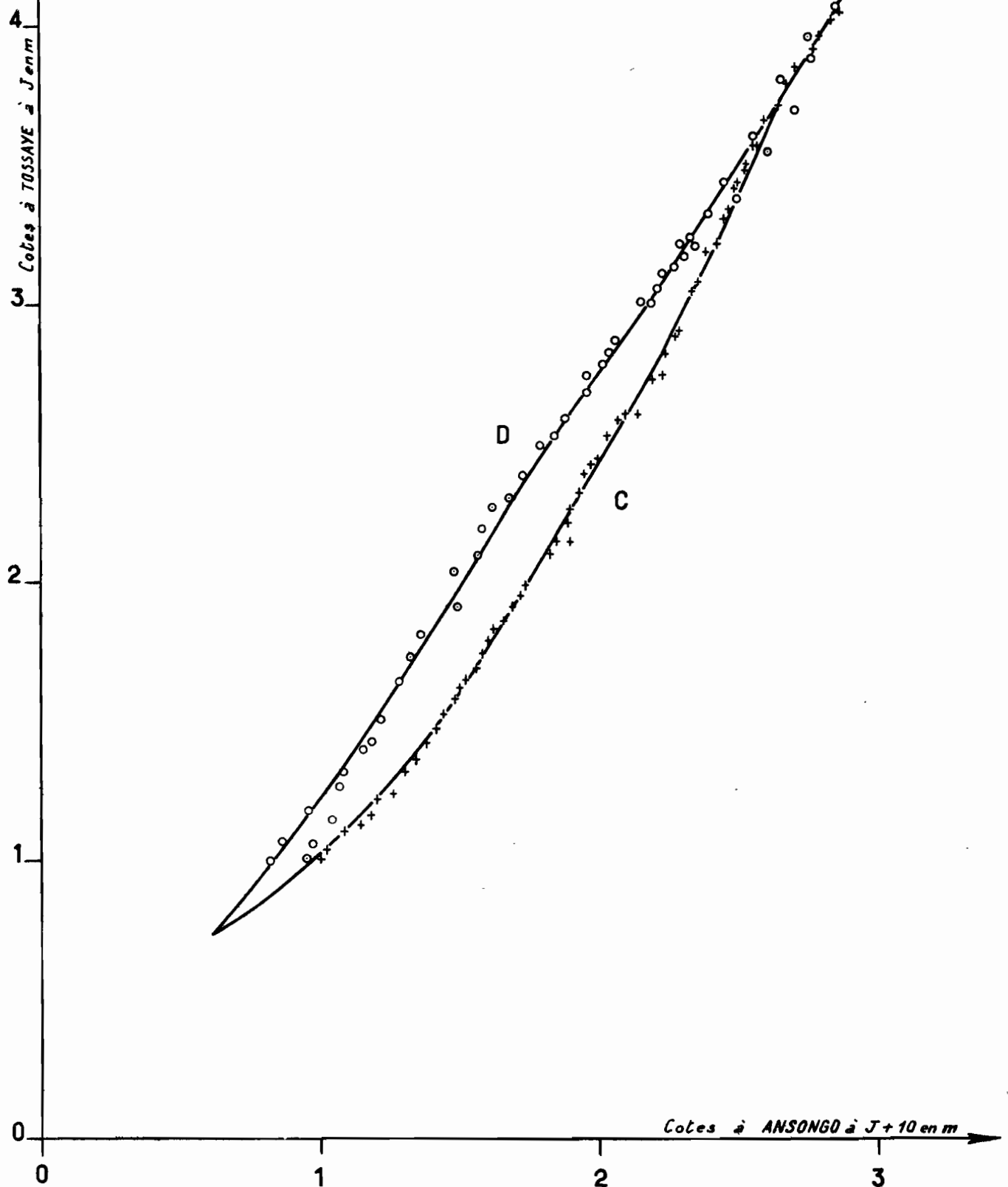
CRISTOM

Ao

DATE: 1-62

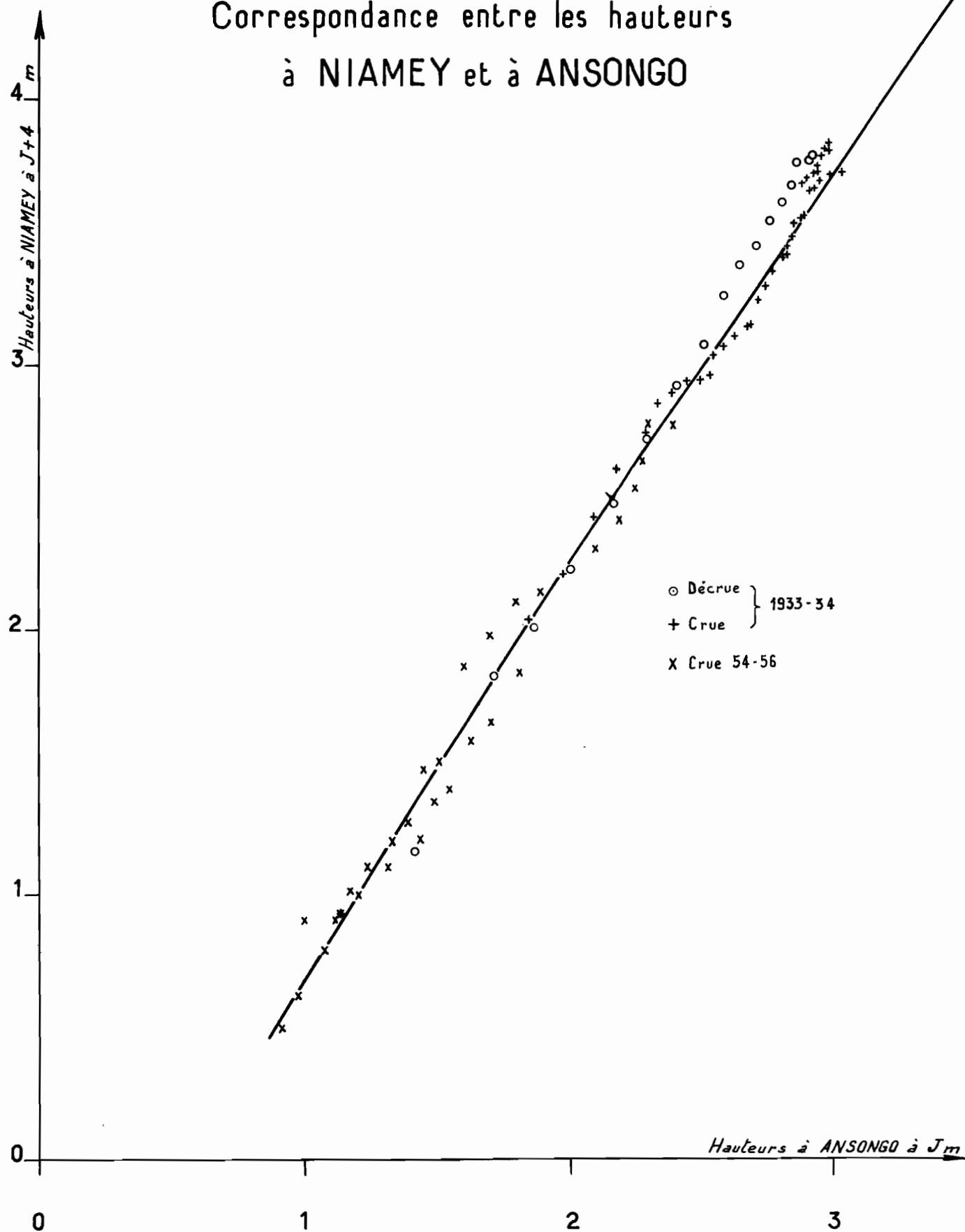
DESSINÉ: J. Mécayer

Correspondance entre les hauteurs à TOSSAYE et ANSONGO

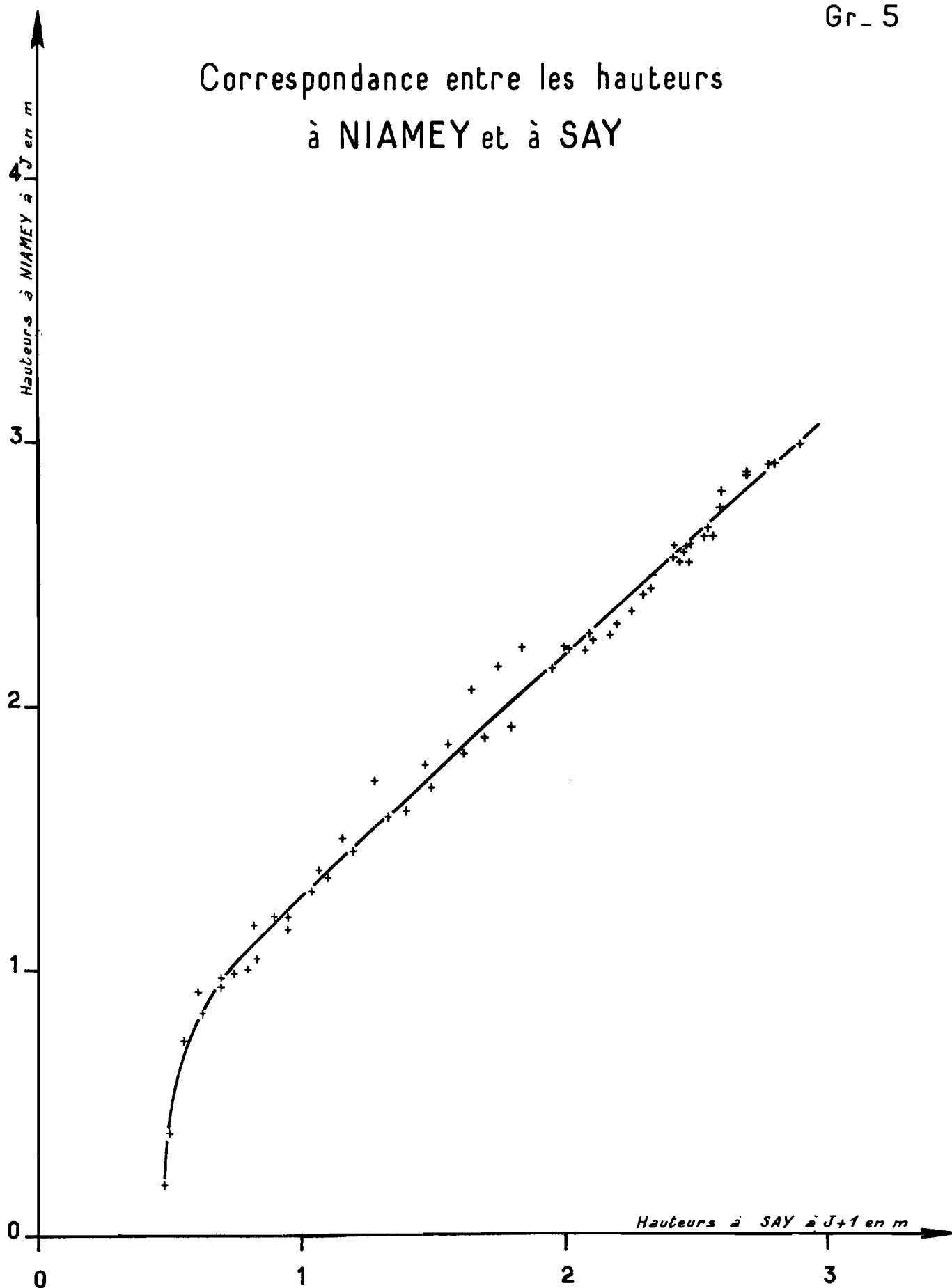


Gr. 4

Correspondance entre les hauteurs à NIAMEY et à ANSONGO



Correspondance entre les hauteurs
à NIAMEY et à SAY



C H A P I T R E I I I

REGIME du BIEF DIRE - NIAMEY

De DIRE à FIRGOUN (voir carte 26 du Tome 1 bis, page 86) le NIGER ne reçoit aucun apport notable et l'évolution du régime le long du fleuve se ramène à l'histoire des eaux transitées depuis DIRE, histoire dont on saisit quelques passages grâce aux fenêtres ouvertes sur le NIGER au droit des stations hydrométriques.

Entre FIRGOUN et NIAMEY, les apports des affluents voltaïques, que nous étudierons dans un chapitre ultérieur, viennent perturber quelque peu le déroulement des opérations. Leur influence se traduit surtout par un renforcement des débits à NIAMEY en Septembre et Octobre. Elle peut également se faire sentir lors d'un étiage particulièrement sévère du NIGER en Juin et Juillet : il arrive que l'on enregistre alors à NIAMEY de petites pointes de crues provenant de ces affluents voltaïques.

Sur le NIGER lui-même, le régime de ce bief est connu grâce aux stations de TOSSAYE, ANSONGO et NIAMEY. Les débits journaliers, traduits d'après les observations de hauteurs d'eau directes ou reconstitués à partir d'autres stations purement limnimétriques, ainsi que nous l'avons indiqué au chapitre précédent, figurent dans le tome III de la Monographie du NIGER Moyen.

A - ETUDE des ETIAGES

Comme pour DIRE, la décroissance des débits est due à la vidange de la cuvette lacustre plutôt qu'à un véritable tarissement, surtout aux stations de TOSSAYE et d'ANSONGO. Il est cependant commode de traduire cette décroissance par une loi analytique, de préférence exponentielle, par analogie avec les lois de tarissement.

Pour TOSSAYE, le report des débits de décrues sur un diagramme semi-logarithmique (débits en ordonnée logarithmique, temps en abscisse arithmétique) montre que l'on peut aisément trouver une courbe de décrue moyenne pour les débits inférieurs à 500 m³/s, courbe qui peut être considérée comme une droite dans le système de coordonnées choisi. Le coefficient de décrue que nous appellerons α , par analogie avec le coefficient de tarissement, est égal en moyenne à 0,036 :

$$Q = Q_0 e^{-0,036 (t - t_0)}$$
, Q_0 étant le débit au temps t_0 et Q le débit au temps t exprimé en jours.

Il en est de même pour ANSONGO : l'analyse du faisceau des courbes de décrue donne $\alpha = 0,040$.

Ces valeurs sont très voisines et nettement plus élevées que celles que l'on obtiendrait pour de véritables coefficients de tarissement. Rappelons que les coefficients relatifs au tarissement du NIGER supérieur et de ses affluents, à l'amont de la cuvette lacustre, sont de l'ordre de 0,02.

Pour NIAMEY, le problème est plus complexe. On dégage, de l'analyse du faisceau, deux familles de courbes correspondant, l'une aux années de basses eaux abondantes et l'autre aux années faibles ou moyennes. La première famille présente de nombreuses irrégularités et on peut estimer le coefficient moyen de décrue à 0,033. La seconde famille est constituée, jusqu'à un débit que l'on peut situer entre 50 et 60 m³/s, par des droites bien parallèles en coordonnées semi-logarithmiques, comportant très peu d'irrégularités : le coefficient de décrue correspondant est de 0,040. Au-dessous de 50 m³/s, on constate l'existence d'un nouveau faisceau de droites parallèles, de pente moyenne beaucoup plus faible puisque le coefficient correspondant n'est que de 0,017. On serait tenté de penser que cette dernière valeur correspond à un tarissement vrai, mais rien n'est moins sûr.

L'étude des étiages sur le bief moyen du NIGER est rendue difficile par l'imprécision des mesures due essentiellement aux faibles vitesses du courant durant cette période de l'année hydrologique. D'autre part, les observations de basses eaux ont souvent été négligées, comme c'est le cas pour beaucoup de grands fleuves africains. A la station d'ANSONGO, en particulier, on ne connaît l'étiage absolu que lors de deux années au cours de la période d'observations. A DIRE, en tête du bief moyen, les débits d'étiage absolu ne sont pas connus avec précision pour les années faibles et même moyennes. Les résultats sont rassemblés dans le tableau 2.

Le graphique 6 montre la correspondance qui existe entre les étiages absolus à DIRE et à TOSSAYE, d'une part, ceux de DIRE et de NIAMEY, d'autre part. La correspondance entre les étiages de TOSSAYE et ceux de NIAMEY est indiquée sur le graphique 7. La position des points d'observations suggère une correspondance linéaire.

C'est à la station de NIAMEY que l'on possède la plus longue série d'observations valables. Les débits d'étiage absolu sont classés par valeurs croissantes sur le tableau 3 (échantillon de 26 valeurs) avec, en regard de chaque débit, sa fréquence de non dépassement, calculée par :

$$\frac{n}{N + 1}$$

n étant le numéro de classement et N le nombre total de valeurs dans l'échantillon. Le report de ces valeurs en coordonnées gaussio-logarithmiques (graphique 8) montre que l'on peut ajuster approximativement une droite de GIBRAT en diminuant chaque débit d'étiage absolu q de 11 m³/s. On trouve que la variable réduite $z = 1,5 \log (q-11) - 2,15$ suit une loi normale et :

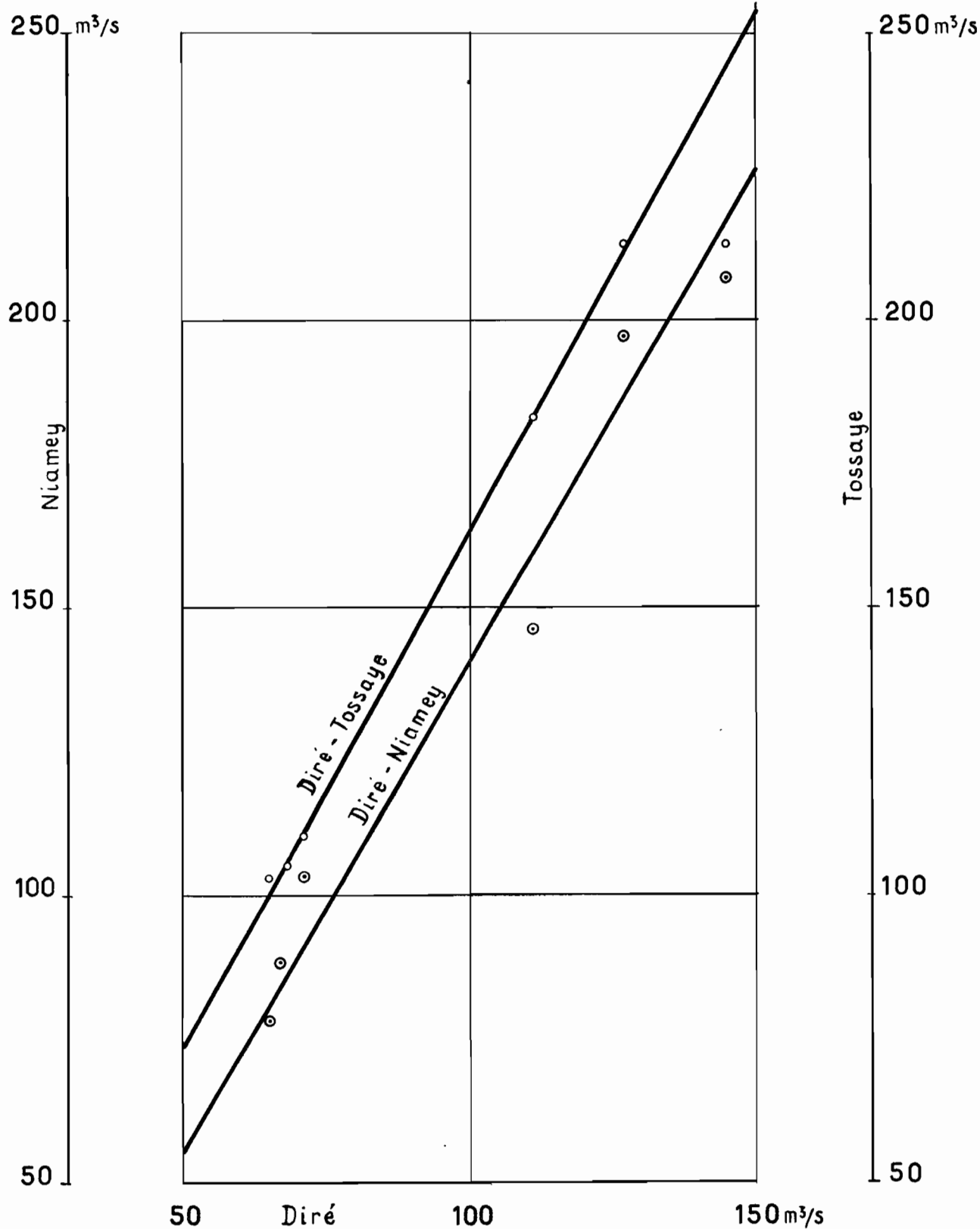
$$F(q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-1/2 z^2} dz$$

Ces deux relations définissent la loi de répartition statistique des étiages absolus du NIGER à NIAMEY.

TABLEAU 2
ETIAGES ABSOLUS (m³/s)

	DIRE	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
1924-25	99			
1925-26	105			
1926-27	< 54			
1927-28	117			
1928-29	121			204
1929-30	< 122			305
1930-31	123			242
1931-32	74			< 185
1932-33	59			
1933-34	< 50			68
1934-35	< 50			49
1935-36	< 57			74
1936-37	< 59			
1937-38	< 50			
1938-39	< 56			
1939-40	< 40			
1940-41	< 40			22
1941-42	< 50			29
1942-43	< 35			18
1943-44	< 35			13
1944-45	< 20			16
1945-46	< 50			26
1946-47	< 40			18
1947-48	< 19			14
1948-49	< 50	< 88		23
1949-50	< 56	< 60		14
1950-51	< 59	60		38
1951-52	65	103		78
1952-53	71	110		103
1953-54	111	183		146
1954-55	143	213	141	207
1955-56	68	105		88
1956-57	< 50	74		44
1957-58	127	213	190	197
1958-59	< 57	68		45
1959-60		< 60		32

Corrélation des étiages absolus DIRÉ-TOSSAYE et DIRÉ-NIAMEY



Corrélation des étiages absolus
entre TOSSAYE et NIAMEY

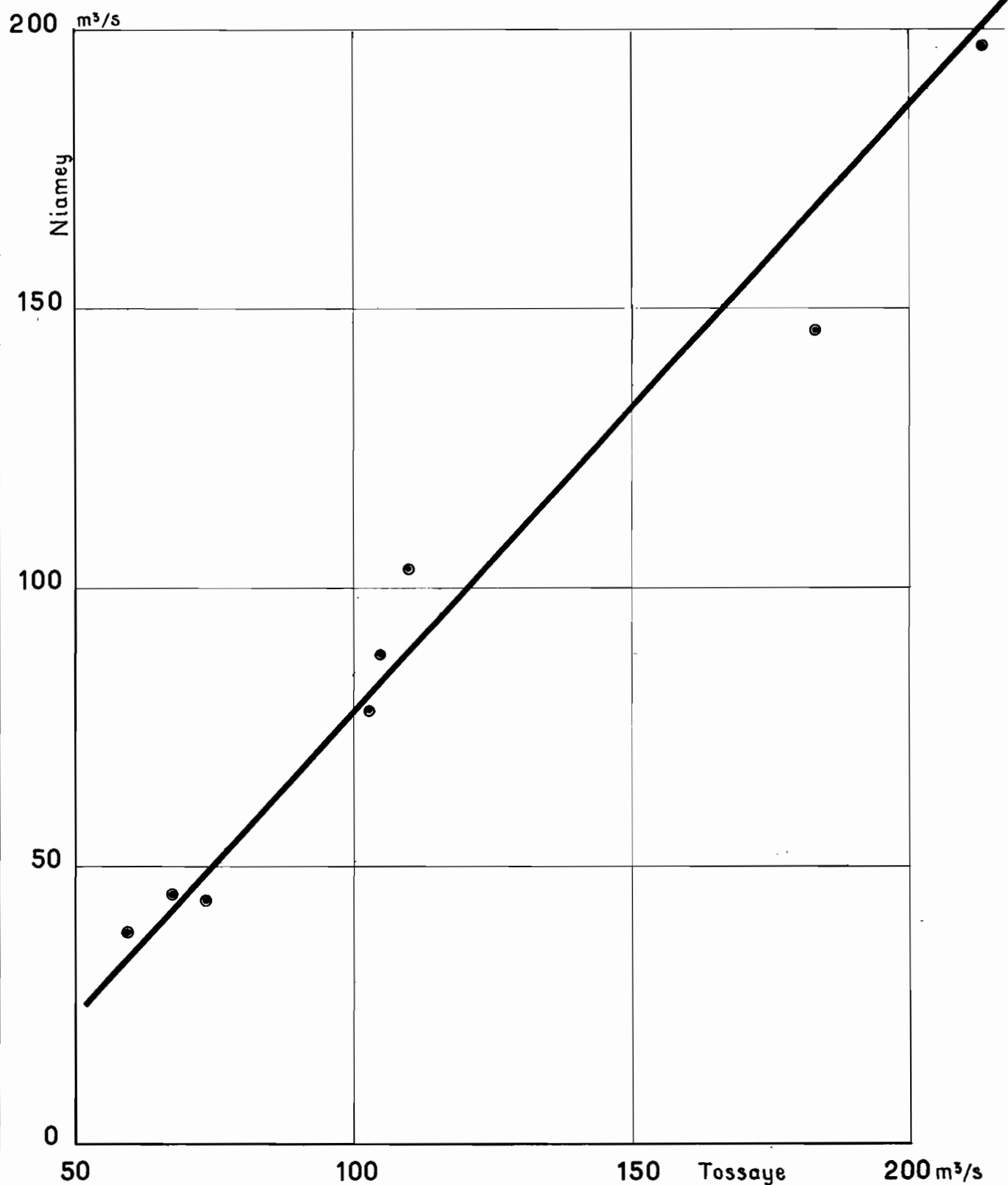


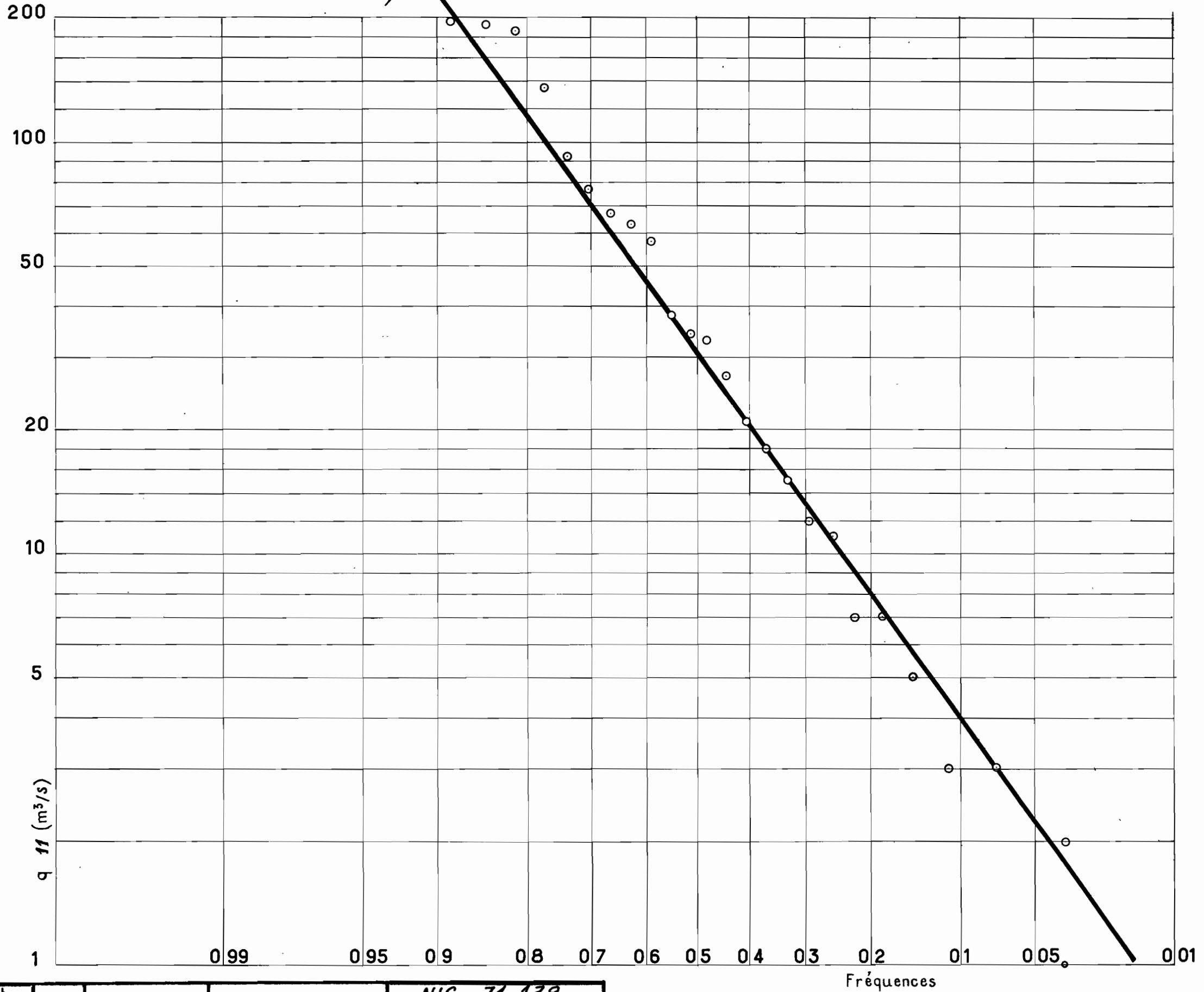
TABLEAU 3
NIGER à NIALEY
ETIAGES ABSOLUS CLASSES

N° d'ordre	Débits	Fréquences	N° d'ordre	Débits	Fréquences
1	13	0,037	14	45	0,518
2	14	0,074	15	49	0,555
3	14	0,111	16	68	0,592
4	16	0,148	17	74	0,629
5	18	0,185	18	78	0,666
6	18	0,222	19	88	0,703
7	22	0,259	20	103	0,740
8	23	0,296	21	146	0,777
9	26	0,333	22	197	0,814
10	29	0,370	23	204	0,851
11	32	0,407	24	207	0,888
12	38	0,444	25	242	0,925
13	44	0,481	26	305	0,962

Répartition statistique des étiages absolus à NIAMEY

(AJUSTEMENT A UNE LOI DE GIBRAT-GAUSS)

Gr.8



On notera que les étiages sont toujours un peu plus faibles à NIAHEY qu'à TOSSAYE, malgré d'éventuels apports provenant des affluents voltaïques. Ce phénomène est normal : il traduit les pertes par évaporation et peut-être par infiltration entre les deux stations. Par contre, les étiages sont beaucoup plus forts à TOSSAYE qu'à DIRE ; ceci montre que, dans le bief DIRE-TOSSAYE, les pertes par évaporation sont plus que compensées par les restitutions en aval de DIRE et par le laminage dans le lit même du fleuve dont l'influence sur les étiages est à l'inverse de celui des crues. Malgré l'imprécision qui règne sur l'estimation des faibles débits à DIRE, l'écart est tel qu'il doit être considéré comme significatif.

B - ETUDE des CRUES

Nous avons déjà parlé, à propos des correspondances entre les échelles du bief moyen, de la propagation de la crue. Les dates de passage du maximum sont données, dans le tableau 4, ainsi que les valeurs correspondantes des débits.

On a établi les corrélations entre les débits maximaux annuels aux différentes stations. Le graphique 9, relatif à la correspondance NIAMEY-DIRE, montre que l'on peut adopter une représentation linéaire. La dispersion n'excède pas $+ 75 \text{ m}^3/\text{s}$ dans 90 % des cas, ce qui permet d'utiliser cette corrélation pour compléter la liste des crues observées directement à NIAMEY (chiffres entre parenthèses du tableau 4). Notons que l'écart moyen est très inférieur à $75 \text{ m}^3/\text{s}$: de l'ordre de $30 \text{ m}^3/\text{s}$. On obtient par cette méthode un échantillon de 36 valeurs du débit maximal annuel à NIAMEY.

Pour la période d'observations communes entre DIRE, TOSSAYE et NIAMEY, on a dressé le graphique de correspondance porté sur la figure 10 : débits maximaux à DIRE et NIAMEY en regard de ceux de TOSSAYE.

On peut tirer également du tableau 4 la variation du débit maximal annuel : courbes du graphique 11. D'après ces courbes, le laminage est plus actif dans le bief TOSSAYE-ANSONGO que dans le bief DIRE-TOSSAYE. Entre ANSONGO et NIAMEY, au contraire, on observe généralement un relèvement du débit maximal, important surtout lorsque la crue est forte. En années de faible crue, le maximum de NIAMEY est sensiblement égal à celui d'ANSONGO. Il va de soi que ce dispositif est tout à fait anormal, compte tenu du fait qu'à cette époque les apports des affluents voltaïques sont nuls. On a pensé tout d'abord que cet affaîsissement des débits à ANSONGO, affaîsissement que l'on retrouvera dans l'étude des modules, était dû tout simplement à un étalonnage déficient de la station, lequel ne présente pas, effectivement, les mêmes garanties que ceux de TOSSAYE et de NIAMEY ; une erreur de 5% vers le maximum n'est pas absolument à exclure. Cependant, on peut difficilement admettre, sur la courbe de tarage, une erreur systématique de l'ordre de correction qu'il faudrait introduire pour que tout redevienne normal, soit 10%.

TABLEAU 4

CRUES du BIEF MOYEN

DEBITS MAXIMAUX en m³/s
et DATES d'ARRIVEE de ces DEBITS

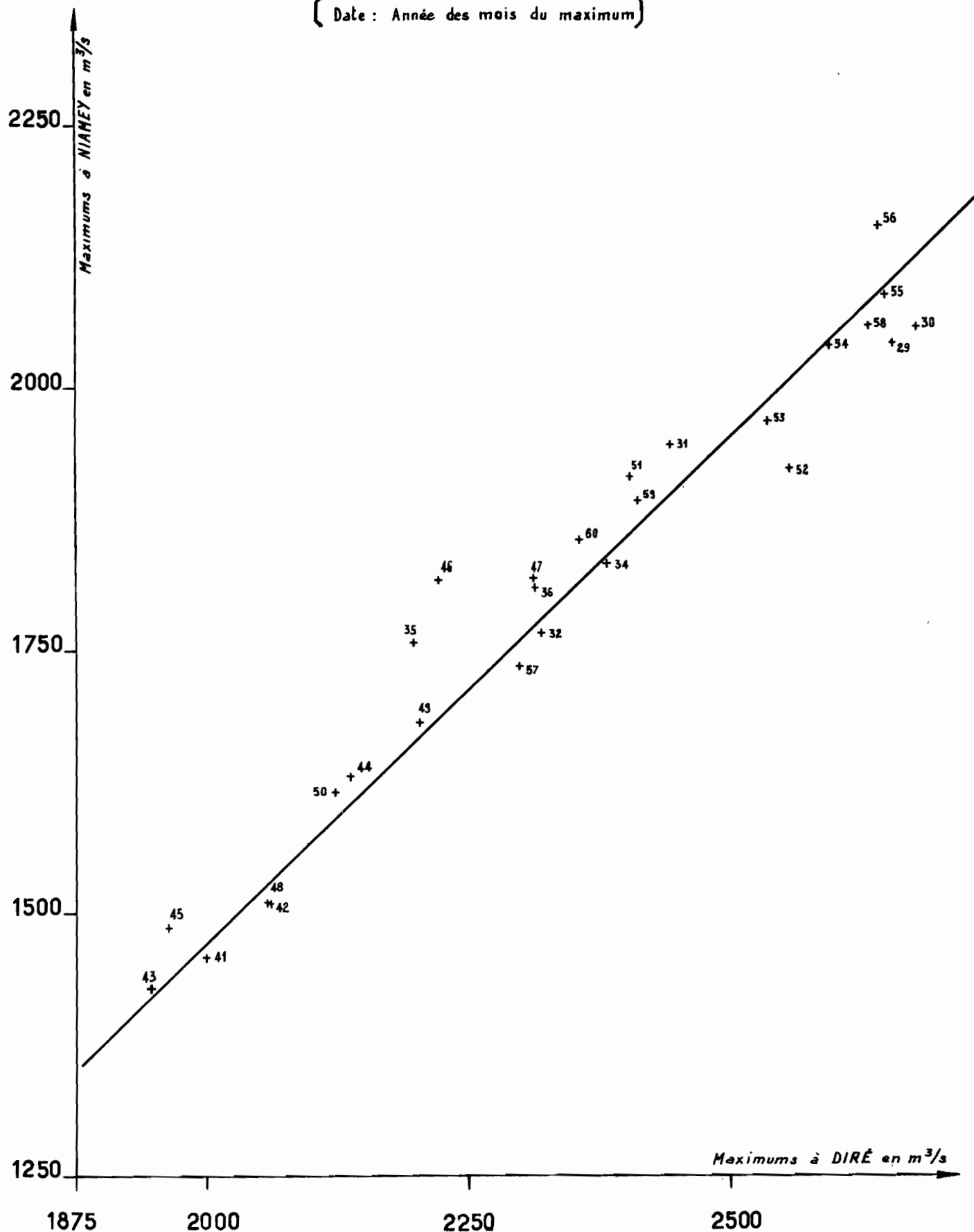
	DIRE	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
:1924-25:2625	30-31/12:			{2050}
:1925-26:2677	3-21/1 :			{2090}
:1926-27:2279	19/12:			{1750}
:1927-28:2565	29/12-2/1:			{2000}
:1928-29:2655	21-27/12:			:2040 25-27/2 :
:1929-30:2677	3-7/1 :			:2056 1/3 :
:1930-31:2447	18-22/12:			:1945 6-9/2 :
:1931-32:2321	12-14/12:			:1765 9-12/2 :
:1932-33:2384	29/12-13/1:			:(1840)
:1933-34:2384	15-22/12:	:1699	4/2	:1833 6-8/2 :
:1934-35:2199	20-26/12:	:1756	4/2	:1758 10-13/2 :
:1935-36:2314	23-28/12:			:1810 10-16/2 :
:1936-37:2440	25/12-4/1:			:(1880)
:1937-38:2157	14-26/12:			:(1620)
:1938-39:2335	23-31/12:			:(1790)
:1939-40:2217	26/12-5/1:			:(1680)
:1940-41:2001	17-21/12:			:1458 20-27/1 :
:1941-42:2061	4-23/12:			:1510 19/1 :
:1942-43:1947	26/12-10/1:			:1428 5/1 :
:1943-44:2139	6-15/12:			:1630 13-26/1 :
:1944-45:1965	6/12:			:1488 5-7/1 :
:1945-46:2223	20-28/12:			:1818 19-20/1 :
:1946-47:2314	23-27/12:			:1818 16/2 :
:1947-48:2061	10-14/12:			:1510 21-26/1 :
:1948-49:2205	10-22/12:	1964 10/1:	1710 20/1	:1683 15-17/1 :
:1949-50:2145	8-13/12:	1845 27/12-6/1:	1611 6-16/1	:1615 17-18/1 :
:1950-51:2405	25/12-1/1:	2156 22/1 -3/2:	1883 1-13/2	:1915 14/2 :
:1951-52:2557	14-23/1 :	2196 12-25/2 :	1883 17-22/2	:1923 27/2-1/3 :
:1952-53:2535	2-10/1 :	2220 22-28/1 :	1906 28-29/1	:1968 14/2-18/2 :
:1953-54:2595	26-28/12:	2252 24/1-5/2 :	1883 2-10/2	:2040 18/2 :
:1954-55:2647	5-8/1 :	2332 24/1-8/2 :	2035 9-12/2	:2088 22-23/2 :
:1955-56:2640	7-14/1 :	2305 16/1-8/2 :	1981 27/1-15/2	:2152 14-24/2 :
:1956-57:2300	19-28/12:	1971 19-22/1(1):	1733 20-31/1	:1735 1-2/2 :
:1957-58:2632	11-19/1 :	2204 2-6/2 :	1917 27/1-11/2	:2056 26-28/2 :
:1958-59:		:2092 2/2 :	1814 24-27/2(2):	:1893 17-20/2 :
:1959-60:		:2052 12-12/1 :	1802 18/1-4/2	:1855 28/1-3/2 :

(1) double pointe : 1950 m³/s du 30/12 au 4/1

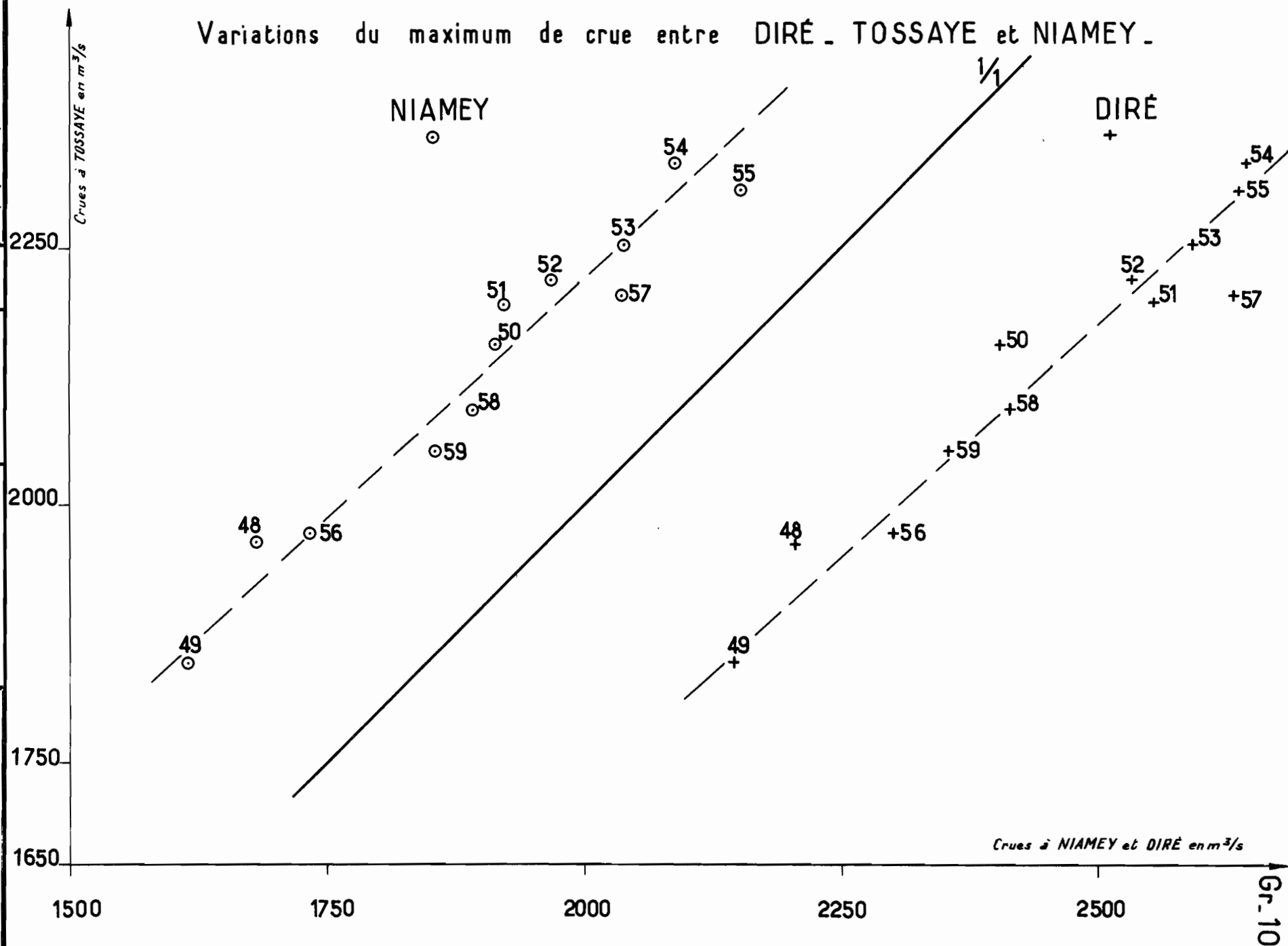
(2) triple pointe : 1791 m³/s du 8 au 16/1 - 1791 m³/s du 1 au 5/2

Correspondance entre les débits maximaux de NIAMEY et DIRÉ

(Date : Année des mois du maximum)



Variations du maximum de crue entre DIRÉ - TOSSAYE et NIAMEY.



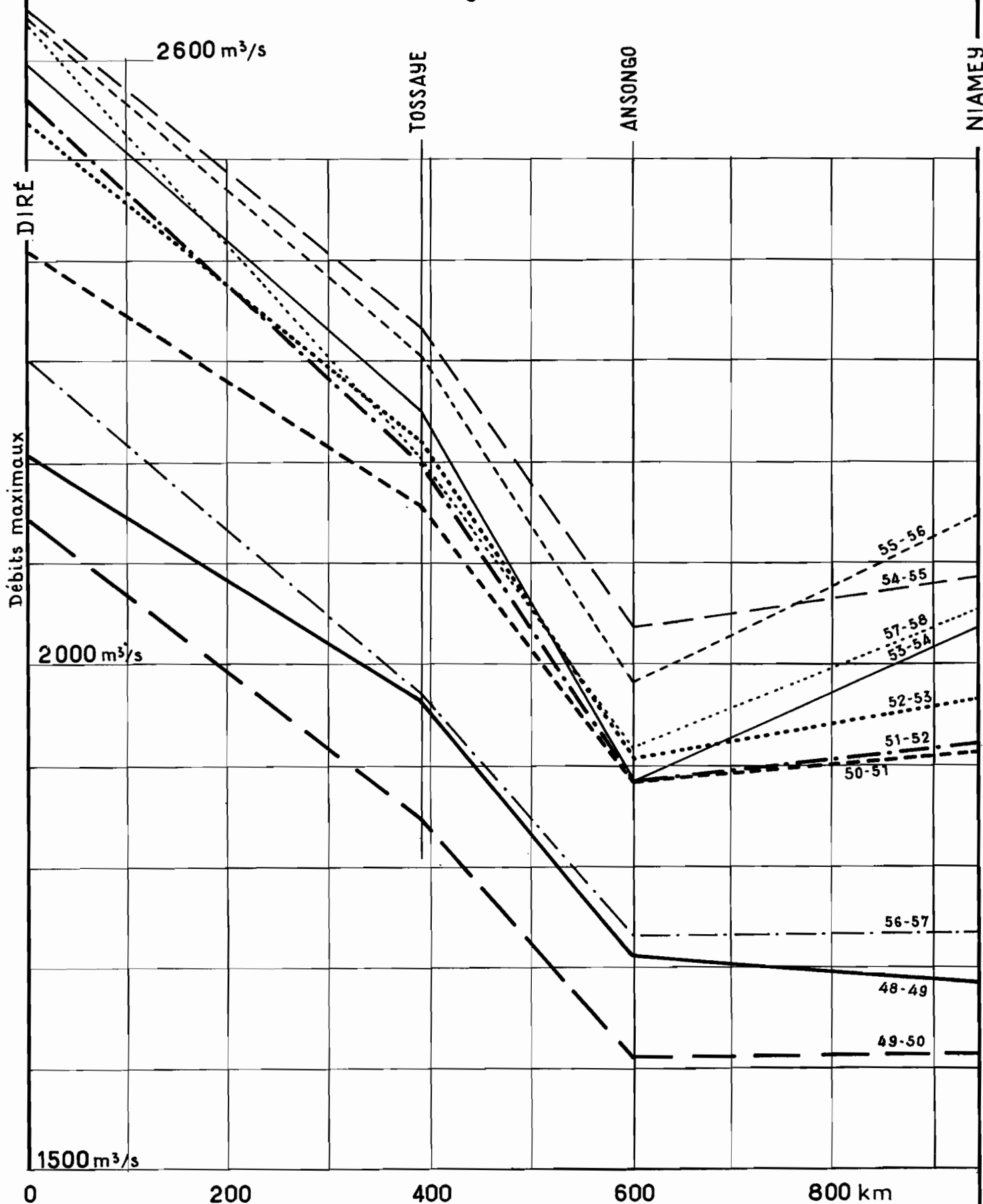
CRUS

AO

DATE: 2-62

DESSINÉ: J. Mélaye

Évolution du maximum le long du bief DIRÉ - NIAMEY Gr-11



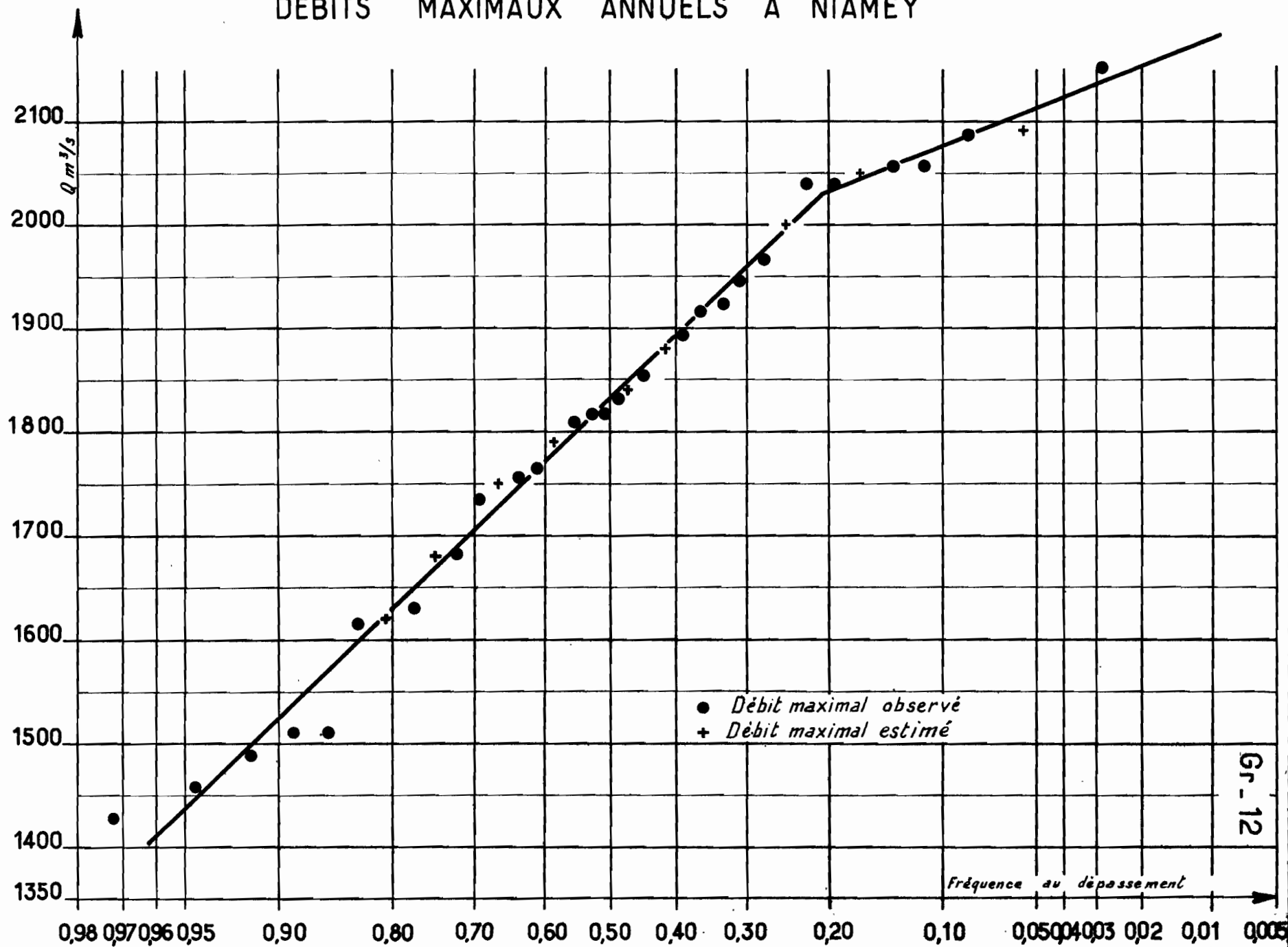
Il y a donc autre chose, peut-être un amortissement du maximum à ANSONGO dû à la forme du bief à l'amont de cette station et un redressement de l'hydrogramme de l'onde de crue à l'amont de NIAMEY : l'énergie nécessaire à ce redressement serait fournie par l'augmentation considérable de la pente dans le bief ANSONGO-NIAMEY. Le caractère tourmenté de l'écoulement hydraulique dans cette zone de rapides justifierait d'ailleurs des phénomènes plus complexes que cette simple explication. Ceci est en accord avec le fait que, sur les volumes de l'onde de crue à ANSONGO et à NIAMEY et sur les modules, on ne retrouve pas des écarts du même ordre.

L'étude de l'échantillon des 36 valeurs de crues observées ou reconstituées à la station de NIAMEY montre que la distribution statistique des maximums annuels présente des caractéristiques tout à fait analogues à celles de DIRE. Si l'on reporte les débits observés ou calculés en ordonnées arithmétiques en regard des fréquences de dépassement leur correspondant sur la liste des crues classées et portées en abscisses gaussiques, on constate que les points s'alignent jusqu'aux environs de la fréquence de dépassement quinquennale ; au-delà, on peut ajuster une seconde droite de pente beaucoup plus faible (graphique 12). Il s'agit du même phénomène d'écrasement des crues dans la zone lacustre observé à DIRE et fidèlement transmis jusqu'à NIAMEY. On peut estimer que les valeurs des crues exceptionnelles sont de l'ordre de :

- 2080 m³/s pour la crue décennale,
- 2200 m³/s pour la crue centenaire.

Rappelons qu'à DIRE on avait adopté comme valeurs de ces mêmes caractéristiques 2640 et 2800 m³/s respectivement. D'après la correspondance entre les maximums à NIAMEY et à TOSSAYE (graphique 10), on aurait, pour cette dernière station, 2300 m³/s pour la crue décennale et 2400 m³/s pour la crue centenaire.

DÉBITS MAXIMAUX ANNUELS A NIAMEY



Gr. 12

C R S T O M

Ao

DATE: 2-62

DESSINÉ: J. Mélayor

C - DEBITS MOYENS MENSUELS et DEBITS CARACTERISTIQUES

1 - NIGER à TOSSAYE

Nous avons vu qu'une partie des débits journaliers du NIGER à TOSSAYE sont reconstitués à partir des hauteurs observées aux stations de GAO et d'INSONGO au moyen des courbes de correspondance qui figurent sur les graphiques 1 et 3. Les débits moyens mensuels calculés à partir de ces données reconstituées figurent entre parenthèses sur le tableau 5.

Le tableau 6 donne les débits caractéristiques déterminés à partir des débits journaliers observés ou reconstitués.

TABLEAU 6

DEBITS CARACTERISTIQUES du NIGER à TOSSAYE

: Année :	: DCE :	: DC11 :	: DC9 :	: DC6 :	: DC3 :	: DC1 :	: DCC :
: 1948-49 :	:	:	: 385 :	: 1060 :	: 1690 :	: 1913 :	: 1956 :
: 1949-50 :	:	:	:	: 748 :	: 1542 :	: 1785 :	: 1845 :
: 1950-51 :	: (60) :	: (105) :	: 200 :	: 1320 :	: 1894 :	: 2125 :	: 2156 :
: 1951-52 :	: 113 :	: 125 :	: 666 :	: 1530 :	: 1964 :	: 2164 :	: 2196 :
: 1952-53 :	: 113 :	: 145 :	: 416 :	: 1494 :	: 1950 :	: 2185 :	: 2204 :
: 1953-54 :	: 185 :	: 230 :	: 657 :	: 1568 :	: 1964 :	: 2204 :	: 2252 :
: 1954-55 :	: 215 :	: 274 :	: 795 :	: 1600 :	: 2052 :	: 2302 :	: 2332 :
: 1955-56 :	: 110 :	: 143 :	: 704 :	: 1561 :	: 2006 :	: 2278 :	: 2305 :
: 1956-57 :	: 74 :	: 82 :	: 243 :	: 1122 :	: 1713 :	: 1929 :	: 1950 :
: 1957-58 :	: 225 :	: 265 :	: 576 :	: 1501 :	: 1943 :	: 2156 :	: 2194 :
: 1958-59 :	: 72 :	: 105 :	: 578 :	: 1411 :	: 1838 :	: 2044 :	: 2084 :
: 1959-60 :	: (60) :	: 72 :	: 230 :	: 1201 :	: 1775 :	: 1992 :	: 2027 :

Le DCE et le DC11, de même que dans les tableaux suivants, sont calculés sur les basses eaux suivant l'année hydrologique.

TABLEAU 5
NIGER à TOSSAYE
DEBITS MOYENS MENSUELS

Années	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Module
1948-49	(100)	(631)	(1185)	(1517)	(1744)	(1893)	(1915)	(1490)	(792)	(237)	(80)	(50)	(967)
1949-50	(50)	(265)	(945)	(1388)	(1640)	(1795)	(1756)	(1251)	(540)	(146)	(55)	(45)	(820)
1950-51	(45)	(374)	(1185)	(1577)	(1824)	(1984)	(2142)	(2044)	(1489)	(666)	(161)	(85)	(1126)
1951-52	(257)	(700)	(1232)	(1662)	(1780)	(1937)	(2095)	(2180)	(1975)	(1443)	(630)	(178)	(1337)
1952-53	(126)	(597)	(1322)	(1670)	(1856)	(2013)	(2187)	(2143)	(1733)	(1064)	(354)	(129)	(1261)
1953-54	(303)	(1020)	(1467)	(1716)	(1897)	(2072)	(2224)	(2160)	(1742)	(1085)	(406)	201	(1353)
1954-55	358	908	1410	1693	1904	2093	2290	2289	1944	1358	697	(267)	1429
1955-56	(361)	988	1445	1715	1922	2119	2283	2232	1757	1169	476	170	1384
1956-57	143	487	1067	1483	1720	1879	1945	1705	1148	457	148	(77)	1018
1957-58	170	651	1253	1567	1765	1955	2142	2169	1897	1308	546	236	1300
1958-59	412	919	1315	1581	1777	1941	2057	1993	1501	890	279	(90)	1226
1959-60	157	593	1214	1562	1779	1937	2020	1753	1150	425	(124)	(60)	1063
	207	678	1253	1594	1801	1968	2088	1951	1472	854	330	132	

Module moyen d'après la période : 1190 m³/s

Entre parenthèses : débits reconstitués d'après GAO ou ANSONGO

2 - NIGER à ANSONGO

Nous rappelons qu'un certain nombre de débits journaliers indiqués pour la station d'ANSONGO sont déduits des observations limnimétriques de GAO. Il s'agit de la période Août 1948 à Juin 1951, Septembre 1952, Juillet 1958 et Avril à Juillet 1959. Les débits moyens mensuels correspondants ont été mis entre parenthèse sur le tableau 7. Nous avons signalé que les basses eaux d'ANSONGO ne sont connues que pour les années d'étiage abondant. Les chiffres, mis également entre parenthèses, qui figurent dans les mois de basses eaux sont des évaluations très approximatives faites uniquement pour pouvoir calculer les modules annuels : pour ce but particulier, ils sont justifiés, mais on ne doit leur accorder qu'une confiance très limitée en tant que débits moyens mensuels.

Les débits caractéristiques, déterminés à partir des débits journaliers observés ou reconstitués d'après GAO figurent dans le tableau 8. Les DCE et les DC11 ne sont connus que pour les années les plus abondantes : comme pour TOSSAYE, ils ont été déterminés sur les débits de basses eaux suivant l'année hydrologique.

TABLEAU 7

NIGER à ANSONGO

DEBITS MOYENS MENSUELS

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
1933-34	(100)	(500)	991	1197	1401	1557	1650	1622	1391	808	(230)	(90)	957
1934-35	(90)	(258)	801	1188	1406	1562	1670	1697					
1948-49	(90)	(438)	(959)	(1249)	(1464)	(1612)	(1686)	(1494)	(909)	(255)	(30)	(50)	854
1949-50	(50)	(150)	(688)	(1137)	(1365)	(1527)	(1570)	(1316)	(636)	(140)	(55)	(45)	720
1950-51	(50)	(205)	(924)	(1286)	(1526)	(1688)	(1840)	(1845)	(1557)	(831)	(145)	(75)	992
1951-52	(195)	539	984	1257	1462	1621	1781	1872	1805	1450	734	(135)	1150
1952-53	(80)	(390)	(1038)	1360	1556	1711	1863	1880	1715	1197	337	(75)	1100
1953-54	(145)	760	1162	1381	1584	1736	1848	1853	1723	1200	424	(151)	1159
1954-55	(250)	724	1154	1383	1583	1777	1946	2009	1892	1520	735	242	1267
1955-56	242	775	1172	1418	1622	1787	1937	1959	1758	1311	510	(145)	1217
1956-57	(90)	345	830	1202	1431	1599	1715	1642	1309	489	(115)	(60)	898
1957-58	(85)	493	1057	1302	1503	1661	1839	1910	1788	1443	635	224	1156
1958-59	(316)	830	1159	1372	1563	1704	1779	1776	1642	(1034)	(301)	(75)	1125
1959-60	(110)	446	1021	1293	1457	1671	1777	1717	1344	546	(110)	(60)	960
	(135)	(490)	996	1288	1495	1658	1779	1757	1498	940	(348)	(110)	

Module moyen d'après la période : 1036 m³/s

Entre parenthèses : débits reconstitués d'après GAO ou évaluation sommaire des débits de basses eaux.

TABLEAU 8

DEBITS CARACTERISTIQUES du NIGER à ANSONGO

Année	DCE	DCL1	DC9	DC6	DC3	DCL	DCC
1933-34				1125	1512	1644	1677
1934-35						1677	1722
1948-49				953	1487	1662	1697
1949-50				641	1350	1545	1611
1950-51				1189	1666	1848	1883
1951-52			573	1307	1710	1860	1871
1952-53			368	1297	1710	1883	1894
1953-54		173	554	1329	1733	1860	1871
1954-55	153	211	738	1415	1837	1981	2021
1955-56			611	1378	1791	1953	1981
1956-57			194	1039	1534	1699	1733
1957-58	203	241	510	1340	1688	1906	1917
1958-59			535	1297	1688	1779	1791
1959-60			211	1157	1589	1768	1802

3 - NIGER à NIAMEY

A part les mois de Septembre à Décembre 1933, pour lesquels les relevés journaliers sont déduits de la corrélation des hauteurs ANSONGO-NIAMEY, les débits journaliers du NIGER à NIAMEY sont déduits d'observations directes à cette station. Sur le tableau 9 qui récapitule les débits moyens mensuels, les chiffres obtenus à partir d'ANSONGO ont été mis entre parenthèses, ainsi que ceux qui dérivent d'une interpolation ou d'une estimation indirecte.

On a tenté d'établir une corrélation entre les débits mensuels à NIAMEY et ceux de DIRE. Il apparaît que les courbes de régression, tracées de façon purement graphique, sont différentes suivant le mois envisagé, ce qui est tout à fait normal, ne fût-ce qu'à cause de la transmission de l'onde de crue.

En Juin (graphique 13) la corrélation est très lâche pour différentes raisons :

- Les débits d'étiages à ces deux stations, pour des motifs déjà indiqués, sont plutôt estimés que mesurés. Il est probable que les erreurs peuvent atteindre et même dépasser 25%.

- La transmission de l'onde d'étiage est assez anarchique.

- Le calage des divers zéros d'échelles, s'il est correct pour les hautes eaux, ne l'est pas toujours pour les étiages.

On s'est contenté, sur le graphique, de tracer les courbes enveloppes de la correspondance, d'après les points existants.

Bien que Juillet (graphique 14) soit, pour NIAMEY, le mois de l'étiage de préférence à Juin, la correspondance est meilleure que pour ce dernier mois. Peut-être faut-il voir dans cette circonstance une traduction du fait que les débits de basses eaux seraient mieux connus à NIAMEY qu'à DIRE. L'examen du graphique montre que, dans la majorité des cas, les débits sont plus soutenus à NIAMEY qu'à DIRE : influence du bassin moyen (DARGOL, SIRBA ...) dont les apports, en Juillet, ne sont pas négligeables. Si l'estimation des débits mensuels de NIAMEY à partir de ceux de DIRE, comporte un risque d'erreur acceptable en année forte (+ 13 %), pour les années faibles, l'erreur peut être considérable.

TABLEAU 9
NIGER à NIAMEY
DEBITS MOYENS MENSUELS

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module
1928-29							1754	1979	1942	1632	864	334	(1200)
1929-30	297	860	1190	1365	1523	1671	1835	2003	1927	1539	809	(360)	1277
1930-31	410	777	1192	1329	1501	1677	1861	1927	(1750)	1302	558	272	1209
1931-32	347	681	1057	1290	1492	1647	1719	1737	1490	795	316	(120)	1056
1933-34	(100)	(600)	(1029)	(1220)	(1410)	(1636)	1763	1802	1599	1026	416	145	(1058)
1934-35	99	279	879	1205	1363	1579	1725	1719	1308	584	210	71	914
1935-36	50	330	921	1266	1423	1600	1742	1788	1496	784	280	108	980
1936-37	(300)	751	1444	1336									
1940-41							(1440)	1305	885	437	99	33	
1941-42	31	340	726	980	1202	1403	1487	1353	814	278	77	30	723
1942-43	77	400	851	1039	1216	1387	1406	1225	626	156	45	21	701
1943-44	32	381	1128	1221	1272	1481	1610	1452	859	266	66	29	815
1944-45	18	128	586	947	1178	1383	1457	1158	520	146	42	28	630
1945-46	24	50	910	1276	1440	1625	1775	1657	1299	505	111	33	889
1946-47	48	459	1025	1208	1355	1540	1680	1788	1544	834	(210)	(70)	975
1947-48	29	249	803	1045	1201	1397	1491	1278	615	202	51	23	697
1948-49	18	491	957	1170	1359	1520	1657	1552	1000	361	97	36	848
1949-50	38	143	818	1105	1294	1471	1579	1399	819	272	74	31	749
1950-51	22	491	1303	1360	1504	1666	1835	1895	1699	961	274	75	1085
1951-52	185	582	966	1203	1393	1557	1756	1885	1885	1598	863	264	1176
1952-53	108	449	1395	1548	1571	1684	1863	1953	1830	1303	541	204	1199
1953-54	186	822	1345	1449	1574	1718	1941	2016	1855	1346	577	220	1249
1954-55	300	794	1162	1370	1555	1727	1944	2065	1977	1618	898	344	(1308)
1955-56	275	792	1235	1443	1624	1791	2003	2133	(1930)	1465	667	223	1296
1956-57	123	456	1063	1262	1396	1553	1692	1692	1399	650	197	78	960
1957-58	72	525	1005	1263	1485	1662	1879	2033	1966	1614	764	281	1206
1958-59	348	889	1511	1348	1463	1639	1797	1871	1722	1159	421	106	1185
1959-60	78	544	1247	1290	1452	1654	1796	1815	1435	636	161	48	1010
	139	510	1067	1251	1410	1587	1722	1721	1414	869	359	133	1015

Module moyen d'après la période : 1 015 m³/s

Entre parenthèses : débits moyens interpolés ou estimés.

Correspondance NIAMEY DIRÉ

JUIN

CRISTOY

A0

DATE: 1-62

DESSINÉ: J. Mélaye

Débits moyens mensuels
de JUIN à NIAMEY en m³/s

300

200

100

0

O 30

+ 29

+ 55

31 +

+ 58

+ 52

+ 54

+ 56

+ 53

+ Débits moyens observés.

O L'un des débits moyens est estimé.

+ 34

O 32

+ 59

+ 51

O 47

+ 57

+ 35

O 60

O 49

O 41

O 42

O 43

O 44

O 45

O 46

O 48

O 49

O 50

O 51

O 52

O 53

O 54

O 55

O 56

O 57

O 58

O 59

O 60

O 61

O 62

O 63

O 64

O 65

O 66

O 67

O 68

O 69

O 70

O 71

O 72

O 73

O 74

O 75

O 76

O 77

O 78

O 79

O 80

O 81

O 82

O 83

O 84

O 85

O 86

O 87

O 88

O 89

O 90

O 91

O 92

O 93

O 94

O 95

O 96

O 97

O 98

O 99

O 100

O 101

O 102

O 103

O 104

O 105

O 106

O 107

O 108

O 109

O 110

O 111

O 112

O 113

O 114

O 115

O 116

O 117

O 118

O 119

O 120

O 121

O 122

O 123

O 124

O 125

O 126

O 127

O 128

O 129

O 130

O 131

O 132

O 133

O 134

O 135

O 136

O 137

O 138

O 139

O 140

O 141

O 142

O 143

O 144

O 145

O 146

O 147

O 148

O 149

O 150

O 151

O 152

O 153

O 154

O 155

O 156

O 157

O 158

O 159

O 160

O 161

O 162

O 163

O 164

O 165

O 166

O 167

O 168

O 169

O 170

O 171

O 172

O 173

O 174

O 175

O 176

O 177

O 178

O 179

O 180

O 181

O 182

O 183

O 184

O 185

O 186

O 187

O 188

O 189

O 190

O 191

O 192

O 193

O 194

O 195

O 196

O 197

O 198

O 199

O 200

O 201

O 202

O 203

O 204

O 205

O 206

O 207

O 208

O 209

O 210

O 211

O 212

O 213

O 214

O 215

O 216

O 217

O 218

O 219

O 220

O 221

O 222

O 223

O 224

O 225

O 226

O 227

O 228

O 229

O 230

O 231

O 232

O 233

O 234

O 235

O 236

O 237

O 238

O 239

O 240

O 241

O 242

O 243

O 244

O 245

O 246

O 247

O 248

O 249

O 250

O 251

O 252

O 253

O 254

O 255

O 256

O 257

O 258

O 259

O 260

O 261

O 262

O 263

O 264

O 265

O 266

O 267

O 268

O 269

O 270

O 271

O 272

O 273

O 274

O 275

O 276

O 277

O 278

O 279

O 280

O 281

O 282

O 283

O 284

O 285

O 286

O 287

O 288

O 289

O 290

O 291

O 292

O 293

O 294

O 295

O 296

O 297

O 298

O 299

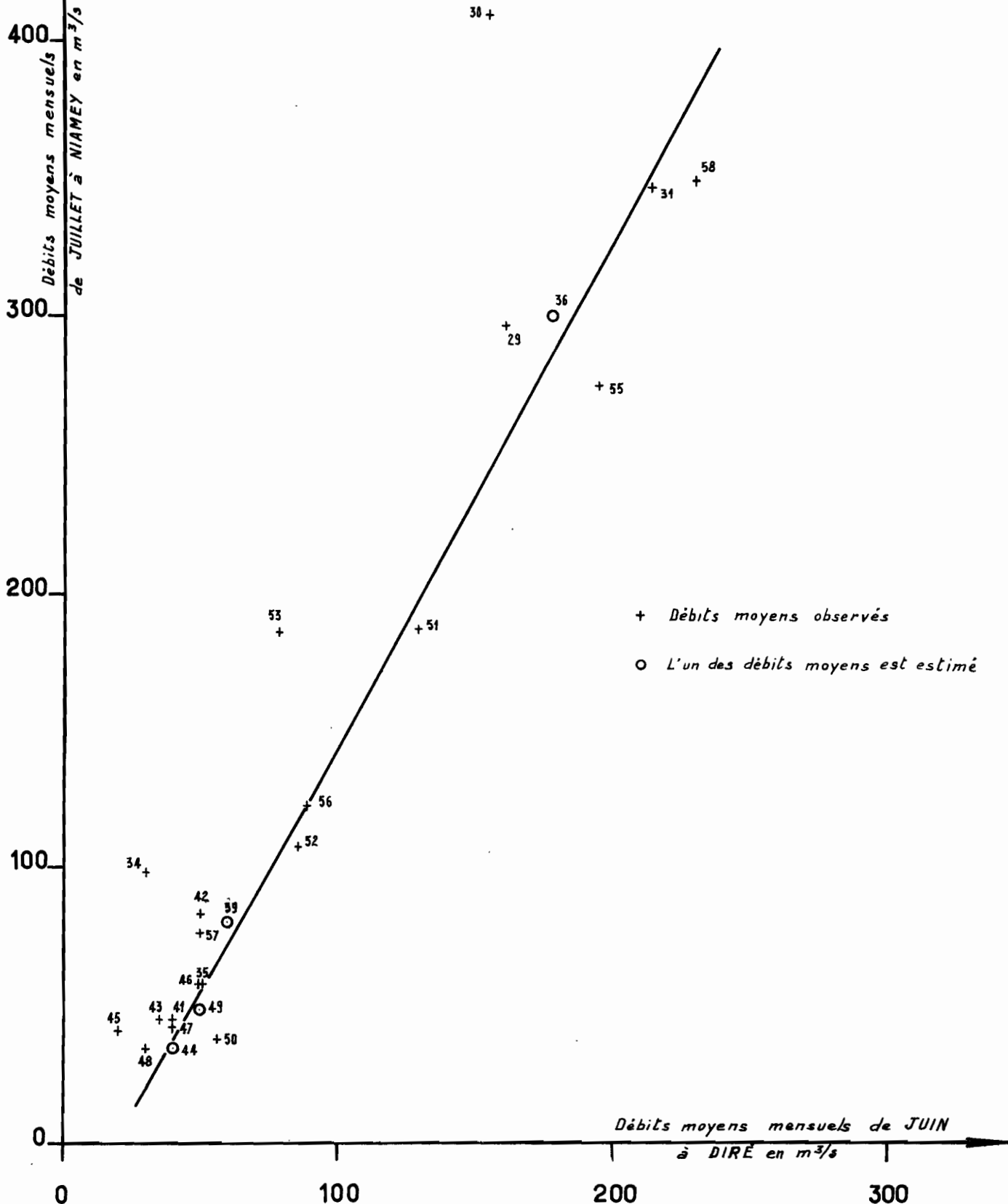
O 300

O 301

Correspondance entre les débits moyens mensuels de NIAMEY et DIRE

JUILLET

Gr-14



Août (graphique 15) est un mois de crue accusant la remontée du NIGER Supérieur à DIRE : cette remontée se conjugue à NIAMEY aux crues locales des affluents voltaïques. Cette double influence conduit à une correspondance manifestement non linéaire :

- pour les faibles étiages, la corrélation est peu dispersée. Cette partie de la courbe semble correspondre aux années pour lesquelles la saison des pluies est en retard et les apports du bassin moyen faibles en Août,

- pour les étiages élevés, la dispersion s'accroît, mettant en évidence une action plus prononcée des crues voltaïques.

La dispersion s'accroît en Septembre, mois pour lequel l'activité des affluents voltaïques est à son maximum (graphique 16). La corrélation, dont l'existence est indéniable, est trop faible pour être de quelque utilité dans l'amélioration de la connaissance du régime à NIAMEY à partir des données supplémentaires de DIRE.

On retrouve une physionomie analogue, moins accentuée cependant, dans la correspondance des débits moyens d'Octobre (graphique 17). Durant ce mois, les débits à DIRE deviennent plus importants que ceux de NIAMEY car, devant les apports massifs du NIGER Supérieur, les crues locales sont relativement faibles et, d'autre part, les débordements du lit majeur ont commencé, écrêtant les débits entre DIRE et NIAMEY, il ne pleut plus, la chaleur revient et les pertes par évaporation croissent.

En Novembre (graphique 18), l'influence de la crue locale est complètement éliminée et la corrélation s'améliore considérablement. On peut la traduire ainsi, en prenant l'enveloppe des points observés :

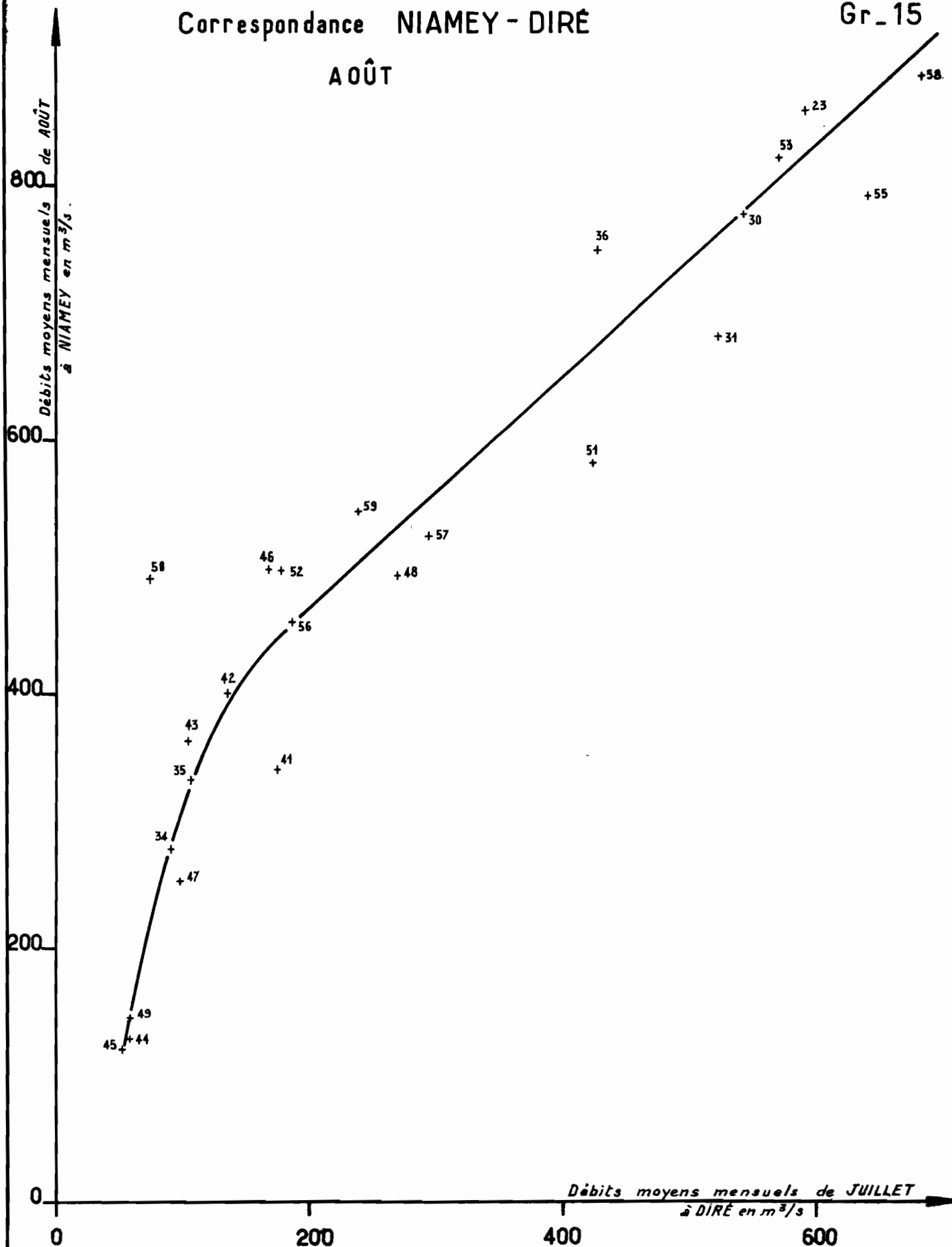
Pour 1700 m ³ /s à DIRE,	1220 ± 120	à NIAMEY soit ± 10%
Pour 1900 m ³ /s à DIRE,	1410 ± 100	à NIAMEY soit ± 7%
Pour 2100 m ³ /s à DIRE,	1580 ± 100	à NIAMEY soit ± 6 %

Les pertes entre NIAMEY et DIRE sont supérieures à celles d'Octobre : elles représentent de 20 à 35 % du débit passant à DIRE.

Correspondance NIAMEY - DIRÉ

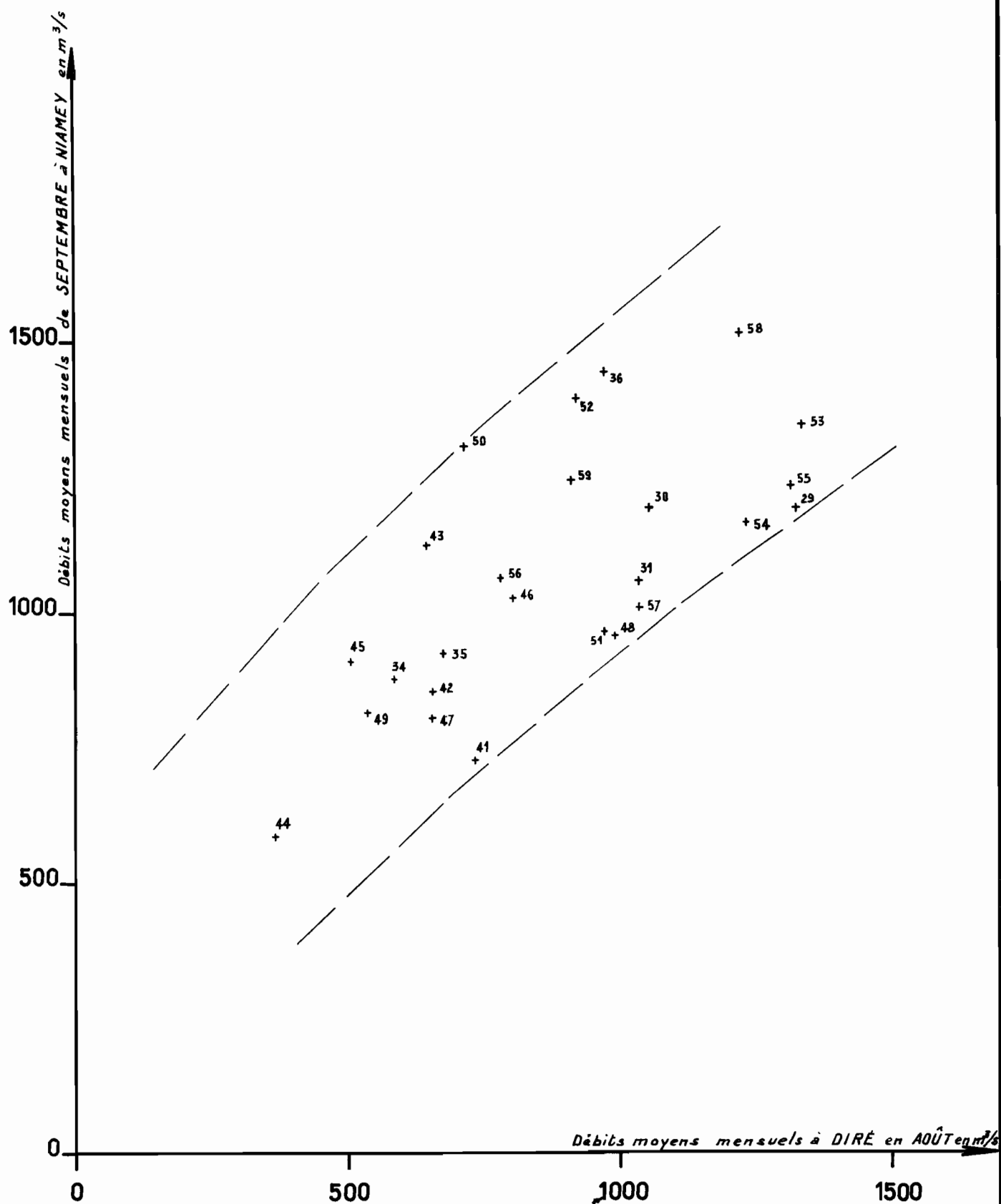
AOÛT

Gr_15



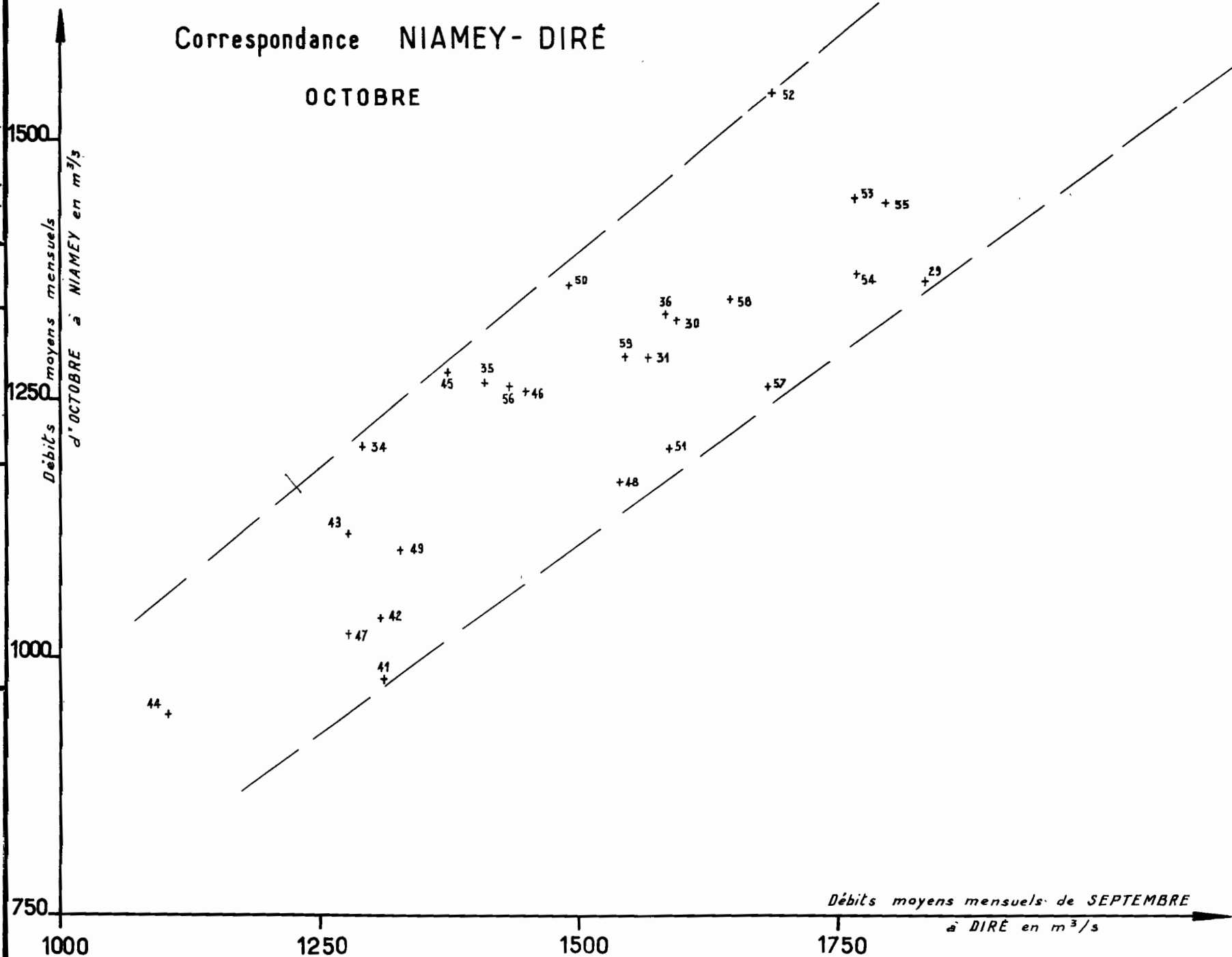
Correspondance NIAMEY - DIRÉ

SEPTEMBRE



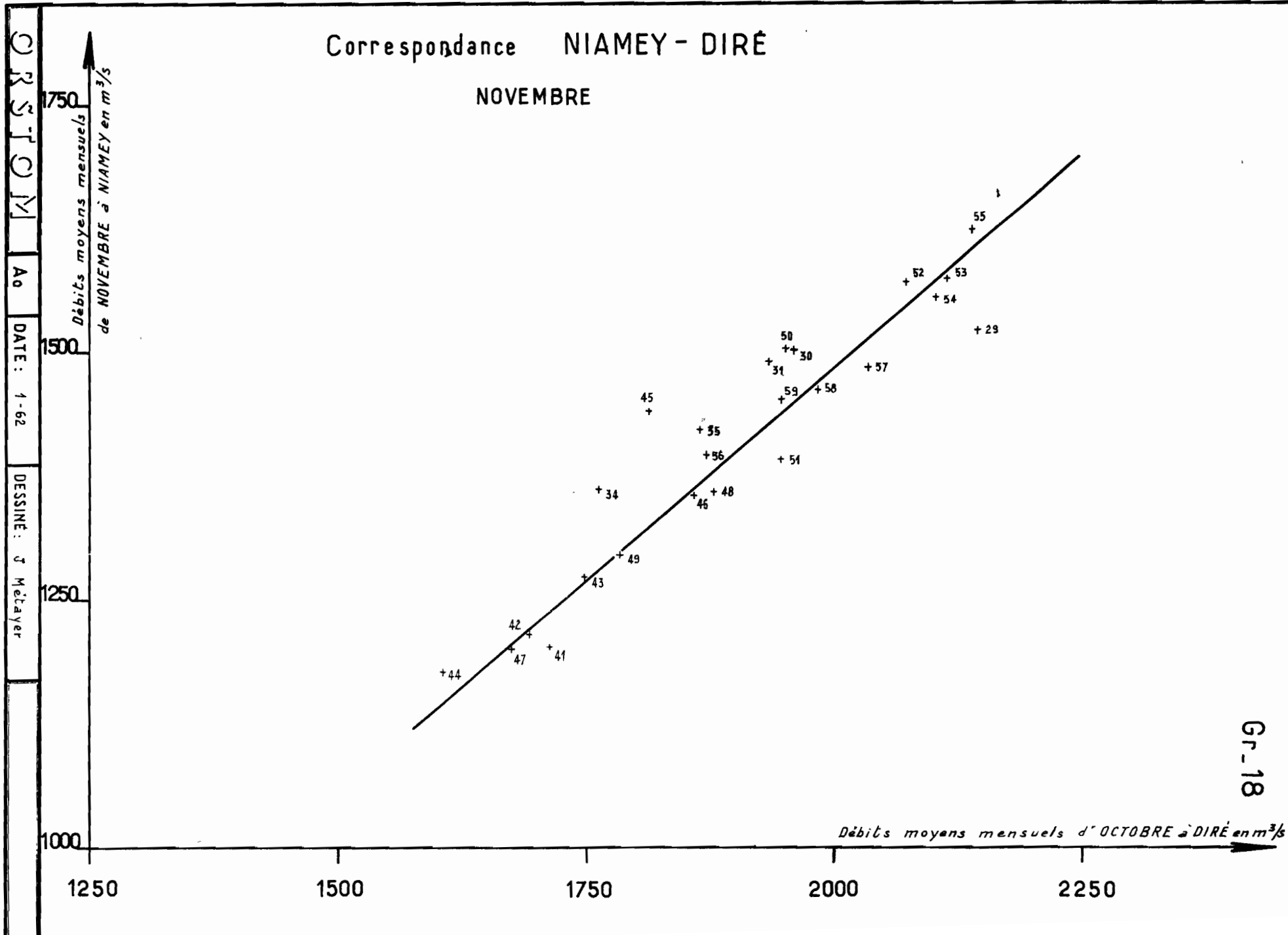
Correspondance NIAMEY- DIRÉ

OCTOBRE



Correspondance NIAMEY - DIRÉ

NOVEMBRE



On trouve une correspondance analogue en Décembre (graphique 19) :

DIRE	NIAMEY
2000 m ³ /s	1470 ± 100 m ³ /s soit ± 6,8 %
2200 m ³ /s	1610 ± 90 m ³ /s soit ± 5,6 %
2400 m ³ /s	1830 ± 80 m ³ /s soit ± 4,4 %

Les pertes à NIAMEY sont comprises entre 20 et 31% du débit à DIRE.

En Janvier (graphique 20), à part quelques points aberrants, la corrélation est bonne. En adoptant une enveloppe "raisonnable", on trouve :

DIRE	NIAMEY
2000 m ³ /s	1520 ± 80 m ³ /s soit ± 5,2 %
2250 m ³ /s	1715 ± 75 m ³ /s soit ± 4,3 %
2500 m ³ /s	1910 ± 60 m ³ /s soit ± 3,1 %

Les pertes à NIAMEY se situent entre 20 et 27 % du débit à DIRE : cette atténuation des pertes s'explique par les faits suivants :

- Le lit majeur est rempli par les débordements des mois précédents qui ont fourni le volume d'accumulation.
- Le débit de crue se transmet sur un lit majeur plein : d'où une diminution du temps de translation.
- L'évaporation diminue en même temps que la température.

Février est un mois de transition pendant lequel on reste aux plus hautes eaux lors d'années abondantes, mais qui accuse une nette décrue en année faible : la gamme des variations du débit moyen s'en trouve sensiblement augmentée. La corrélation reste satisfaisante (graphique 21) : la courbe de régression semble s'incurver vers l'axe DIRE dans sa partie haute. On obtient comme fourchette expérimentale :

DIRE	NIAMEY
1500 m ³ /s	1400 ± 100 m ³ /s soit ± 7,1 %
2000 m ³ /s	1750 ± 100 m ³ /s soit ± 5,7 %
2500 m ³ /s	2010 ± 110 m ³ /s soit ± 5,4 %

Correspondance NIAMEY - DIRÉ

DÉCEMBRE

Débits moyens mensuels
de DÉCEMBRE à NIAMEY en m³/s

2000

1750

1500

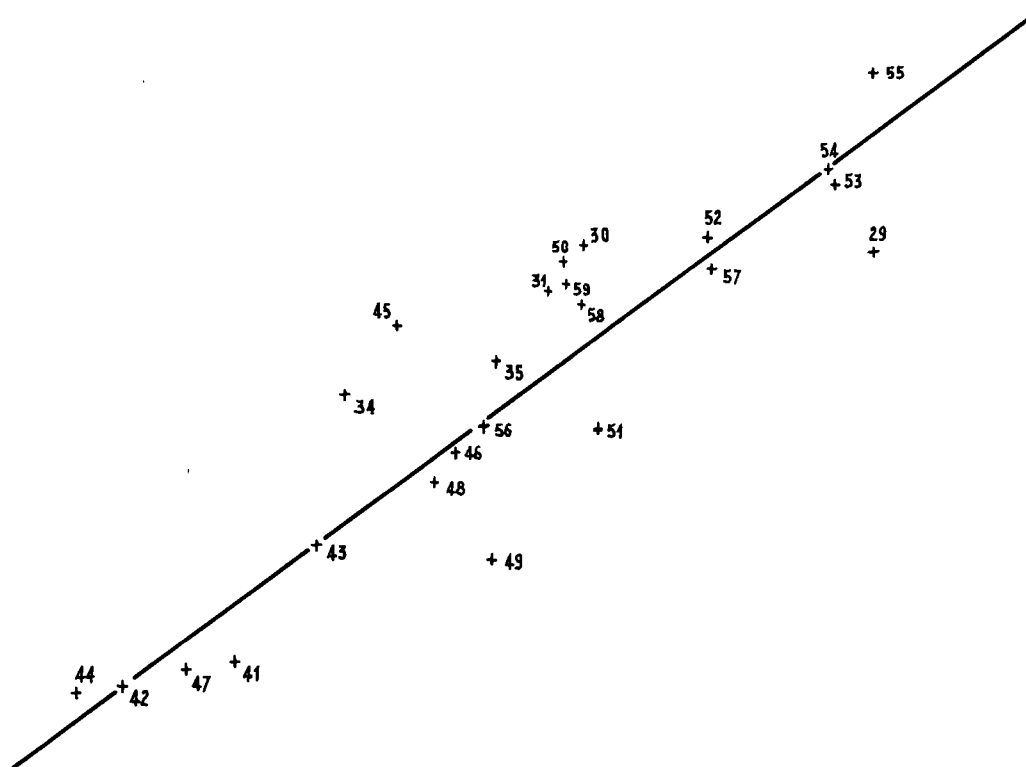
1250

O R S T O N

Ao

DATE: 1-62

DESSINE: J. Mélaye



Débits moyens mensuels de NOVEMBRE à DIRÉ en m³/s

Gr-19

O R S T O M

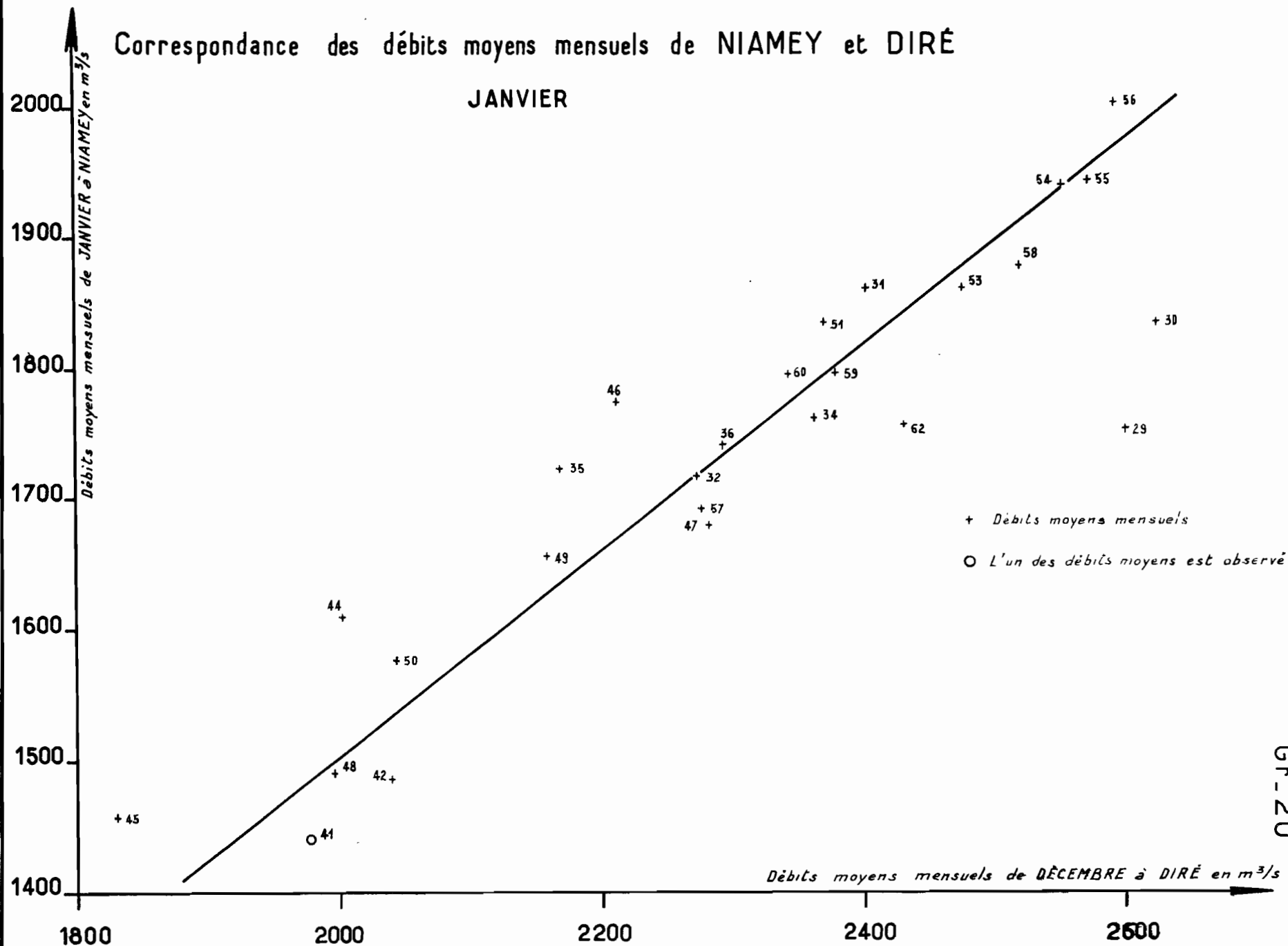
Ao

DATE : 1-62

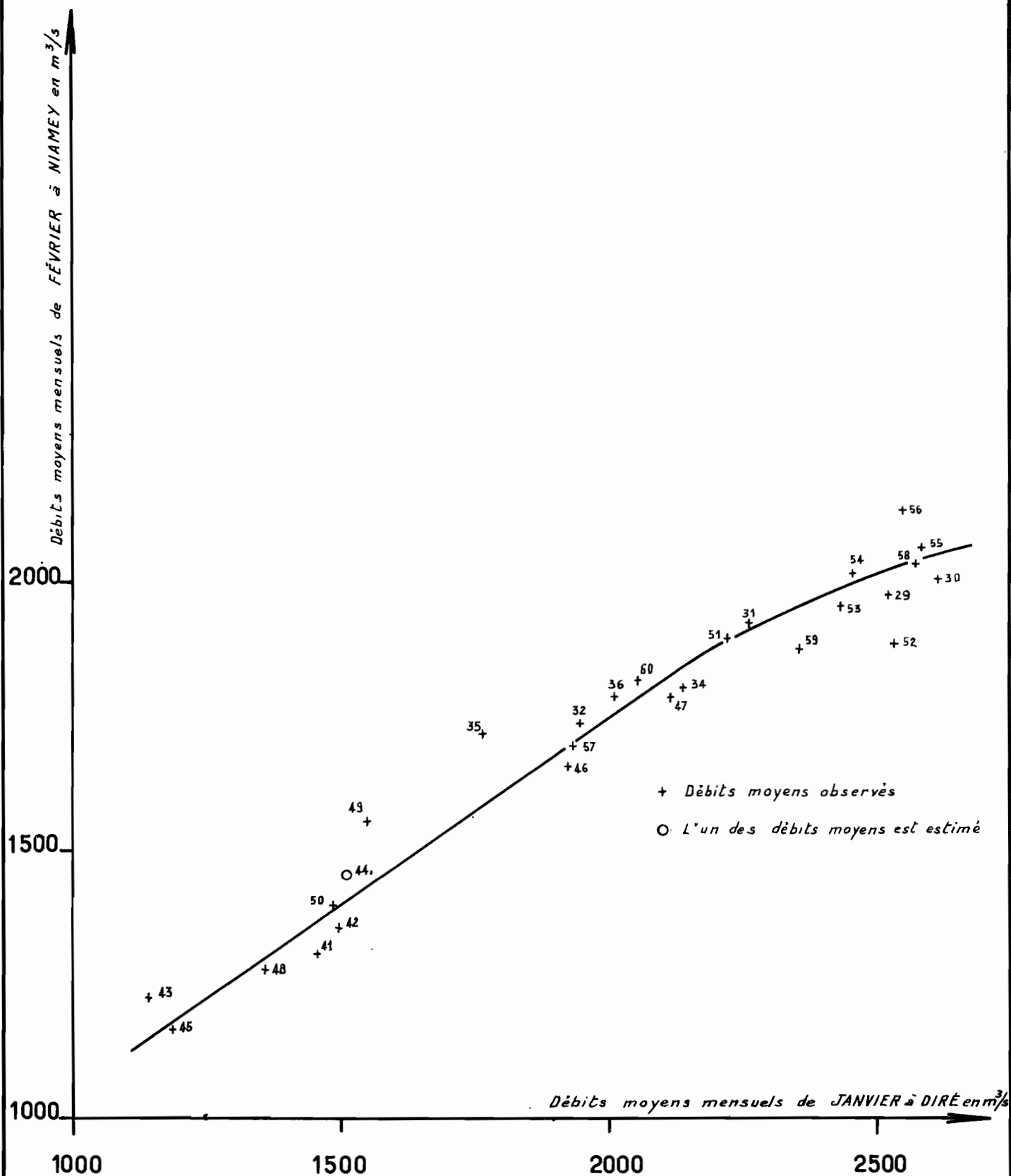
DESSINÉ : J. Métayer

Correspondance des débits moyens mensuels de NIAMEY et DIRÉ

JANVIER



Correspondance entre les débits moyens mensuels à NIAMEY et DIRÉ FÉVRIER



En ce qui concerne les pertes entre DIRE et NIA MEY on observe, soit en années faibles, une très forte diminution qui peut aller jusqu'à l'annulation, soit en années fortes, un maintien des pertes à des valeurs élevées (15 à 26 %).

En Mars, l'écart à la courbe moyenne de correspondance reste de l'ordre de $+ 100 \text{ m}^3/\text{s}$ sur les débits à NIA MEY (graphique 22), dans la partie rectiligne de cette courbe. Dans la partie incurvée, pour les débits supérieurs à $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ à DIRE, les écarts absolus pour NIA MEY sont de l'ordre de $+ 50 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui correspond à une excellente précision de 2 à 3 %. Le bilan du bief donne tantôt des pertes, tantôt des gains de débit entre DIRE et NIA MEY :

- En année sèche : pertes notables
- En année moyenne : gain
- En année très abondante : pertes ne dépassant pas 7 à 8 % du débit à DIRE.

Ce phénomène n'est guère explicable.

En Avril (graphique 23), la correspondance devient sensiblement linéaire dans toute la gamme des débits. Sa précision la rend utilisable, sauf peut-être en année très faible. Pour un débit à DIRE de plus de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$, on n'enregistre, en moyenne, ni gain ni perte entre DIRE et NIA MEY. Lorsque le débit à DIRE est faible, NIA MEY perd environ $100 \text{ m}^3/\text{s}$.

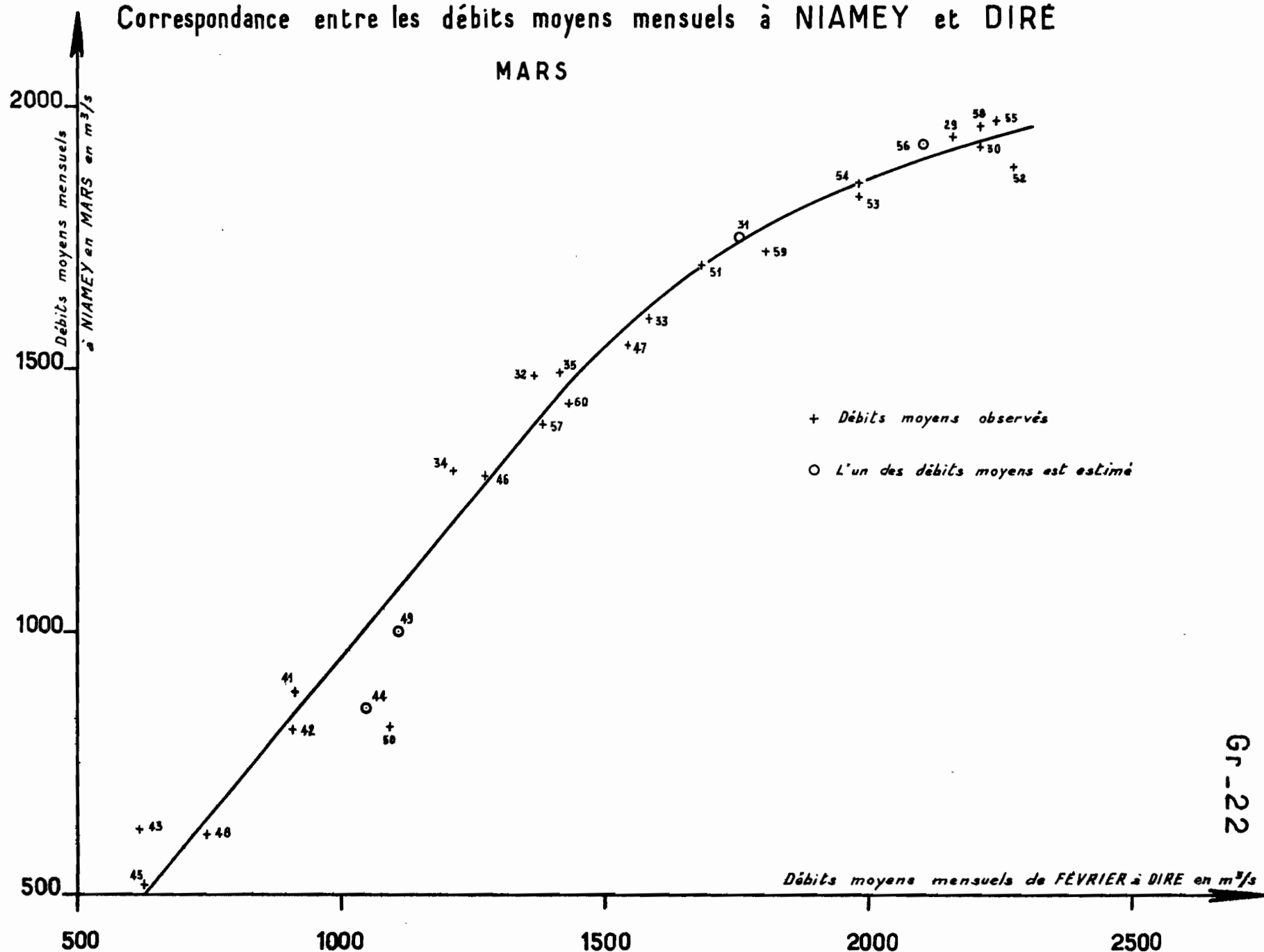
En Mai, les écarts à la courbe de regression sont faibles en valeur absolue, mais élevés en valeurs relatives, surtout en année sèche : pour $250 \text{ m}^3/\text{s}$ à DIRE, la précision sur les débits à NIA MEY est de l'ordre de 40 %. Les pertes à NIA MEY peuvent atteindre de 25 à 60 % du débit à DIRE (graphique 24).

On a reporté sur le graphique 25 une figuration schématique des correspondances de débits mensuels entre DIRE et NIA MEY, suivant les différents mois de l'année, en excluant Août, Septembre et Octobre pour lesquels nous avons vu que la corrélation est très lâche. Seule la partie droite de ces courbes a été représentée avec une longueur conforme à leur extension.

En résumé, on peut considérer que la corrélation entre les débits moyens mensuels à DIRE et à NIA MEY est excellente pour les mois de hautes eaux et au début de la

Correspondance entre les débits moyens mensuels à NIAMEY et DIRE

MARS



O R S T O M

Ao

DATE: 1-62

DESSINÉ: J. Métyer

Correspondance entre NIAMEY et DIRÉ AVRIL

Débits moyens mensuels
d'AVRIL à NIAMEY en m^3/s .

1500

1000

500

0

0

500

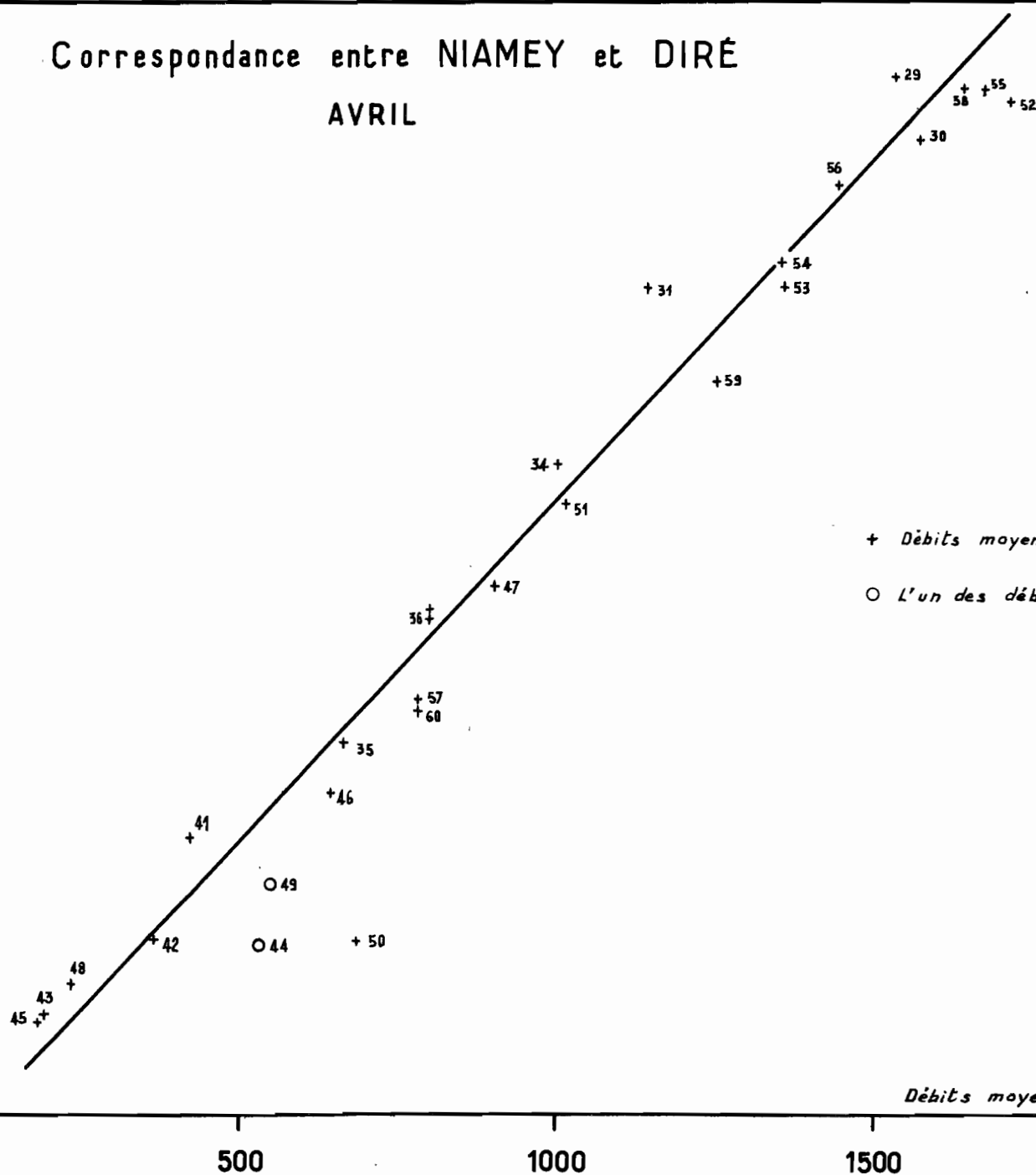
1000

1500

2000

+ Débits moyens observés

○ L'un des débits moyens est estimé



O R S T O M

Ao

DATE: 1-62

DESSINÉ: J. Métayer

Correspondance NIAMEY DIRÉ

MAI

Débits moyens mensuels
de MAI à NIAMEY en m^3/s

750

500

250

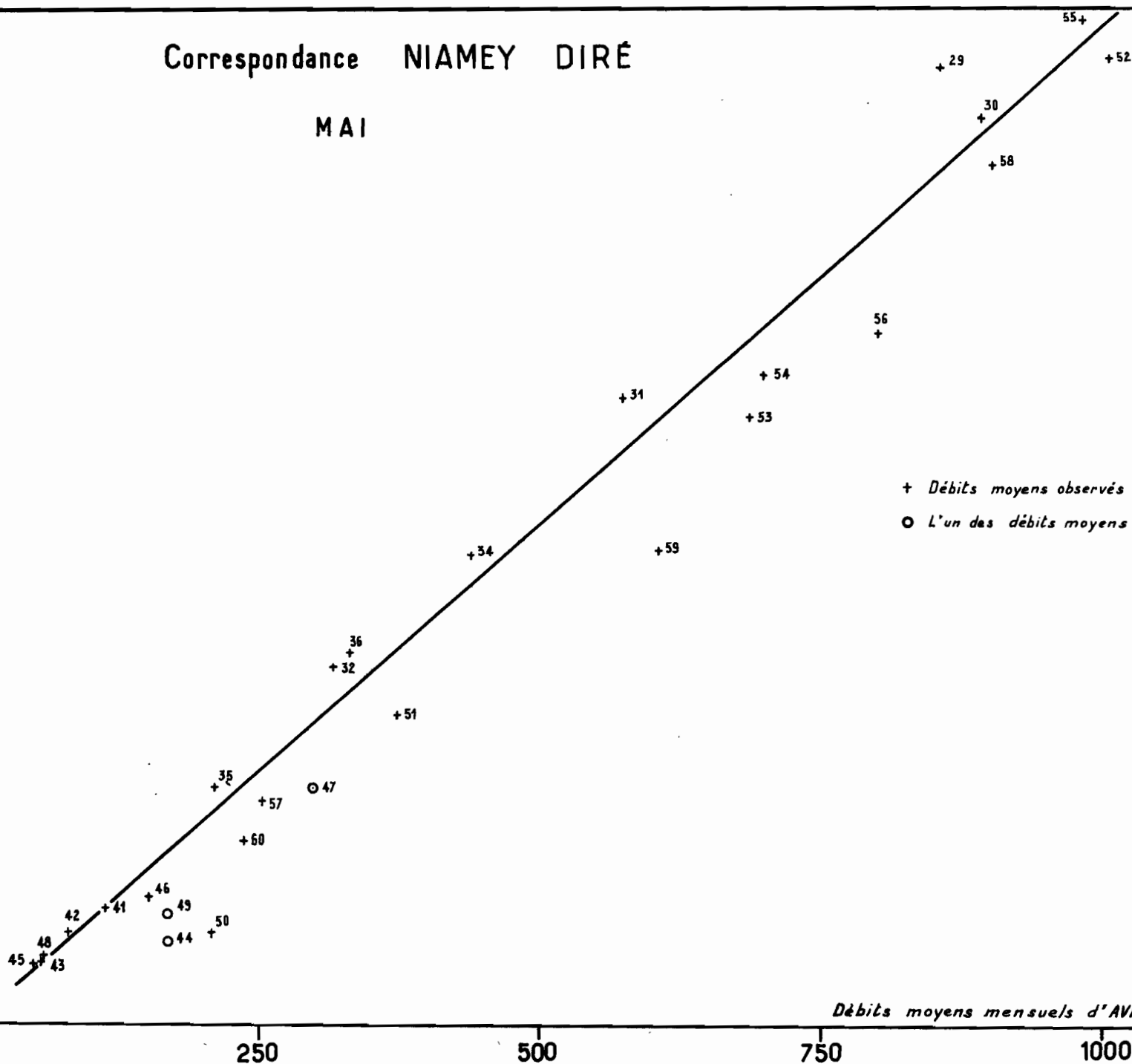
0

Débits moyens mensuels d'AVRIL à DIRÉ en m^3/s

+ Débits moyens observés

○ L'un des débits moyens est estimé

Gr-24

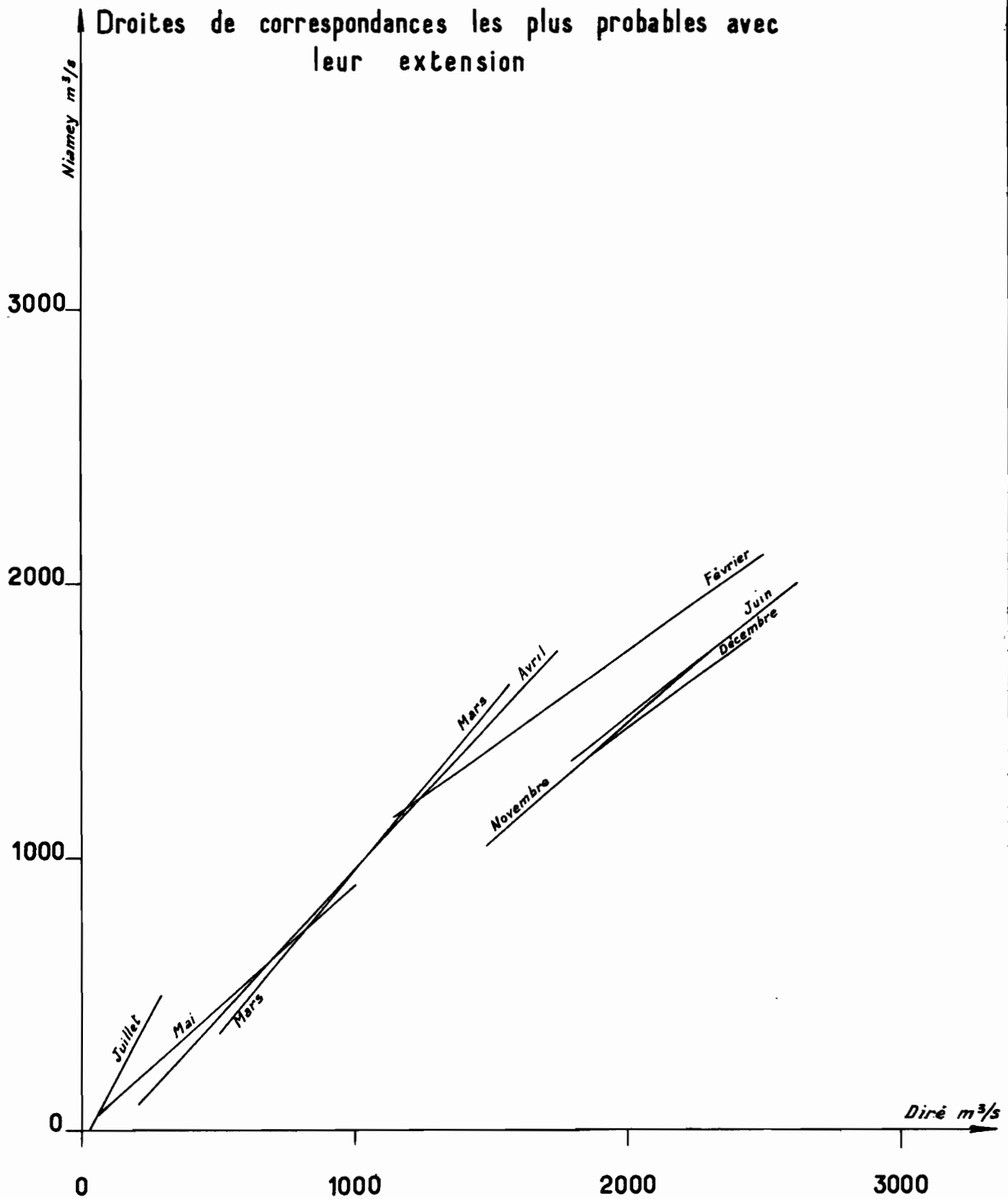


Correspondances NIAMEY - DIRÉ

Gr. 25

DÉBITS MOYENS MENSUELS

Droites de correspondances les plus probables avec
leur extension



décru (Novembre à Avril), moins bonne en étiage de Mai à Juillet, et très lâche en début de crue, d'Août à Octobre.

On pourrait utiliser ces corrélations pour compléter la liste des débits moyens mensuels à NIAHEY. Cependant, pour l'étude de la répartition en fréquences que nous allons entreprendre, cela n'augmenterait pas considérablement l'information ; aussi nous sommes-nous contentés des débits du tableau 9 observés directement ou reconstitués par des méthodes plus précises.

Les débits moyens correspondant, pour chaque mois, à une fréquence de dépassement donnée figurent sur le tableau 10. Les valeurs sont déterminées à partir de la courbe naturelle de la répartition des fréquences cumulées sans aucune tentative d'ajustement à une loi statistique quelconque. Ce tableau est analogue à celui qui avait été établi pour DIRE dans la monographie de la Cuvette Lacustre.

Toutefois, étant donné que la période d'observation est nettement plus courte (26 ans contre 34), il n'est pas apparu opportun de déterminer les débits correspondant aux fréquences 5 % et 95 % : ils ont été remplacés dans le tableau 10 par les valeurs extrêmes observées. On notera que cela revient à peu près au même au seul vu de l'échantillon disponible.

Le tableau 10 a permis de tracer les courbes classiques du graphique 26. Si l'on compare ce graphique à celui qui avait été établi pour DIRE (graphique 29, p. 107 du Tome II de la Cuvette Lacustre), on trouve une analogie très nette en ce qui concerne la crue du NIGER Supérieur : dispersion des débits mensuels beaucoup plus faible à la crue qu'à la décrue. Mais le graphique relatif à NIAHEY comporte, au niveau de Septembre et Octobre, une "bosse" caractéristique, ainsi qu'un renforcement de la dispersion en Août : ceci traduit l'influence sur les débits moyens mensuels des apports provenant des affluents voltaïques (bassin dit moyen). Le tableau indique en outre les écarts entre les extrêmes observés, en valeurs absolues et en valeurs rapportées à la médiane. On a disposé, en regard de ces dernières valeurs, les valeurs correspondantes à la station de DIRE : rappelons que les extrêmes de l'un correspondent à peu près aux fréquences 5 et 95 % de l'autre.

-TABLEAU 10-

LE NIGER à NIAMEY

DEBITS MOYENS MENSUELS CLASSES

(Fréquences au dépassement)

	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Fréquence
	410	889	1511	1548	1624	1791	2003	2133	1977	1632	898	360	max. observé
	340	815	1375	1410	1570	1710	1940	2025	1935	1600	860	320	0,10
	220	700	1190	1350	1500	1670	1835	1940	1840	1325	600	230	0,25
	85	500	1025	1265	1410	1590	1750	1790	1490	795	260	85	0,50
	34	340	880	1170	1290	1480	1630	1425	670	325	90	33	0,75
	21	150	760	1005	1200	1390	1470	1265	620	180	50	26	0,90
	18	50	586	947	1178	1383	1406	1158	520	146	42	21	min. observé
Ecart absolu													
des extrêmes	392	839	925	601	446	408	597	975	1457	1486	856	339	
observés													
Ecart relatif													
(à la médiane)	4,62	1,68	0,90	0,48	0,32	0,26	0,28	0,55	0,98	1,87	3,29	3,99	
Ecart relatif													
à DIRE	2,54	0,98	0,43	0,27	0,24	0,35	0,70	1,12	1,72	3,0	4,6	2,71	

O R S T O N

A 0

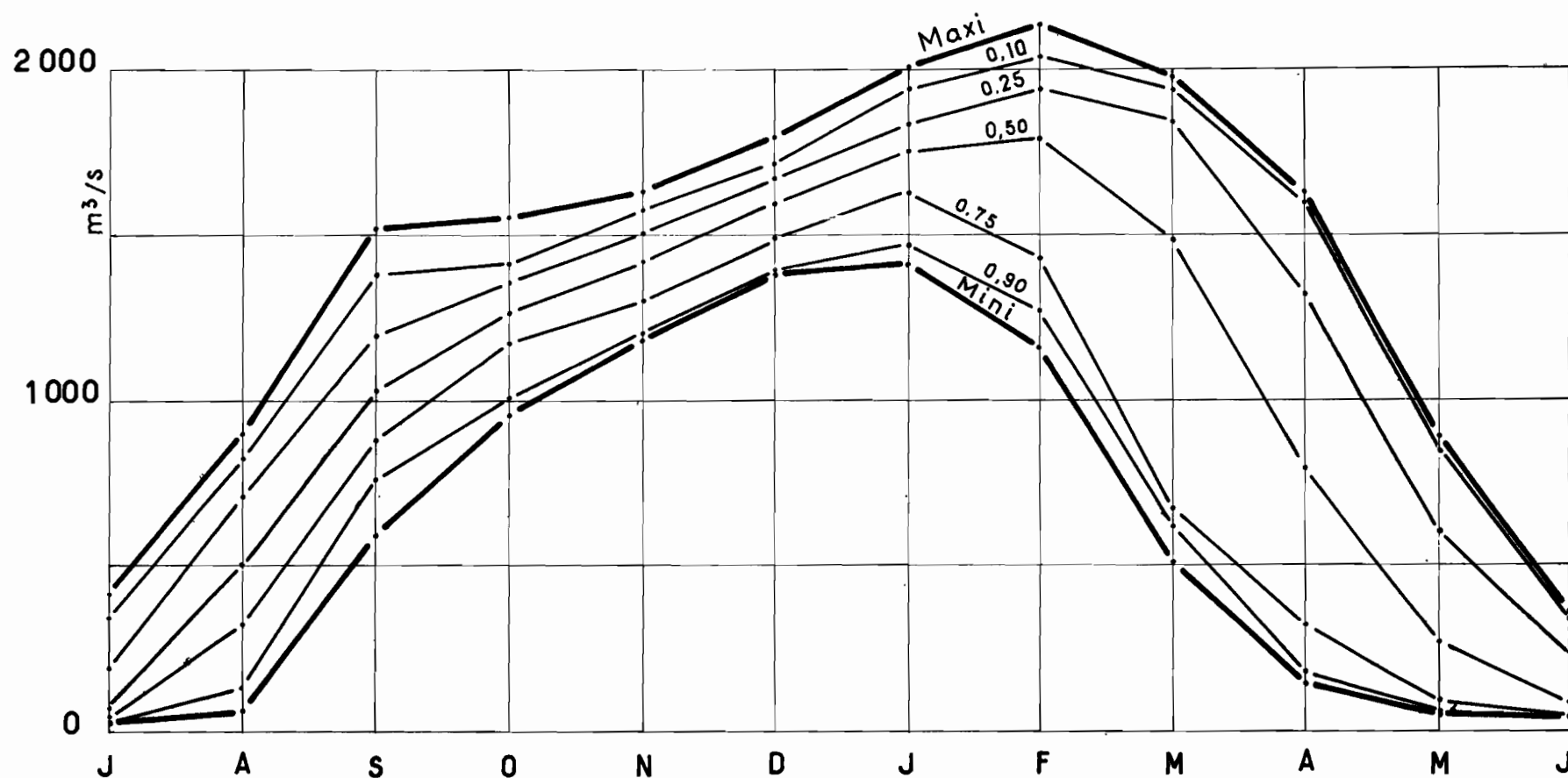
DATE : VIII - 62

DESSINÉ : G. G. G. G.

NIG 71.156

Le NIGER à NIAMEY

Débits moyens mensuels classés en fréquences au dépassement
_ SUR 26 ANS _



D - ETUDE des MODULES

L'ensemble des modules, ou débits moyens annuels en m^3/s , déduits des tableaux de débits moyens journaliers qui figurent en annexe, ~~est~~ porté sur le tableau 11. On sait qu'une partie de ces débits ~~sont~~ déduits des corrélations de hauteurs d'eau entre la station considérée et une station limnimétrique voisine : ces corrélations étant particulièrement serrées, on peut accorder aux résultats une confiance du même ordre qu'à ceux qui sont tirés d'observations directes.

Afin d'homogénéiser les données du tableau 11 et de valoriser si possible les périodes d'observations les plus courtes, il importe d'étudier les corrélations entre les modules de ces différentes stations.

1 - Corrélation NIAMEY-DIRE et étude du module à NIAMEY

On appellera, pour cette étude, Y le module d'une année quelconque à NIAMEY et X le module de la même année à DIRE. L'observation directe à DIRE fournit un échantillon de $n = 36$ valeurs du module X à cette station. En supposant la répartition normale, la loi de distribution statistique est définie par la moyenne \bar{X} et l'écart type σ_X . Ces paramètres, estimés sur la totalité des données disponibles ($n = 36$ années), ont pour valeurs :

$$\bar{X}_n = 1189 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n^s X = 238 \text{ m}^3/\text{s}$$

A NIAMEY, on dispose seulement de $k = 25$ années d'observations. Il se trouve que durant ces 25 ans on connaît également les modules à DIRE. L'échantillon des k couples de valeurs des modules permet d'estimer les paramètres de la distribution (X, Y) définie, si l'on s'en tient à une loi normale à deux variables, par :

\bar{X} module moyen à DIRE

\bar{Y} module moyen à NIAMEY

σ_X écart type à DIRE

σ_Y écart type à NIAMEY

r_{XY} coefficient de corrélation entre DIRE et NIAMEY

TABLEAU 11

MODULES aux DIFFERENTES STATIONS du BIEF DIRE-NIAMEY

(Valeurs observées ou reconstituées à partir
des corrélations de hauteurs d'eau)
(m³/s)

Années	DIRE	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
1924-25	1448			
1925-26	1527			
1926-27	1127			
1927-28	1414			
1928-29	1435			
1929-30	1550			1277
1930-31	1323			1209
1931-32	1180			1056
1932-33	1248			
1933-34	1239		957	1058
1934-35	990			914
1935-36	1105			980
1936-37	1297			
1937-38	956			
1938-39	1085			
1939-40	1042			
1940-41	860			
1941-42	909			723
1942-43	794			701
1943-44	929			815
1944-45	744			630
1945-46	1009			889
1946-47	1137			975
1947-48	843			697
1948-49	1035	967	854	848
1949-50	950	820	720	749
1950-51	1190	1126	992	1085
1951-52	1460	1337	1150	1176
1952-53	1356	1261	1100	1199
1953-54	1466	1353	1159	1249
1954-55	1559	1429	1267	1308
1955-56	1510	1384	1217	1296
1956-57	1095	1018	898	960
1957-58	1467	1300	1156	1206
1958-59	1361	1226	1125	1185
1959-60	1150	1063	960	1010

A partir de l'échantillon des k années d'observations communes, on peut estimer les valeurs des précédents paramètres à :

$$\begin{aligned}\bar{X}_k &= 1175 \text{ m}^3/\text{s} \\ k^{SX} &= 248 \text{ m}^3/\text{s} \\ \bar{Y}_k &= 1008 \text{ m}^3/\text{s} \\ k^{SY} &= 210 \text{ m}^3/\text{s} \\ k^{rXY} &= 0,965\end{aligned}$$

Ces données permettent d'améliorer la connaissance du module moyen à NIAMEY en adoptant l'estimation :

$$\hat{\bar{Y}} = \bar{Y}_k - k^{rXY} \frac{k^{SY}}{k^{SX}} (\bar{X}_k - \bar{X}_n) = 1\,020 \text{ m}^3/\text{s}$$

D'une façon plus générale, on peut estimer le débit Y à NIAMEY à partir du débit X à DIRE par l'équation de régression :

$$Y = 0,82 X + 46$$

La droite correspondante est portée, ainsi que les points représentant les modules observés, sur le graphique 27.

L'efficacité relative des estimateurs \bar{Y}_k et $\hat{\bar{Y}}$,

$$E = \frac{\text{Var } \hat{\bar{Y}}}{\text{Var } \bar{Y}_k}, \text{ qui se calcule par la relation}$$

$$E = 1 + \left(1 - \frac{k}{n}\right) \left[\frac{1 - \frac{(k-2)^2}{k-3}}{k-3} \right] \text{ est ici égale à } 0,712.$$

Tout se passe comme si la valeur moyenne de Y estimée par $\hat{\bar{Y}}$ avait été calculée sur

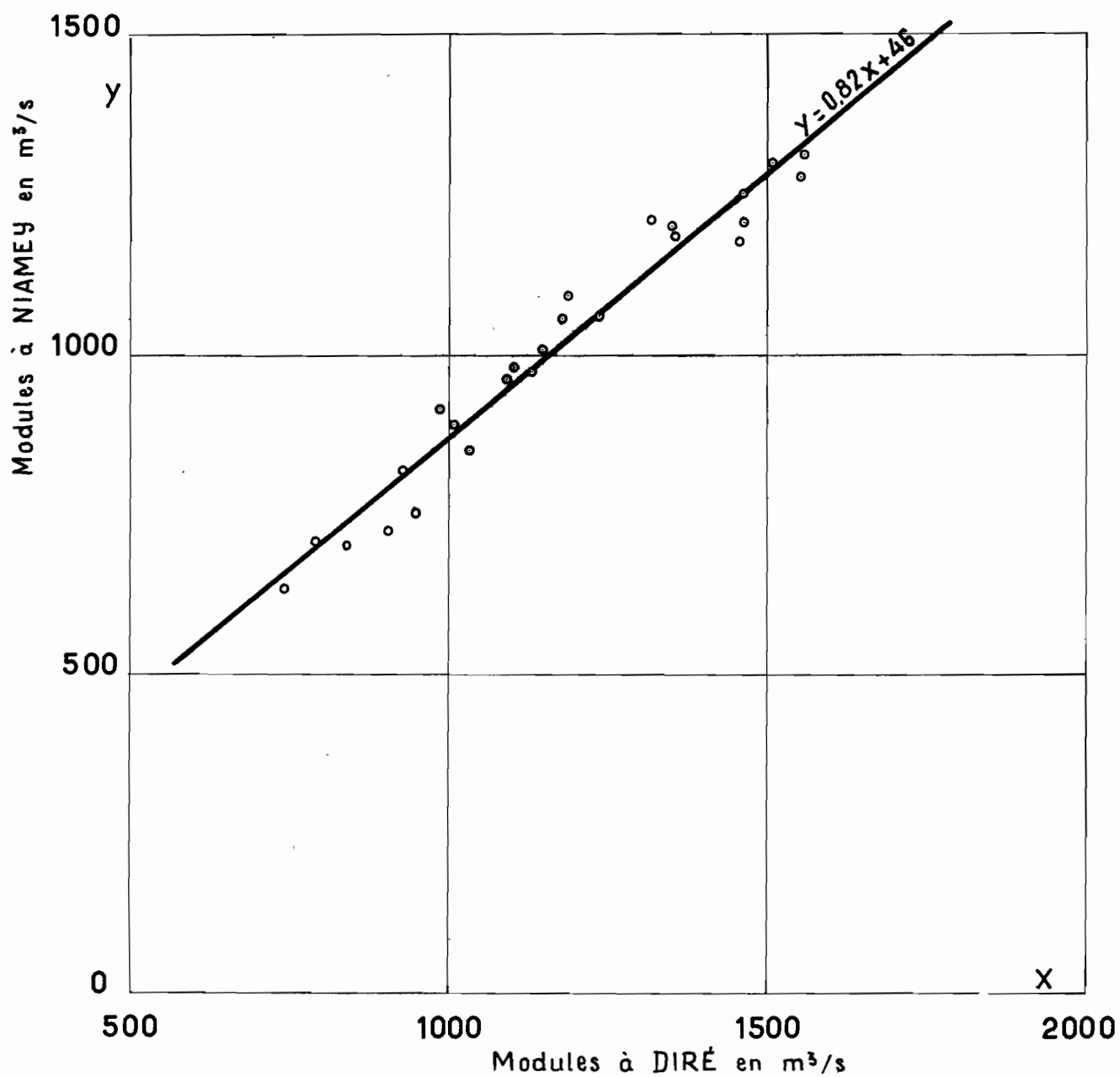
$$\frac{k}{E} = \frac{25}{0,712} \approx 35 \text{ années d'observations direc-}$$

tes.

./.

Corrélation entre les modules à NIAMEY(y) et à DIRÉ (x)

COEFFICIENT DE CORRÉLATION : 0,97



La nouvelle estimation : $1020 \text{ m}^3/\text{s}$, n'est pas très différente de la première : $1008 \text{ m}^3/\text{s}$, mais la confiance qu'on peut lui accorder s'en trouve accrue. En effet, en adoptant un intervalle de confiance de 95 %, qui correspond sensiblement à deux écarts-types, l'estimation directe donne pour la moyenne une marge de variation possible de

$$\frac{420}{\sqrt{25}} = 84 \text{ m}^3/\text{s}, \text{ marge qui se trouve réduite à } \frac{420}{\sqrt{35}} \approx 71 \text{ m}^3/\text{s}$$

si l'on tient compte de la série d'observations effectuées à DIRE. Dans le premier cas, l'opérateur particulièrement prudent qui ne veut pas prendre un risque de voir son estimation de la moyenne erronée, supérieur à 5 %, devra la situer entre 924 et $1092 \text{ m}^3/\text{s}$, dans le second cas, il pourra dire qu'elle est comprise entre 949 et $1091 \text{ m}^3/\text{s}$.

La variance de Y estimée en tenant compte des observations à DIRE a pour expression :

$$s_Y^2 = s_Y^2 - k r_{XY}^2 \frac{k s_Y^2}{k s_X^2} (k s_X^2 - n s_X^2) = 201 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Mais, dans le cas de la variance, la nouvelle estimation est entachée d'une erreur systématique par défaut du fait que, dans le calcul, on remplace implicitement un certain nombre de valeurs de Y par des valeurs tirées de la régression de Y ou X, c'est-à-dire en fait par des moyennes conditionnelles dégagées de l'erreur aléatoire d'estimation. Ici, cet écart systématique, ou biais, doit être faible, étant donné la valeur élevée du coefficient de corrélation. Il apparaît qu'un écart-type compris entre 201 et $210 \text{ m}^3/\text{s}$ constitue une meilleure estimation que la valeur initiale de $210 \text{ m}^3/\text{s}$. De toutes façons, les différences sont faibles. On adoptera $205 \text{ m}^3/\text{s}$ comme étant la valeur la plus probable de l'écart-type des modules à NIAMEY. Leur distribution se trouve donc définie par les paramètres :

Module moyen à NIAMEY : $1020 \text{ m}^3/\text{s}$

Ecart-type : $205 \text{ m}^3/\text{s}$

L'irrégularité interannuelle peut se définir, soit au moyen du coefficient de variation $\frac{s_Y}{\bar{Y}}$ que l'on peut estimer

ici à 0,201, soit par le coefficient K_3 égal au rapport des déciles extrêmes $\frac{1282}{758} = 1,69$. Ces valeurs

sont exactement les mêmes que celles qui avaient été trouvées pour DIRE : $C_V = 0,200$ et $K_3 = 1,69$.

2 - Corrélation TOSSAYE - DIRE. Etude des modules à TOSSAYE

La période commune des observations de débits, y compris ceux qui sont déduits des observations limnimétriques de GAO, est de $k = 12$ ans. Pour des douze années, les modules à DIRE sont caractérisés par les paramètres :

$$\text{moyenne : } \bar{X}_k = 1301 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{écart-type : } k^s X = 207 \text{ m}^3/\text{s}$$

de même, à TOSSAYE :

$$\bar{Y}_k = 1186 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k^s Y = 184 \text{ m}^3/\text{s}$$

et le coefficient de corrélation est égal à :

$$k^{r_{XY}} = 0,984$$

d'où l'équation de regression :

$$Y = 0,885 X + 50$$

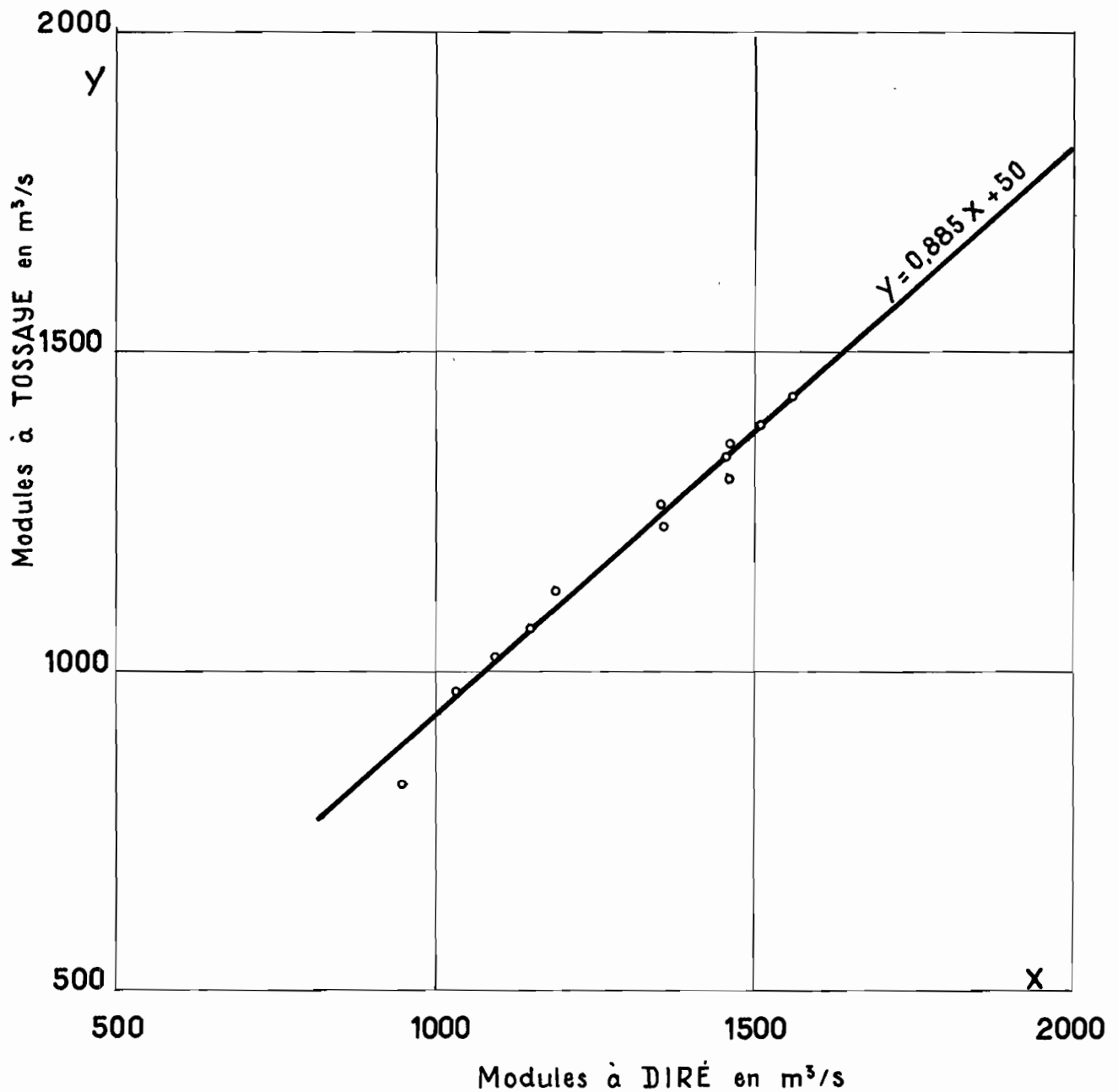
La droite correspondante, ainsi que les points représentatifs des modules figurent sur le graphique 28. Le module moyen à TOSSAYE, estimé en tenant compte des observations à DIRE est de $\hat{\bar{Y}} = 1090 \text{ m}^3/\text{s}$

L'efficacité relative de \bar{Y}_k et de $\hat{\bar{Y}}$ est $E = 0,356$ et la période d'extension réelle des observations à TOSSAYE est égale à $\frac{12}{0,356}$, c'est-à-dire voisine de 34 ans. Le

gain d'information est beaucoup plus important que pour NIAMEY, puisque la marge d'incertitude, en conservant l'intervalle de confiance très pessimiste de 95 %, passe de $\pm 106 \text{ m}^3/\text{s}$, si l'on ne possédait que les renseignements recueillis à TOSSAYE, à $\pm 63 \text{ m}^3/\text{s}$ en tenant compte de ceux de DIRE.

Corrélation entre les modules à TOSSAYE (y) et à DIRÉ (x)

COEFFICIENT DE CORRÉLATION : 0,984



Mais, surtout, la prise en considération de ces derniers permet de rectifier l'écart-type qui, manifestement, se trouve trop faible durant la période considérée. On trouve en fait une variance de 44.460, donc un écart-type voisin de 211 m³/s. Cette fois, on est sûr que cette estimation est meilleure que la première (184 m³/s) puisque l'opération ne peut que sous-estimer la valeur de l'écart-type. Il en résulte que les limites dans lesquelles peut varier le module dans l'intervalle de confiance à 95 % sont en réalité : 1090 - 72 = 1018 m³/s et 1090 + 72 = 1162 m³/s.

La distribution des modules à TOSSAYE, que l'on peut considérer comme normale, est définie par les paramètres suivants, en ne conservant que leurs valeurs centrales :

Module moyen à TOSSAYE : 1090 m³/s

Ecart-type : 211 m³/s

L'irrégularité interannuelle sera estimée par :

$$C_V = 0,194$$

$$\text{ou } K_3 = \frac{1360}{820} = 1,66$$

3 - Corrélation ANSONGO-DIRE - Etude des modules à ANSONGO

Les observations à ANSONGO portent sur la même période de 12 ans qu'à TOSSAYE : les valeurs de \bar{X}_k et $k^S X$ seront donc les mêmes. Pour les modules à ANSONGO, on trouve :

$$\bar{Y}_k = 1050 \text{ m}^3/\text{s}$$

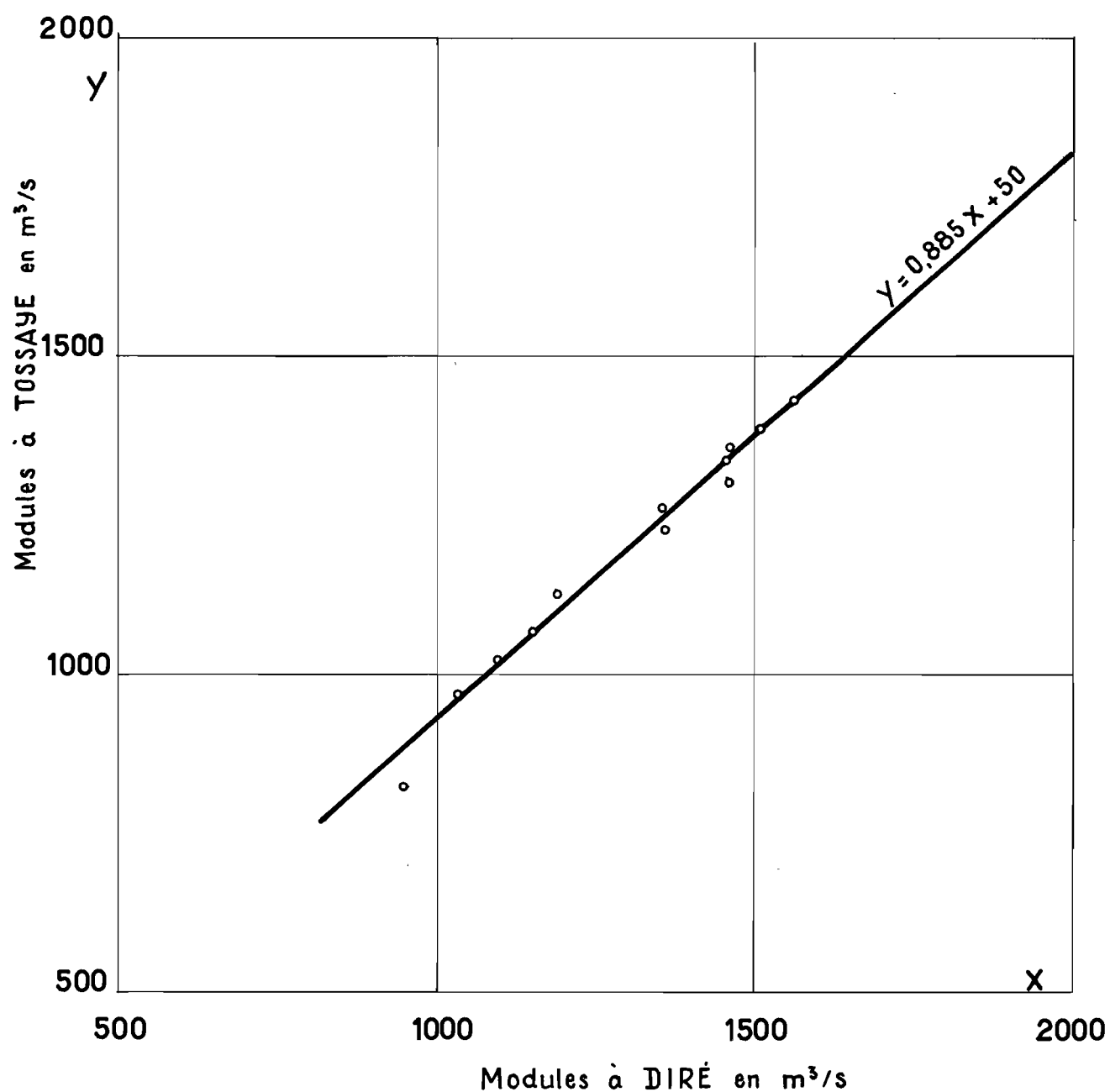
$$k^S Y = 165 \text{ m}^3/\text{s}$$

La valeur du coefficient de corrélation, calculée d'après les 12 années d'observations communes à DIRE et ANSONGO est $k^{r_{XY}} = 0,965$, d'où l'équation de régression

$$Y = 0,77 X + 50$$

Corrélation entre les modules à TOSSAYE (y) et à DIRÉ (x)

COEFFICIENT DE CORRÉLATION : 0,984



La droite correspondante, ainsi que les points représentatifs des modules figurent sur le graphique 29. Le module moyen à ANSONGO, estimé en tenant compte des observations à DIRE est $\hat{Y} = 965 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'efficacité relative de \bar{Y}_k et \hat{Y} est $E = 0,386$ et la période d'extension réelle des observations à ANSONGO est égale à $\frac{12}{0,386} = 31$ ans. L'estimation de l'écart-type tenant compte des relevés de DIRE donne $\hat{s}_Y = 188$. Cette valeur, étant plus élevée que celle qui est fournie par l'estimateur k^s_Y constitue nécessairement une meilleure estimation de l'écart-type σ_Y . On admettra donc que la distribution statistique des modules à ANSONGO est définie par les paramètres suivants :

Module moyen à ANSONGO	965 m ³ /s
Ecart-type	188 m ³ /s

L'irrégularité interannuelle est définie par

$$C_V = 0,195$$

$$\text{ou } K_3 = \frac{1205}{725} = 1,66$$

L'ensemble des résultats concernant les modules du bief DIRE-NIAMEY sont rassemblés dans le tableau ci-après :

TABLEAU 12

	DIRE	TOSSAYE	ANSONGO	NIAMEY
Module moyen (m ³ /s)	1189	1090	965	1020
Ecart-type (m /s)	238	211	188	205
C _V	0,200	0,194	0,195	0,201
K ₃	1,69	1,66	1,66	1,69
Période d'extension	36 ans	34 ans	31 ans	35 ans
Corrélation avec DIRE		0,970	0,984	0,965

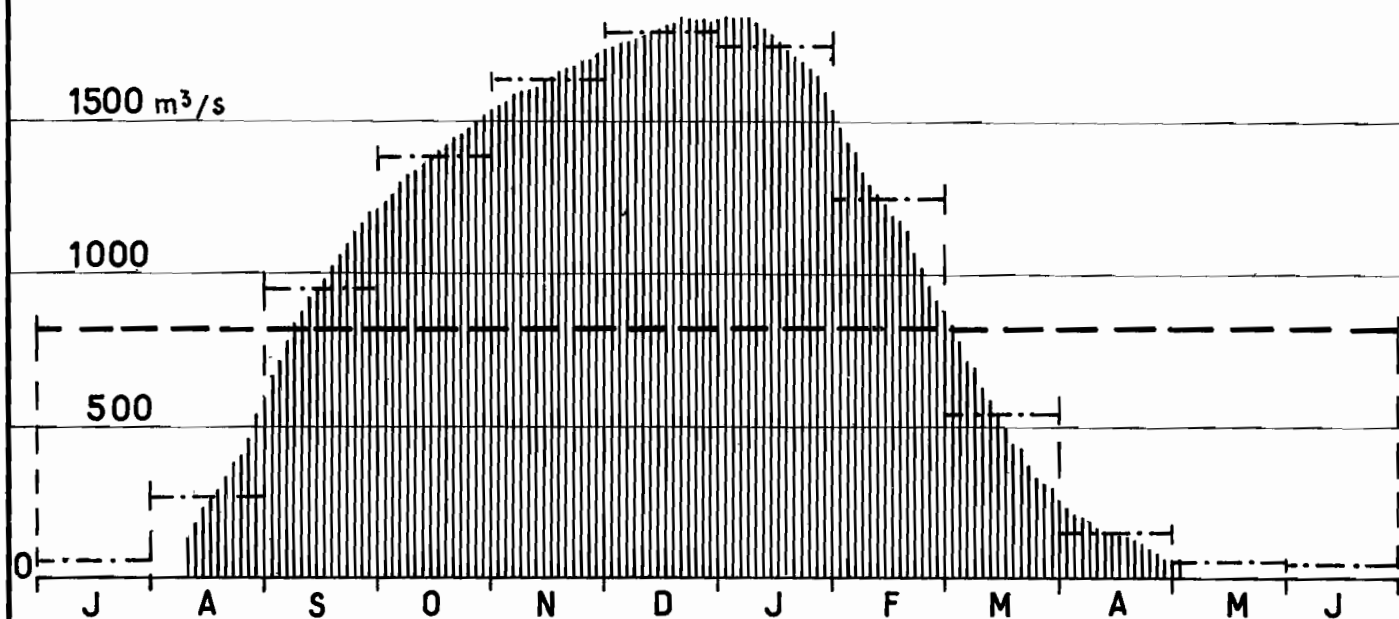
On observe sur les modules un léger renforcement des débits à NIAMEY. Ce relèvement s'explique en partie par les apports des cours d'eau voltaïques qui interviennent pour une trentaine de m³/s. Mais, en tenant compte des pertes par évaporation dans ce bief, il reste à justifier 40 à 50 m³/s, soit 4 à 5 %. Ce chiffre correspondrait peut-être à des erreurs cumulées d'étalonnage entre ANSONGO et NIAMEY.

N'oublions pas que, pour simplifier, nous avons admis qu'il y avait à chacune de ces deux stations une courbe d'étalonnage unique, alors qu'en fait on constate de légères divergences à la crue et à la décrue suivant la vitesse de montée.

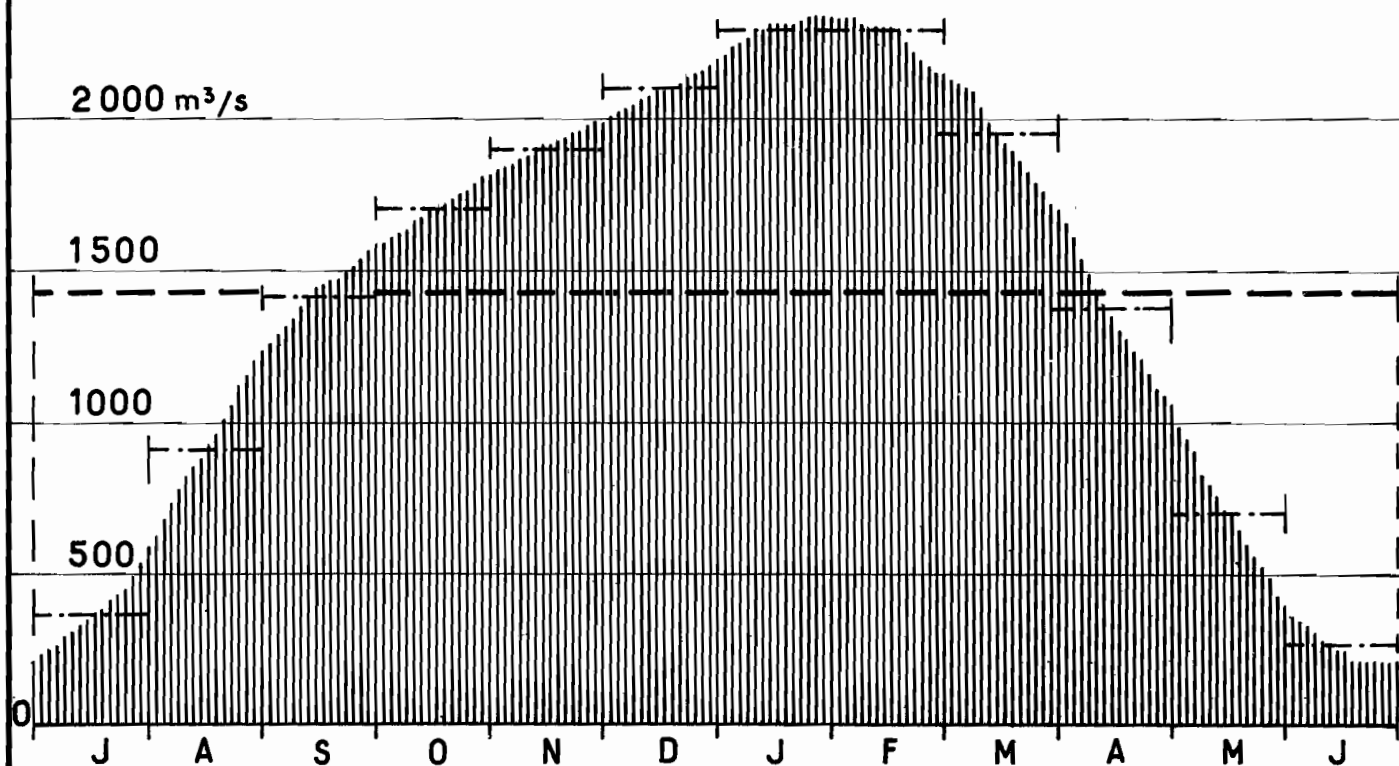
On trouvera sur les graphiques 30 à 32 la représentation d'hydrogrammes annuels correspondant, pour chacune des trois stations étudiées dans ce chapitre, à une année abondante et à une année de module faible.

Le NIGER à TOSSAYE

en 1949-50 _ année faible

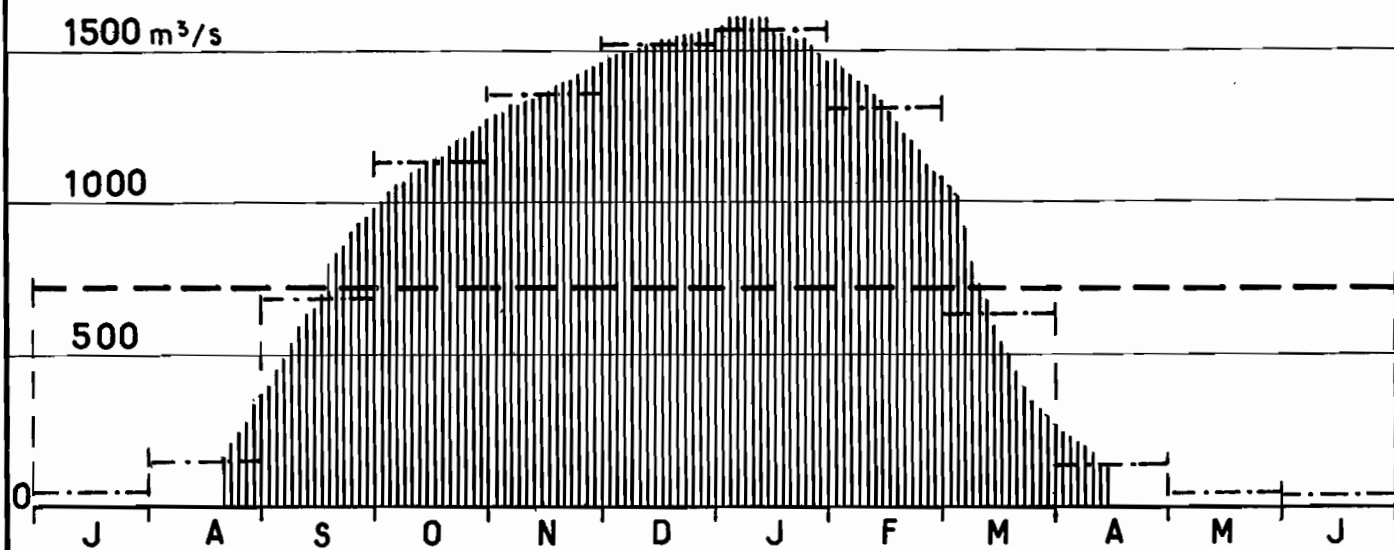


en 1954-55 _ année forte

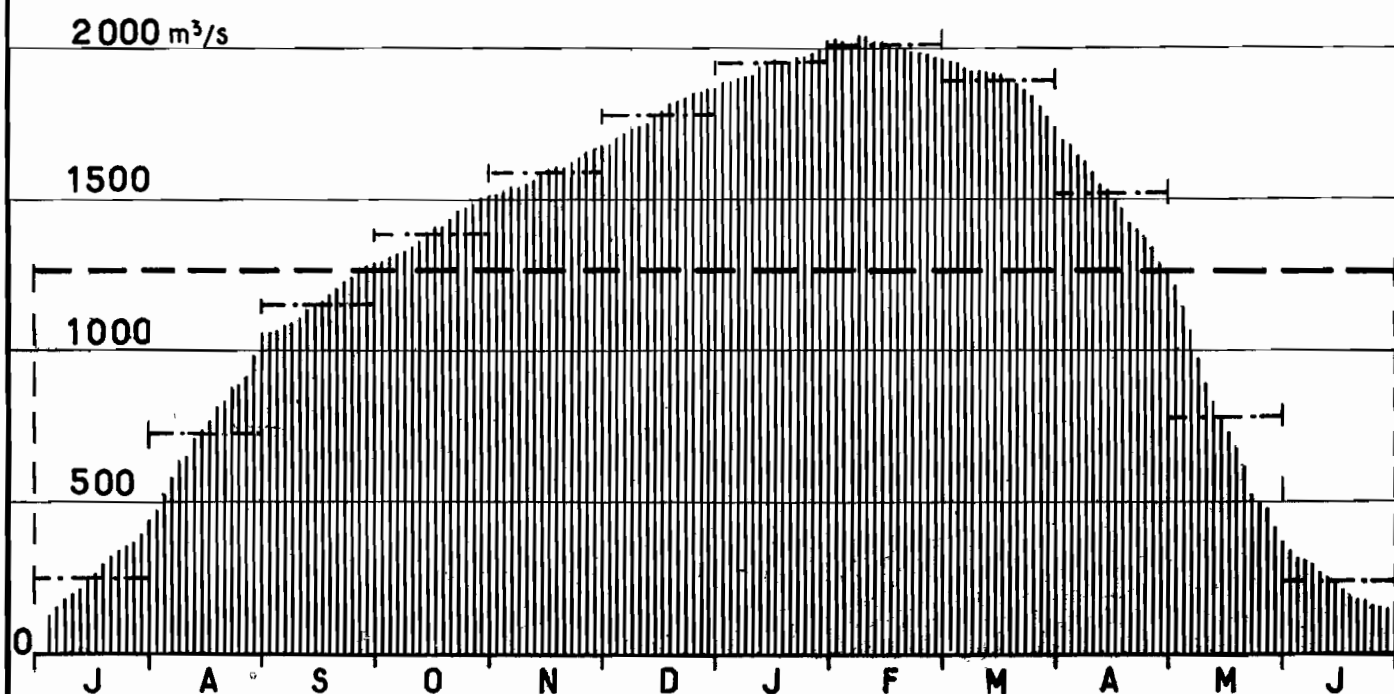


Le NIGER à ANSONGO

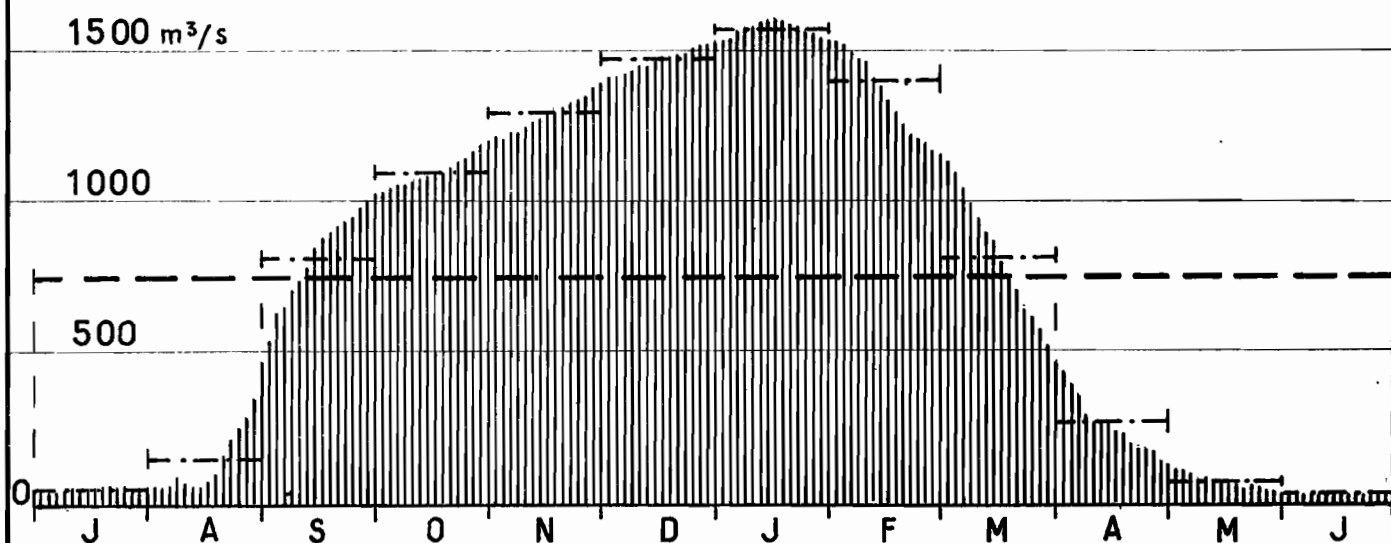
en 1949-50 _année faible



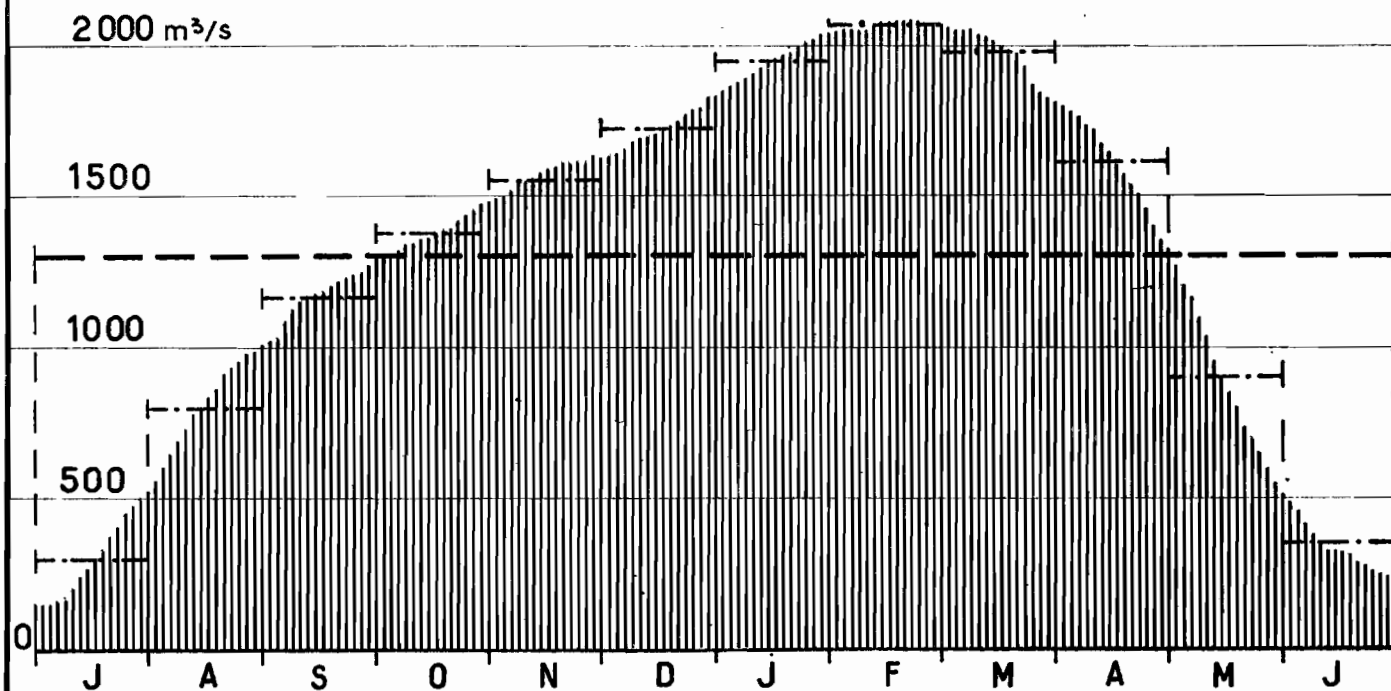
en 1954-55 _année forte



Le NIGER à NIAMEY
en 1949-50 _ année faible



en 1954-55 _ année forte



C H A P I T R E I V

REGIME des AFFLUENTS RIVE DROITE, NIGERIENS et VOLTAÏQUES

Ces affluents, originaires de HAUTE-VOLTA, constituent ce que nous avons appelé à différentes reprises le bassin moyen (carte 26 - Tome I). De DIRE jusqu'à NIAMEY, ce sont pratiquement les seuls qui soient susceptibles de fournir quelques apports au fleuve et d'en modifier quelque peu le régime. En fait, les modifications qu'il peut en résulter sont de second ordre devant l'abondance du flot subsistant en provenance du NIGER Supérieur. Le meilleur test à ce sujet, en dehors de toute étude de ces affluents, est l'excellente corrélation des modules entre DIRE et NIAMEY.

Mis à part quelques ruisseaux absolument insignifiants, les affluents d'origine voltaïque qui se déversent dans le NIGER à l'amont de NIAMEY sont au nombre de trois :

- le GOROUOL, avec un bassin de 45 000 km²
- le DARGOL : 7000 km²
- la SIRBA : 38 750 km²

Le réseau hydrographique est souvent très dégradé et les apports qui parviennent au NIGER ne sont pas du tout à la mesure des bassins drainés. D'autre part, les régimes de ces trois cours d'eau varient suivant leur position géographique du Nord au Sud : si le GOROUOL et le DARGOL peuvent être considérés comme des bassins purement sahéliens, la SIRBA subit déjà l'influence tropicale.

Le nombre très faible des données d'observations ne permet pas une connaissance très sûre des caractéristiques de ces régimes. L'étalonnage encore incomplet pour les hautes eaux ne donne pour les crues, même observées en limnimeétrie, que des valeurs hasardeuses. Bien que des stations

aient été installées sur certains affluents des cours principaux ou dans les hauts bassins, elles n'ont pas pu être suivies régulièrement et les quelques relevés disponibles sont suspects : notre étude se bornera à l'exploitation des résultats obtenus sur les trois stations les plus basses qui contrôlent la majeure partie des bassins :

ALCONGUI pour le GOROUOL (44 855 km²)
KAKASSI pour le DARGOL (6 940 km²)
GARBE-KOUROU pour la SIRBA (38 750 km²)

1 - Le GOROUOL à ALCONGUI (période d'observations 1957-59)

L'étiage est nul tous les ans. Sa durée est la suivante :

- Entre 1957 et 1958 : 6 mois 12 jours (1/12 au 12/6)
- Entre 1958 et 1959 : 5 mois 21 jours (16/1 au 5/7)

Encore le GOROUOL draine-t-il un grand bassin et le tarissement est très long. La partie vraiment active de l'année ne doit pas excéder 3 mois en moyenne, ce qui classe bien ce cours d'eau dans le régime sahélien.

Les débits moyens mensuels observés sont portés sur le tableau 13.

TABIEAU 13

DEBITS MOYENS MENSUELS du GOROUOL à ALCONGUI (m³/s)

	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	Modules
1957	0	0,05	2,75	2,82	14,2	16,5	1,71	0,19	0	0	0	0	3,18
1958	0	0	2,6	5,5	27,0	(55)	12,4	3,1	0,5	0,1	0	0	8,85
1959	0	0	0,01	2,55	24,8	45,0	5,25	0,55	0,08	0	0	0	6,50
Moyenne	0	0,02	1,79	3,62	22,0	38,9	6,45	1,28	0,19	0,03	0	0	6,19

Le maximum de la crue semble se produire entre le 15 Août et le 15 Septembre, date tardive qui traduit un freinage et un laminage important dans les lacs et les chemaux à faible pente. Le maximum dure très longtemps, les débits pouvant garder près de 15 jours ou même trois semaines des valeurs voisines de ce maximum. Les débits de crue font, avec les débits caractéristiques, l'objet du tableau 14.

TABLEAU 14
DEBITS CARACTERISTIQUES du GOROUOL à ALCONGUI
(m³/s)

	Etiage absolu:	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	Débit : maximal:
1957	0	0	0	0,1	2,5	24	28
1958	0	0	0	0,5	8,0		(75)
1959	0	0	0	0	2,5	(67)	(75)

L'allure de l'hydrogramme annuel est représentée sur le graphique 33 (année faible : 1957, année forte : 1958).

Les modules semblent n'avoir qu'un rapport assez lointain avec la pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin, puisqu'on trouve :

	Pluie moyenne en mm	Module en m ³ /s
1957	535	3,18
1958	540	8,85
1959	480	6,50

En fait, les répartitions spatiale et temporelle des précipitations annuelles doivent avoir une très grande influence sur le coefficient d'écoulement. Ce coefficient est, du reste, toujours extrêmement faible :

0,42 % en 1957 (lame écoulée : 2,24 mm)
1,16 % en 1958 (lame écoulée : 6,24 mm)
0,95 % en 1959 (lame écoulée : 4,58 mm)

Le GOROUOL à ALCONGUI

en 1957 _ année faible

40 m³/s

20

0

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

en 1958 _ année forte

80 m³/s

60

40

20

0

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

Quant au déficit, il est pratiquement égal à la pluviométrie, comme il est d'usage pour les bassins sahé-liens d'une certaine étendue.

La pluviométrie moyenne interannuelle sur le bassin, calculée d'après les observations disponibles, est de 460 mm, ce qui tendrait à montrer, malgré la très mauvaise corrélation qui semble exister entre pluies moyennes et débits moyens annuels, que la valeur de 6,19 m³/s calculée pour le module moyen d'après la période d'observation est nettement supérieure à la vraie valeur de ce module moyen. Il n'est toutefois pas possible de préciser davantage cette dernière caractéristique.

2 - Le DARGOL à KAKASSI (période d'observations 1957-1960)

La durée pendant laquelle le lit de ce cours d'eau est à sec est nettement plus longue que pour le GOROUOL : le DARGOL ne bénéficie pas de la longue vidange de réserves aussi importantes que ce dernier. Ceci est dû essentiellement au fait que son bassin est beaucoup plus petit. Néanmoins, le tarissement est assez long puisqu'il s'étend en moyenne sur 1 mois et demi.

La période de sécheresse totale dure en moyenne environ 6 mois $\frac{1}{2}$, approximativement du 15 Novembre au 1er Juillet.

Les débits moyens mensuels observés sont portés dans le tableau 15.

TABLEAU 15

DEBITS MOYENS MENSUELS du DARGOL à KAKASSI

(m ³ /s)													
Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1957	0	0	0	0	0	0,2	2,0	10,7	16,4	0,5	0	0	2,48
1958	0	0	0	0	0	-	-	(30)	28,6	1,6	0,3	0	
1959	0	0	0	0	0	0	5,7	31,6	29,8	1,3	0,3	0	5,75
1960	0	0	0	0	0	0	2,8	4,3	14,7	2,8	0	0	2,05
Moyenne	0	0	0	0	0	0,07	3,5	19,2	22,4	1,6	0,2	0	3,93

Le maximum de la crue semble être aussi tardif que sur le GOROUOL (entre le 15 Août et le 15 Septembre) et l'onde de crue est également très étalée, surtout si l'on tient compte de la faible superficie du bassin. On trouvera les valeurs des maximums, ainsi que les débits caractéristiques, dans le tableau 16.

TABLEAU 16

DEBITS CARACTERISTIQUES du DARGOL à KAKASSI

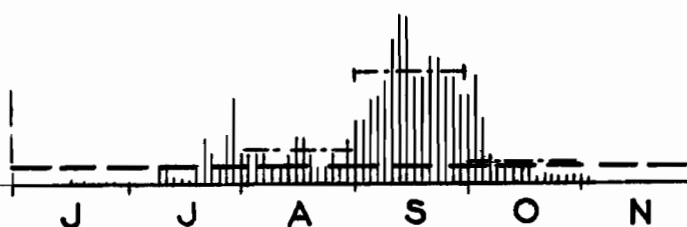
(m ³ /s)							
	Etiage absolu	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	Débit maximal
1957	0	0	0	0	2,0	24,7	33,0
1958	0	0	0	0	-	64,5	76,0
1959	0	0	0	0	2,0	76,0	76,0
1960	0	0	0	0	2,0	16,6	22,0

Le DARGOL à KAKASSI

en 1960 - année faible

25 m³/s

0



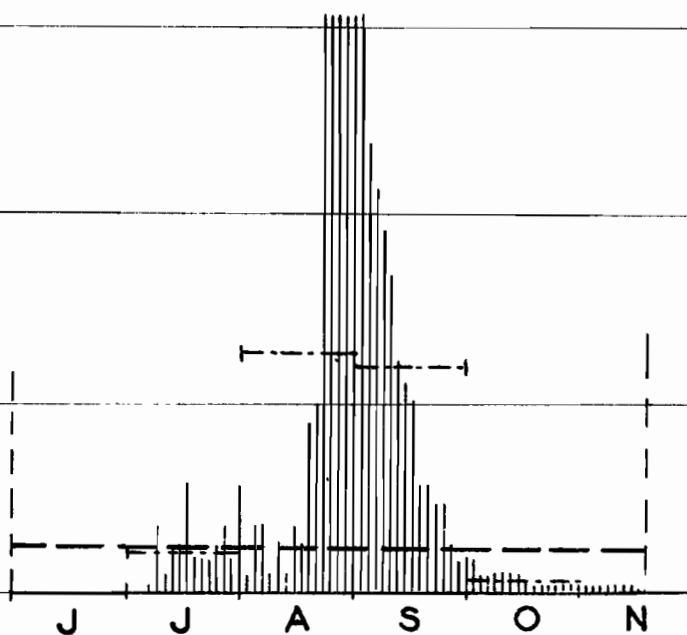
en 1959 - année forte

75 m³/s

50

25

0



L'allure de l'hydrogramme annuel est représentée sur le graphique 34 (année faible : 1960 - année forte : 1959)

La corrélation entre pluies et modules semble mieux assurée que pour le GOROUOL mais les éléments que l'on possède sont beaucoup trop succincts pour qu'il soit possible d'améliorer beaucoup la connaissance du module interannuel. Les pluviométries moyennes annuelles sur le bassin sont de :

530 mm en 1956
550 mm en 1957 (2,48 m³/s)
580 mm en 1958
680 mm en 1959 (5,75 m³/s)

La pluie moyenne interannuelle sur le bassin, calculée d'après les observations disponibles, étant de 525 mm, on peut dire que, là aussi, la valeur du module moyen de 3,93 m³/s estimée d'après la période d'observations hydrologiques est certainement entachée d'une erreur par excès : le vrai module est probablement inférieur à 2,5 m³/s.

Pour les deux années sur lesquelles on connaît à la fois pluies et débits, les coefficients d'écoulement sont les suivants (bassin de 6940 km²) :

1957 : 2,1 % (lame écoulée : 11,4 mm)
1959 : 3,8 % (lame écoulée : 26,2 mm)

Ils sont donc nettement supérieurs à ceux du GOROUOL, mais restent néanmoins très faibles.(1)

3 - La SIRBA à GARBE-KOUROU (période d'observation 1956-1958)

L'année hydrologique se répartit en moyenne entre 6 mois à peine d'écoulement et 6 mois de sécheresse totale (Janvier-Juin). Le tarissement dure de 1 à 2 mois, mais avec des débits beaucoup plus soutenus que le GOROUOL et le DARGOL.

Les débits moyens mensuels observés sont portés dans le tableau 17.

(1) Les modules et les maximums ne sont pas très inférieurs à ceux du GOROUOL malgré un bassin 6 fois plus petit. Ceci ne doit pas nous surprendre, car nous sommes en régime sahélien : le bassin actif du GOROUOL est bien inférieur à 45 000 km² et, comme on vient de le voir, le bassin du DARGOL, plus méridional, est mieux arrosé.

TABLEAU 17

DEBITS MOYENS MENSUELS de la SIRBA à GARBE-KOUROU
(m³/s)

: Année :	J :	F :	M :	A :	M :	J :	J :	A :	S :	O :	N :	D :	Module :
1956	0	0	0	0	0	0,52	15,7	5,0	136	118	30	4,3	30
1957	0	0	0	0	0	9,3	3,2	12,5	17,3	15,5	3,4	0	4,7
1958	0	0	0	0	0	1,8	14,0	51	301	98	26	10,4	42
Moyenne	0	0	0	0	0	3,9	11,0	37,8	151	77	19,8	4,9	25,5

Le maximum de la crue semble se produire normalement dans la première quinzaine de Septembre. Les crues sont moins étalées que pour le GOROUOL et on peut avoir deux pointes principales nettement différenciées. Les crues secondaires sont fréquentes, ce qui donne à l'hydrogramme annuel un aspect plus dentelé. Les valeurs des maximums annuels sont données, ainsi que les débits caractéristiques, dans le tableau 18.

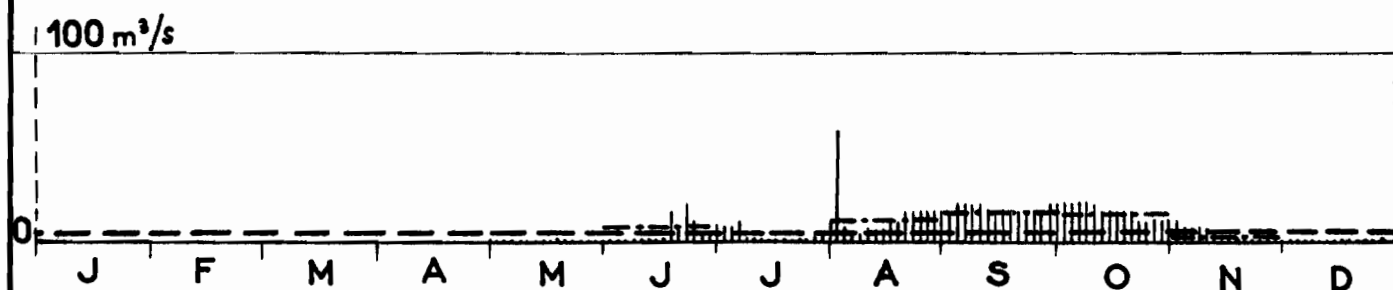
TABLEAU 18

DEBITS CARACTERISTIQUES de la SIRBA à GARBE-KOUROU
(m³/s)

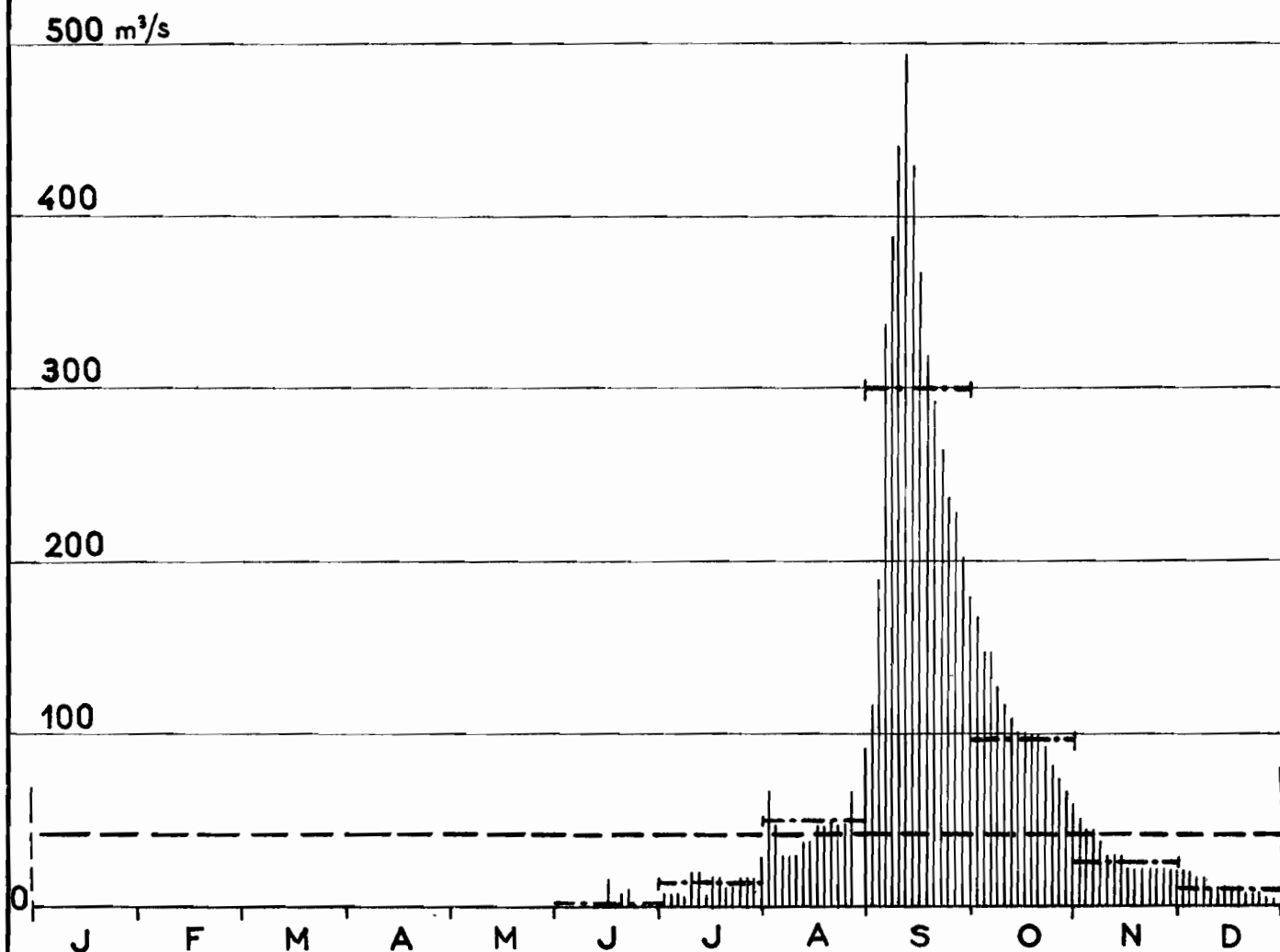
:	:Etiage absolu:	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	Débit
:	:	:	:	:	:	:	:maximal:
1956:	0	0	0	0	50	156	178
1957:	0	0	0	0	7,0	20	20
1958:	0	0	0	3,0	35	361	491

La SIRBA à GARBE-KOUROU

en 1957 - année faible



en 1958 - année forte



L'allure de l'hydrogramme annuel est présentée sur le graphique 35 (année faible : 1957, année forte : 1958).

Pour autant qu'on puisse en juger au vu d'un échantillon de 3 valeurs (!), la corrélation module - hauteur annuelle de précipitation semble assez serrée, ce qui rapprocherait singulièrement le régime de la SIRBA du tropical pur. On trouve en effet comme pluviométries moyennes sur le bassin :

730 mm en 1956 ($30 \text{ m}^3/\text{s}$)
650 mm en 1957 ($4,7 \text{ m}^3/\text{s}$)
860 mm en 1958 ($42 \text{ m}^3/\text{s}$)
790 mm en 1959

Or, la pluviométrie moyenne interannuelle sur le bassin est estimée à 700 mm d'après les observations actuellement disponibles et une estimation du module moyen à une valeur comprise entre 18 et $20 \text{ m}^3/\text{s}$ est probablement meilleure que les $25,5 \text{ m}^3/\text{s}$ calculés d'après les seules observations hydrométriques. Là encore, les observations correspondent à une période abondante et les résultats de ces observations conduisent à une surestimation des valeurs moyennes.

Une pluviométrie de cet ordre place la SIRBA à la limite des bassins sahéliens. De même, compte tenu de la superficie du bassin ($38\,750 \text{ km}^2$) et de son relief très peu accentué, les coefficients d'écoulement rappellent ceux de la lisière nord du régime tropical pur :

1956 : 3,4 % (lame écoulée : 24,5 mm)
1957 : 0,59 % (lame écoulée : 3,8 mm)
1958 : 4,0 % (lame écoulée : 34,2 mm)

4 - Les affluents voltaïques et le régime du NIGER moyen

L'examen des tableaux de débits moyens mensuels et des pluies moyennes annuelles fait apparaître de façon évidente la prédominance de la SIRBA sur les autres affluents voltaïques. On a en effet, durant les années communes d'observations, en arrondissant certains chiffres (m^3/s):

1957	J	A	S	O	N
NIALEY	77	525	1005	1263	1485
GOROUOL	2,8	14,2	16,5	1,7	0,2
DARGOL	2,0	10,7	16,4	0,5	0
SIRBA	3,2	12,5	17,3	15,5	3,4

1958					
NIALEY	348	889	1511	1348	1463
GOROUOL	5,5	27	55	12,4	3,1
DARGOL	-	(30)	29	1,6	0,3
SIRBA	14	51	301	98	26

Cette prédominance se manifeste surtout lorsque l'année est particulièrement abondante, c'est-à-dire lorsque les affluents voltaïques risquent d'avoir quelque influence sur le régime du NIGER à NIALEY. Cette remarque permet d'estimer les apports mensuels de l'ensemble du bassin voltaïque de 1956 (où la SIRBA est seule observée) à 1958. Pour 1956, en l'absence du DARGOL et du GOROUOL, les chiffres donnés sont approximatifs et ont été mis entre parenthèses dans le tableau 19 qui résume les résultats. Toutes les valeurs des débits mensuels qui figurent dans ce tableau sont arrondies au m³/s. Les apports relatifs des affluents sont indiqués en pourcentages des débits mensuels à NIALEY.

Juillet est le premier mois de l'année pour lequel les affluents relèvent de façon assez sensible les débits du NIGER Moyen. En Août et Septembre, leur action est loin d'être négligeable les années de forte hydraulité, puisque les apports locaux peuvent atteindre 25 % du débit à NIALEY (Septembre 1958). En Octobre, la participation est déjà beaucoup plus faible et à partir de Novembre elle devient négligeable. On est loin, alors, d'avoir atteint les plus forts débits à NIALEY qui ne se manifesteront qu'en Janvier ou Février, alors que les affluents voltaïques sont déjà à sec depuis pas mal de temps.

En définitive, l'influence de ces cours d'eau sur le régime du NIGER à NIALEY se résume donc en un renforcement des apports, notamment en Août et Septembre, dépassant rarement 25% sur un mois. Le phénomène se traduit,

TABLEAU 19

COMPARAISON des APPORTS MENSUELS TOTAUX des AFFLUENTS
VOLTAIQUES à CEUX du NIGER à NIAMEY (m³/s)

1956	J	A	S	O	N
NIAMEY	123	456	1063	1262	1396
Affluents	(20)	(70)	(180)	(140)	(35)
Contribution relative des affluents	16 %	15 %	17 %	11 %	2,5 %
1957	J	A	S	O	N
NIAMEY	77	525	1005	1263	1485
Affluents	8	37	50	18	4
Contribution relative des affluents	10 %	7 %	5 %	1,4 %	0,3 %
1958	J	A	S	O	N
NIAMEY	348	889	1511	1348	1463
Affluents	20	108	385	112	29
Contribution relative des affluents	6 %	12 %	25 %	8 %	2 %

comme nous l'avons signalé précédemment, par une "bosse" sur le faisceau des courbes de fréquences mensuelles.

Pour l'ensemble de l'année hydrologique, les apports des affluents voltaïques ont atteint, en pourcentage des apports annuels à NIAMEY :

4 %	environ en	1956
0,8 %	en	1957
4,7 %	en	1958

On comprend aisément que de telles valeurs ne risquent pas de perturber sérieusement la nature des corrélations entre DIRE et NIAMEY à l'échelle de l'année. Il est bon toutefois d'en tenir compte, à titre d'éléments correctifs, pour l'établissement d'un bilan du bief ANSONGO-NIAMEY. Rappelons enfin que la majeure partie de ces apports sont fournis par la SIRBA. Ils expliquent en partie le relèvement de 55 m³/s des modules dans ce bief.

CHAPITRE V

RÉGIME des AFFLUENTS DAHOMEENS

Nous avons déjà signalé que le régime hydrologique des affluents du NIGER varie de façon continue lorsqu'on se déplace du Nord au Sud. Cette évolution, entrevue avec les affluents voltaïques à l'amont de NIAMEY, se poursuit à l'aval avec le GOROUBI, le DIAMANGOUE et le TAPOA. L'étude de ces derniers cours d'eau n'est pas assez avancée pour que l'on puisse préciser davantage leurs caractéristiques : on se contentera de les considérer comme intermédiaires entre la SIRBA et les affluents dahoméens. Ceux-ci comportent 3 bassins principaux, soit, d'amont en aval : le MEKROU, l'ALIBORI et la SOTA.

Sur le MEKROU, on possède jusqu'à ce jour une seule année d'observation (1961), ce qui ne permet pas évidemment d'étudier son régime, mais on peut penser qu'il présente des caractéristiques analogues à celui de l'ALIBORI.

1 - Régime de l'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA

La station citée, seule observée de façon régulière, contrôle une superficie de 8165 km² sur les 13 650 km² que comporte l'ensemble du bassin.

La période de basses eaux est encore très longue mais la durée de sécheresse totale du lit est beaucoup plus courte en moyenne et surtout d'une durée plus irrégulière que sur les cours d'eau sahéliens. Cependant, bien qu'on sache avec certitude que le débit s'annule à peu près tous les ans, les débits de très basses eaux sont trop mal connus pour que l'on puisse se faire une idée nette de la durée des périodes de sécheresse totale : il semble qu'elle puisse varier de quelques jours à deux ou même trois mois.

Les débits moyens mensuels de l'ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA sont portés sur le tableau 20.

Le débit maximal de l'année se produit dans le courant de Septembre ou, exceptionnellement, durant la seconde quinzaine d'Août. Les valeurs atteintes durant la période des observations (1952-60) sont portées sur le tableau 21 où figurent également les débits caractéristiques. La pointe la plus forte, de $553 \text{ m}^3/\text{s}$, observée en 1953, correspond à un débit spécifique de 68 l/s.km^2 . Sans faire une étude poussée de la répartition statistique des crues, étude qui n'apporterait pas grand-chose étant donné la faible amplitude de l'échantillon disponible, on peut dire que cette valeur ne doit pas différer notablement de celle de la crue décennale.

Les modules obtenus durant la période d'observation sont également portés sur le tableau 20. Le module interannuel calculé à partir des seules données hydrométriques ressort à $41,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Les pluviométries moyennes sur le bassin, calculées par planimétrage du réseau d'isohyètes, sont données ci-dessous, en regard des modules correspondants :

Année	Module m^3/s	Pluvio- métrie mm	Année	Module m^3/s	Pluvio- métrie mm
1952	18,6	1080	1957	74	1365
1953	50	1350	1958	5,95	870
1954	35,5	1200	1959	40,7	1160
1955	71	1460	1960	48,9	1210
1956	37,9	1115			

Le coefficient de corrélation entre le module Q_A et la pluie moyenne sur le bassin P_A est de 0,94. Les caractéristiques des variables P_A et Q_A que nous supposons normales, sont :

TABLEAU 20

DEBITS MOYENS MENSUELS de l'ALIBORI à la route KANDI-BANIKOARA
(m³/s)

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1952							3,1	22	105	87	4,9	1	18,6
1953					15,4	21,2	83	125	281	73	6,4	1,1	50,5
1954	0,6	0,2	0,01	0	37,2	7,7	10,4	87	216	60	5	0,7	35,5
1955	0,2	0,3	0	0	0,9	1,6	68	316	266	176	10,9	1,4	71
1956	0,5	0,2	0	0	0	6,4	29	127	187	98	4,7	0,5	37,8
1957	0,4	0,1	0	0	8,1	24,5	30,1	276	407	119	11,9	2,5	73
1958	0,87	0,53	0,25	0,40	1,94	1,68	2,11	7,05	39,6	15,6	0,94	0,44	5,94
1959	0,20	0	0	0	3	6,95	21,0	57	320	77	3,3	0,63	40,7
1960	0,35	0,15	0	0	1,01	8,52	28,2	106	296	134	12,2	0,85	48,9
Moyenne	0,4	0,18	0,03	0,04	7,42	8,71	25,6	125	235	93	4,30	1,01	41,8

TABLEAU 21
DEBITS CARACTERISTIQUES de l'ALIBORI à la
Route KANDI-BANIKOARA
(m³/s)

Année	Etiage absolu	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	Débit maximal
1952	0	0	(0)	1,00	7,46	172	229
1953	0	0	(0)	1,96	61,8	346	553
1954	0	0	(0,35)	3,10	28,5	243	384
1955	0	0	(0,06)	1,18	85	406	462
1956	0	0	(0)	(0,9)	47	229	286
1957	0	0	(0,5)	6,53	52	474	519
1958	0	0	(0,6)	(0,9)	2,72	66	146
1959	0	0	(0)	1,20	16	357	485
1960	0	0	(0)	1,77	41	362	420

Nota : les valeurs du DC9 sont purement indicatives.

$$\begin{aligned} \text{moyenne de } P_A &: \bar{P}_A = 1201 \text{ mm} \\ \text{écart-type de } P_A &: \sqrt{P}_A = 177 \text{ mm} \\ \text{moyenne de } Q_A &: \bar{Q}_A = 42,5 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{écart-type de } Q_A &: \sigma_{Q_A} = 22,0 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

estimées à partir de l'échantillon ci-dessus. L'équation de régression de Q_A en P_A , dans laquelle nous exprimerons Q_A en m^3/s et P_A en mm, peut donc s'écrire :

$$Q_A = 0,117 P_A - 98$$

La courbe correspondante est reportée sur le graphique 36 ainsi que les points représentatifs (Q , P)

La pluviométrie moyenne interannuelle, calculée par planimétrage du réseau d'isohyètes interannuelles établi pour la période 1923-1957, soit 34 ans, est de 1180 mm. L'estimation du module interannuel de l'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA, compte tenu des observations pluviométriques, passe donc à $40 \text{ m}^3/\text{s}$. L'efficacité relative du premier estimateur (valeur $42,5 \text{ m}^3/\text{s}$) par rapport au second (valeur $40 \text{ m}^3/\text{s}$) est égale à 0,368. Il en résulte que l'on peut attribuer à l'estimation $40 \text{ m}^3/\text{s}$ la même confiance qu'à un module moyen interannuel qui aurait été calculé sur environ 25 ans d'observation directe des débits. On retiendra, en définitive, comme caractéristiques statistiques des modules à la station :

$$\begin{aligned} \text{Module moyen} &: 40 \text{ m}^3/\text{s} \\ \text{Ecart-type} &: 22,0 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

L'irrégularité interannuelle peut s'exprimer par le coefficient de variation : $C_V = 0,55$
ou le coefficient $K_3 = 5,8$

Ces valeurs correspondent à un régime très irrégulier.

Les éléments du bilan hydrologique sont rassemblés dans le tableau 22 et représentés sur le graphique 37. Les droites de régression figurant sur ce graphique ont été

TABLEAU 22

M'ALIBORI à la ROUTE KANDI - BANIKOARA (8165 km²)

Bilan hydrologique

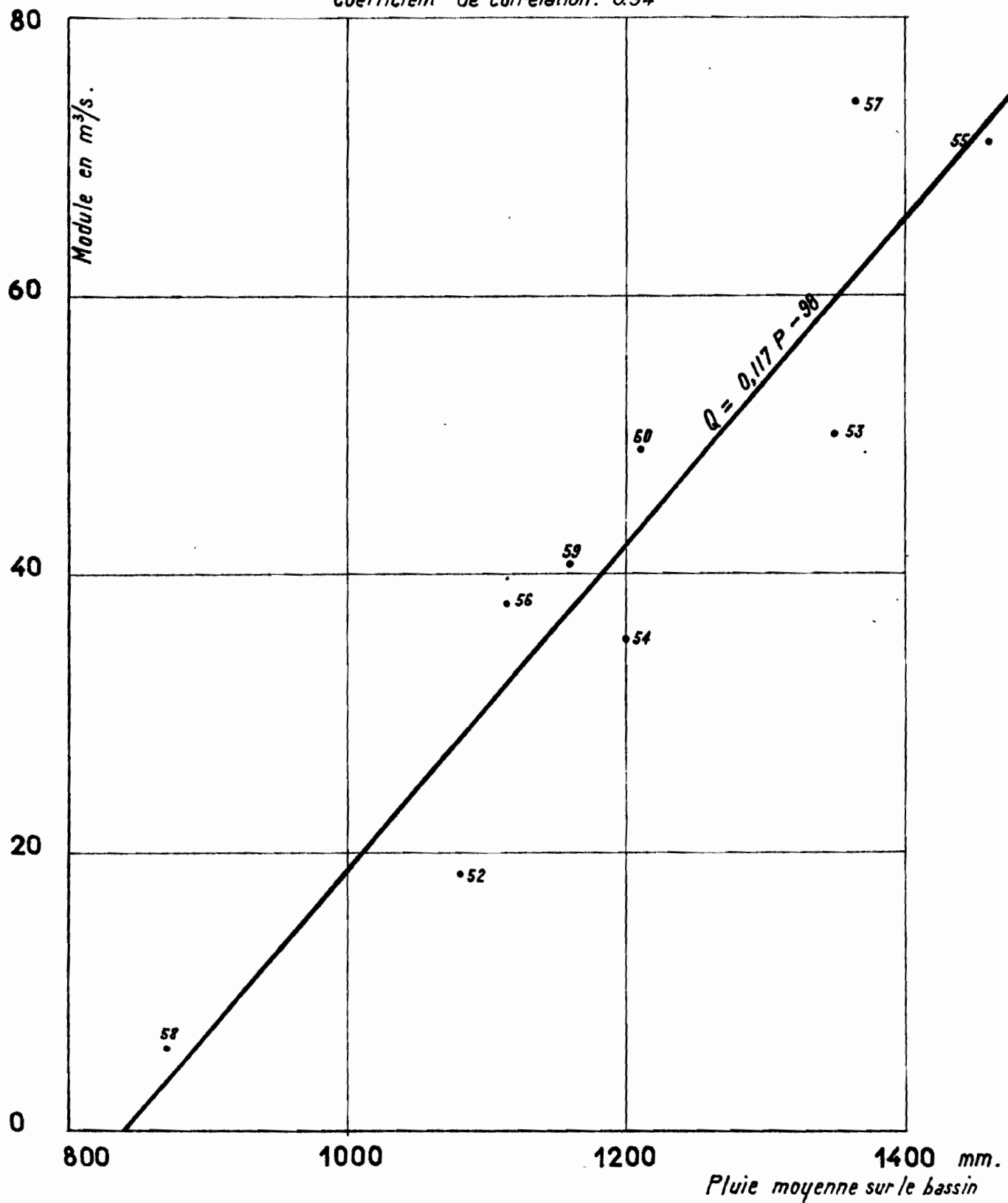
Année	Pluviométrie	Lame d'eau écoulée	Déficit	Coefficient d'écoulement
	mm	mm	mm	%
1952	1080	72	1008	7,2
1953	1350	194	1156	14,4
1954	1200	138	1062	11,5
1955	1460	275	1185	18,8
1956	1115	147	968	13,2
1957	1365	287	1078	21,0
1958	870	23	847	2,6
1959	1160	158	1002	13,6
1960	1210	190	1020	15,7

Déficit interannuel : 1025 mm
Coefficient d'écoulement : 13,1 %
interannuel

ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA

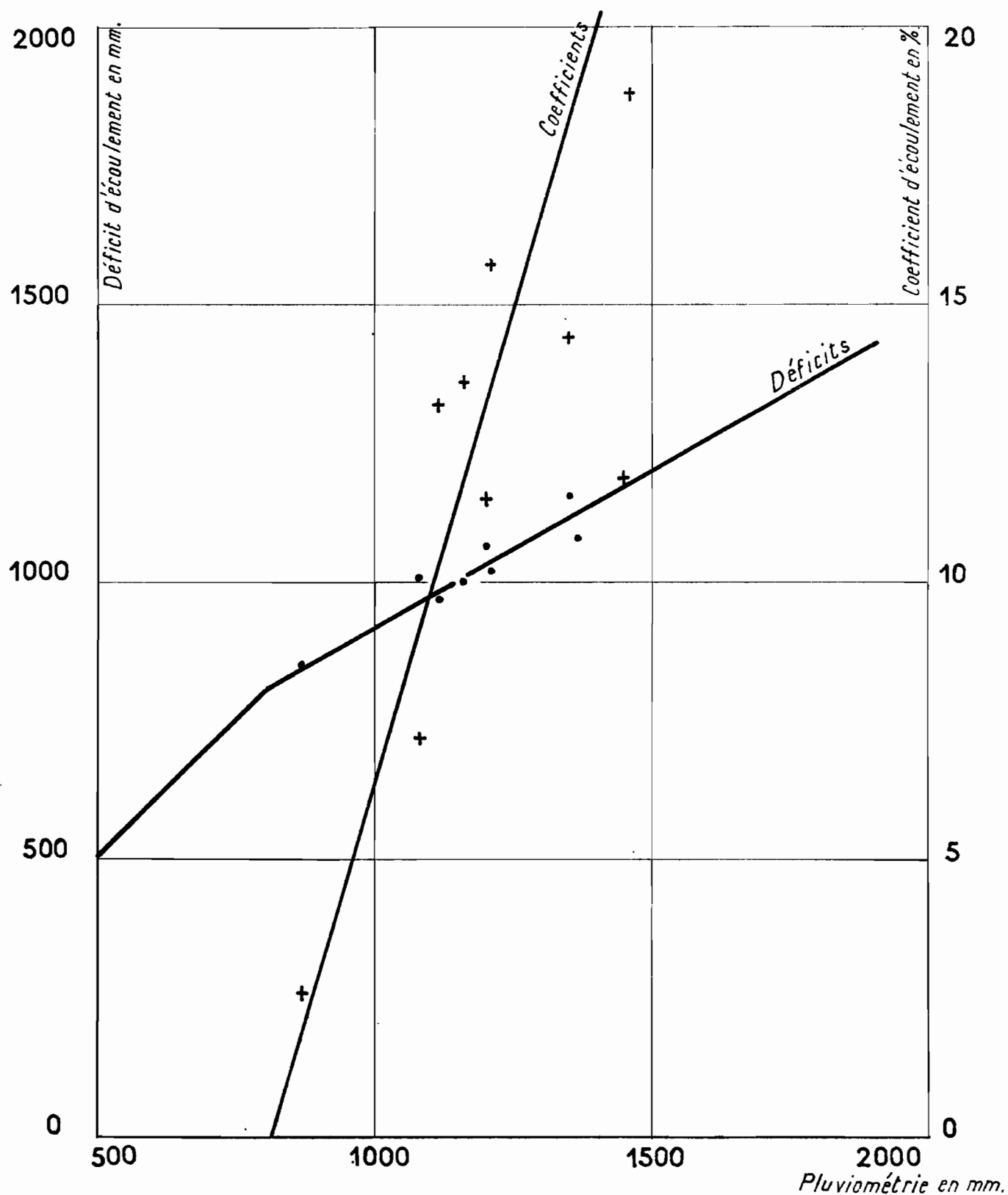
Corrélation Pluies-Modules

Coefficient de corrélation: 0.94



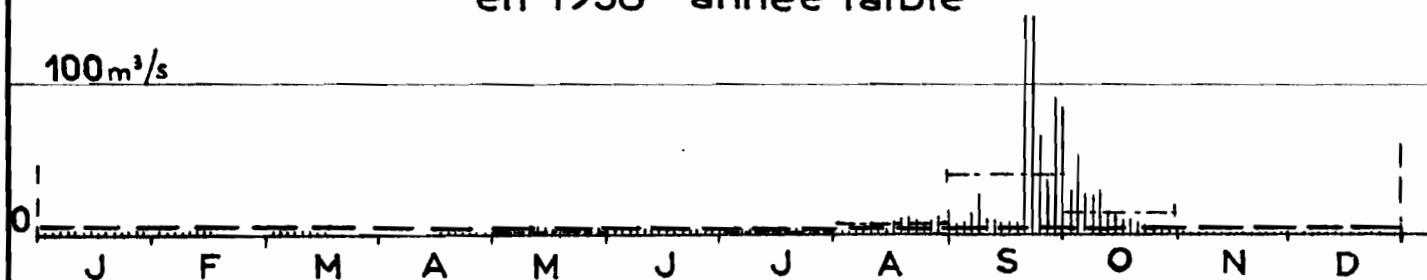
ALIBORI à BANIKOARA

Eléments du bilan hydrologique

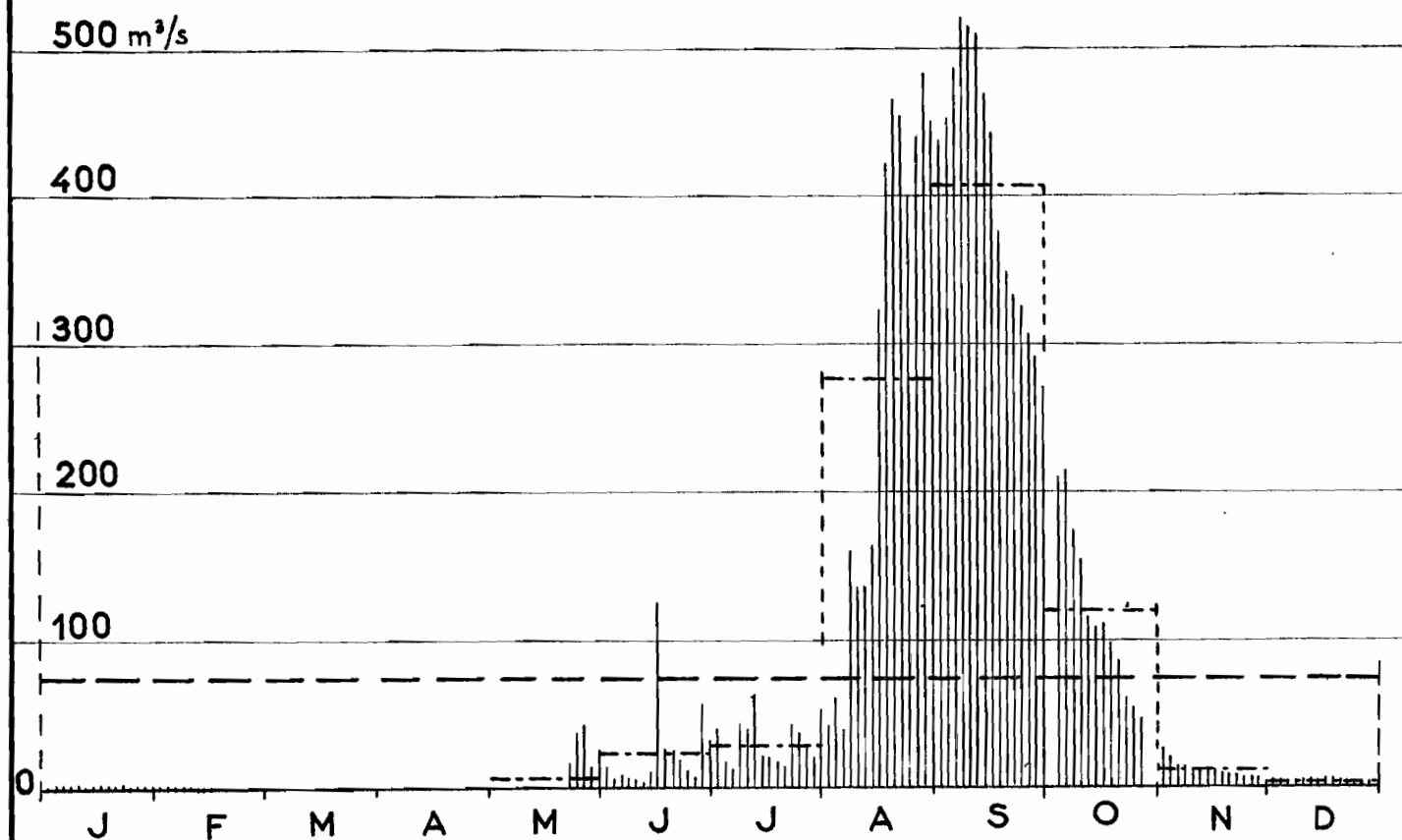


L'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA

en 1958 - année faible



en 1957 - année forte



tracées à l'estime sans le secours d'un ajustement statistique. On voit que le coefficient d'écoulement varie très largement. Si l'on acceptait dans sa totalité l'interprétation présentée sur le graphique 37, le coefficient d'écoulement arriverait même à s'annuler pour une pluviométrie moyenne un peu supérieure à 800 mm : à partir de ce point, le déficit d'écoulement serait constamment égal à la pluviométrie. D'après les caractéristiques statistiques des modules, cette éventualité correspondrait à peu près à 2 écarts-types, c'est-à-dire à une probabilité voisine de 0,0225 : environ 1 fois tous les 45 ans.

Mais toutes les études effectuées jusqu'ici montrent que ceci est impossible, tout au moins en régime tropical pur et pour des bassins de cette dimension. Ceci tient au fait que la normalité n'est pas vraie pour les très faibles modules, dus à des pluies faibles ou rares. Ce point de vue est du reste tout à fait conforme au schéma général concernant la statistique des modules, schéma dans lequel la normalité des modules est une conséquence du théorème central limite appliqué aux crues individuelles observées durant l'année : si le nombre de ces crues devient faible, les conditions requises par le théorème ne sont plus réalisées.

L'allure de l'hydrogramme annuel est présentée sur le graphique 38 (année faible : 1958, année forte : 1957).

2 - Régime de la SOTA à COUBERI

La station contrôle pratiquement la totalité du bassin : 12 020 km² sur les 12 100 km² du bassin total.

L'étiage y est moins sévère que sur l'ALIBORI à la station de la route KANDI-BANIKOARA, sans doute en partie à cause de la superficie plus grande du bassin versant, mais il y a probablement d'autres raisons. Notamment, le débit ne s'annule pas, même après des saisons de pluies particulièrement déficitaires comme ce fut le cas en 1958.

Les débits moyens mensuels sont portés sur le tableau 23.

Comme pour l'ALIBORI, le maximum annuel se produit dans le courant du mois de Septembre, plus rarement en Août. Les valeurs atteintes durant la période d'observation

(1953-1960) sont portées sur le tableau 24 où figurent également les débits caractéristiques. La crue maximale observée, 428 m³/s en 1959, correspond à un débit spécifique de 35,6 l/s.km². Comme pour l'ALIBORI, cette valeur peut être considérée comme représentative de la crue décennale.

Les modules observés de 1953 à 1960 figurent sur le tableau 20. Le module interannuel, calculé à partir des seules observations hydrométriques, est de 48,0 m³/s. Les pluviométries moyennes annuelles sur le bassin sont données ci-dessous en regard du module correspondant.

Module		Pluviométrie		Module		Pluviométrie	
m ³ /s		mm		m ³ /s		mm	
1953	48,7	1385		1957	66,9	1450	
1954	46,0	1230		1958	10,8	900	
1955	78	1385		1959	53,3	1200	
1956	32,4	1075		1960	51	1120	

Le coefficient de corrélation entre le module Q_S et la pluie moyenne sur le bassin P_S , estimé d'après l'échantillon (P_S , Q_S) disponible, est de 0,93. Les caractéristiques des variables P_S et Q_S supposées normales, sont :

$$\text{moyenne de } P_S : \bar{P}_S = 1218 \text{ mm}$$

$$\text{écart-type de } P_S : \sigma_{P_S} = 174 \text{ mm}$$

$$\text{moyenne de } Q_S : \bar{Q}_S = 48,4 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{écart-type de } Q_S : \sigma_{Q_S} = 20,44 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'équation de régression de Q_S en P_S peut s'écrire :

$$Q_S = 0,109 P_S - 84,2$$

TABLEAU 23

DEBITS MOYENS MENSUELS de la SOTA à COUBERI (m^3/s)

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
1953						28,1	37,3	105,1	198,5	109,5	24,1	9,1	48,7
1954	6,6	6,3	5,7	4,8	6,8	15	12	91	273	102	21	8,9	46,0
1955	6,4	6,1	6,0	5,5	8,4	11,4	68	252	273	228	47	(13)	78
1956	11,6	11,5	10,4	7,5	6,7	10,0	17	63	134	91	18	8,1	32,4
1957	6,3	5,7	5,2	5,5	9,3	17	23	192	331	149	42	15	66,9
1958	9,8	8,3	7,7	8,0	7,0	10,2	9,6	13,1	20	22	(8,0)	5,0	10,8
1959	4,8	4,8	4,6	4,4	8,4	5,9	17	68	323	163	25	11	53,3
1960	8,4	7,4	6,7	6,6	7,4	18	38	58	222	188	38	15	51
Moyenne	7,7	7,2	6,6	6,0	7,7	14,5	27,7	105,3	221,8	131,6	27,9	11,3	48,0

TABLEAU 24
DEBITS CARACTERISTIQUES de la SOTA à COUBERI
(m³/s)

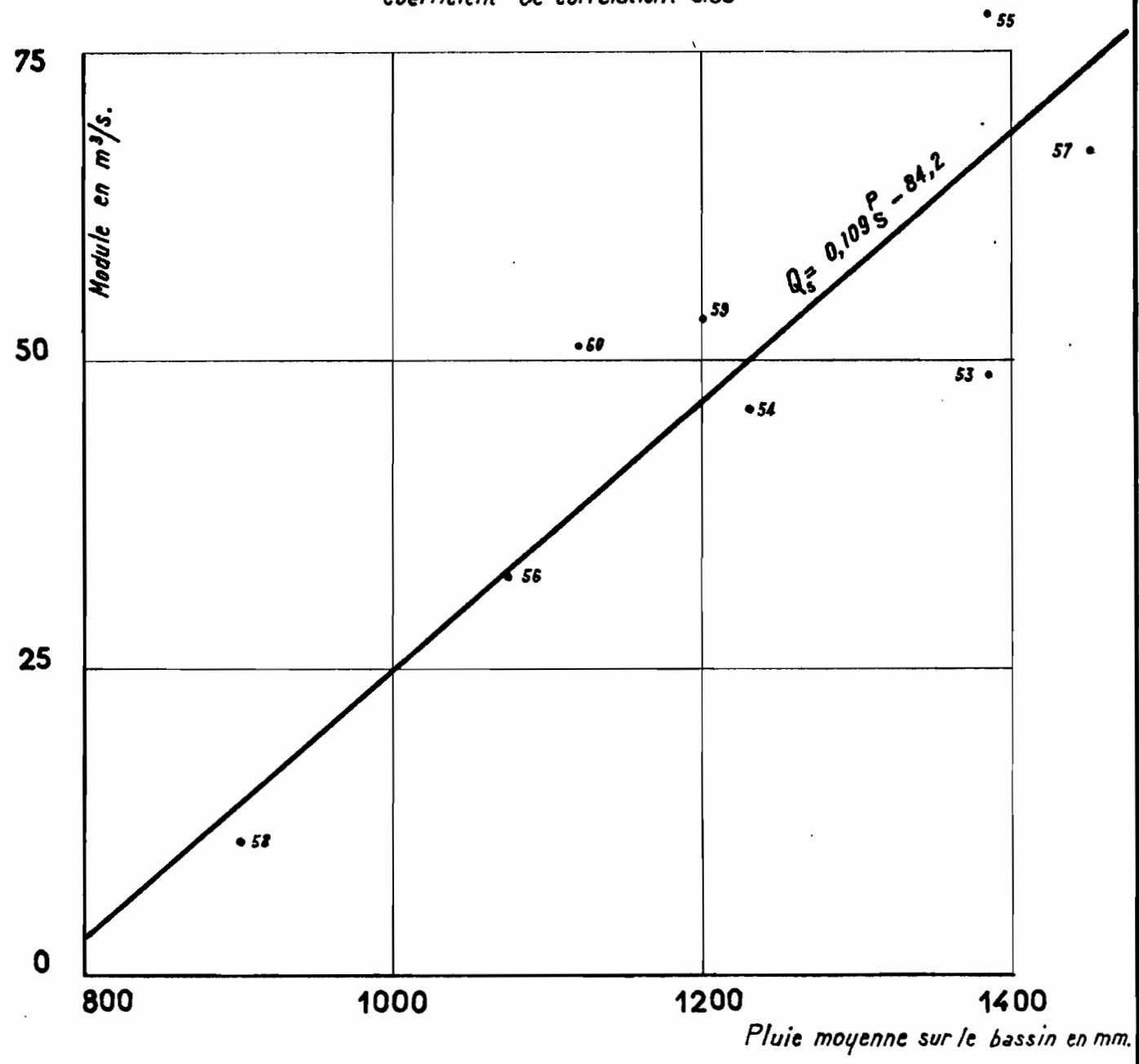
Année	Etiage absolu	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC	Débit maximal
1953	4,5	4,6	6,4	10,2	57	229	319
1954	5,2	5,4	6,1	8,4	31	312	351
1955	6,5	6,6	10,2	(13)	116	336	351
1956	4,9	5,1	5,9	8,6	32	176	274
1957	6,1	6,5	8,2	15	61	351	381
1958	4,1	4,2	4,8	(7)	10,6	31	45
1959	5,9	6,1	7,5	9,8	38	428	428
1960				15	54	301	336

Le DCE et l'étiage absolu se rapportent à la saison sèche suivant la saison des pluies de l'année indiquée.

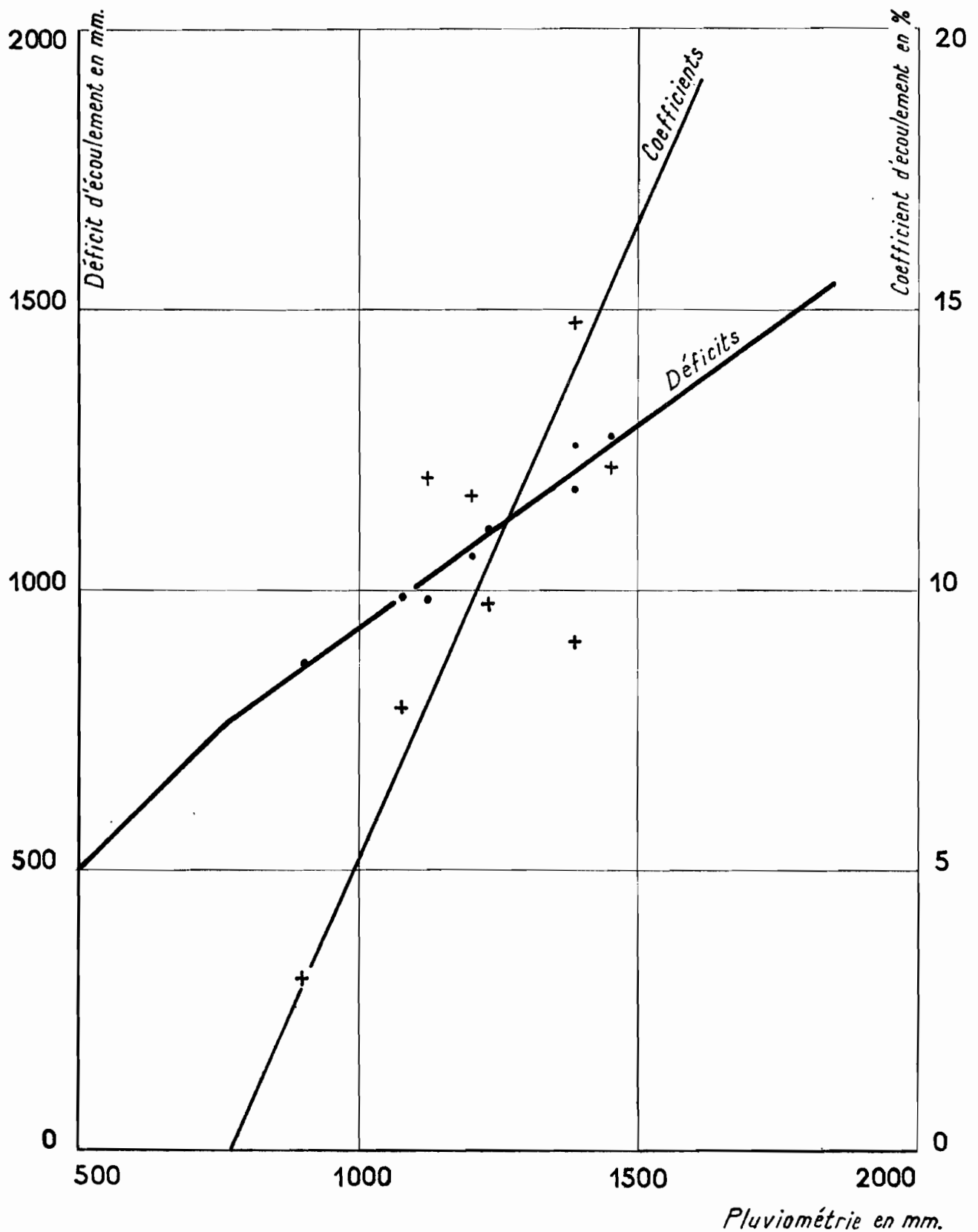
SOTA à COUBERI

Corrélation Pluies-Modules

Coefficient de corrélation: 0.93

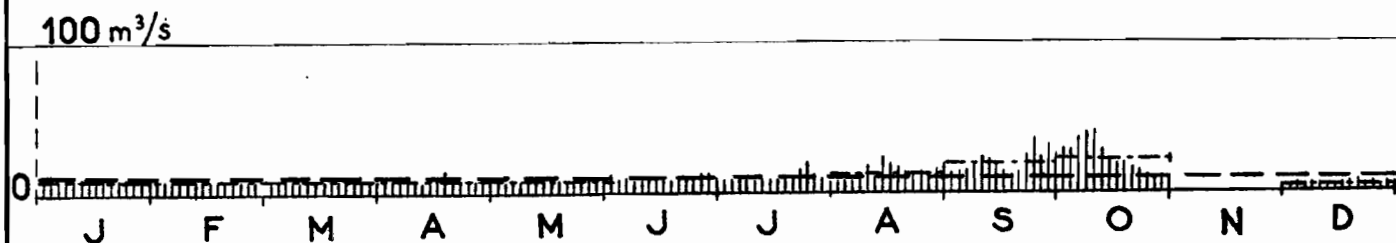


Eléments du bilan hydrologique

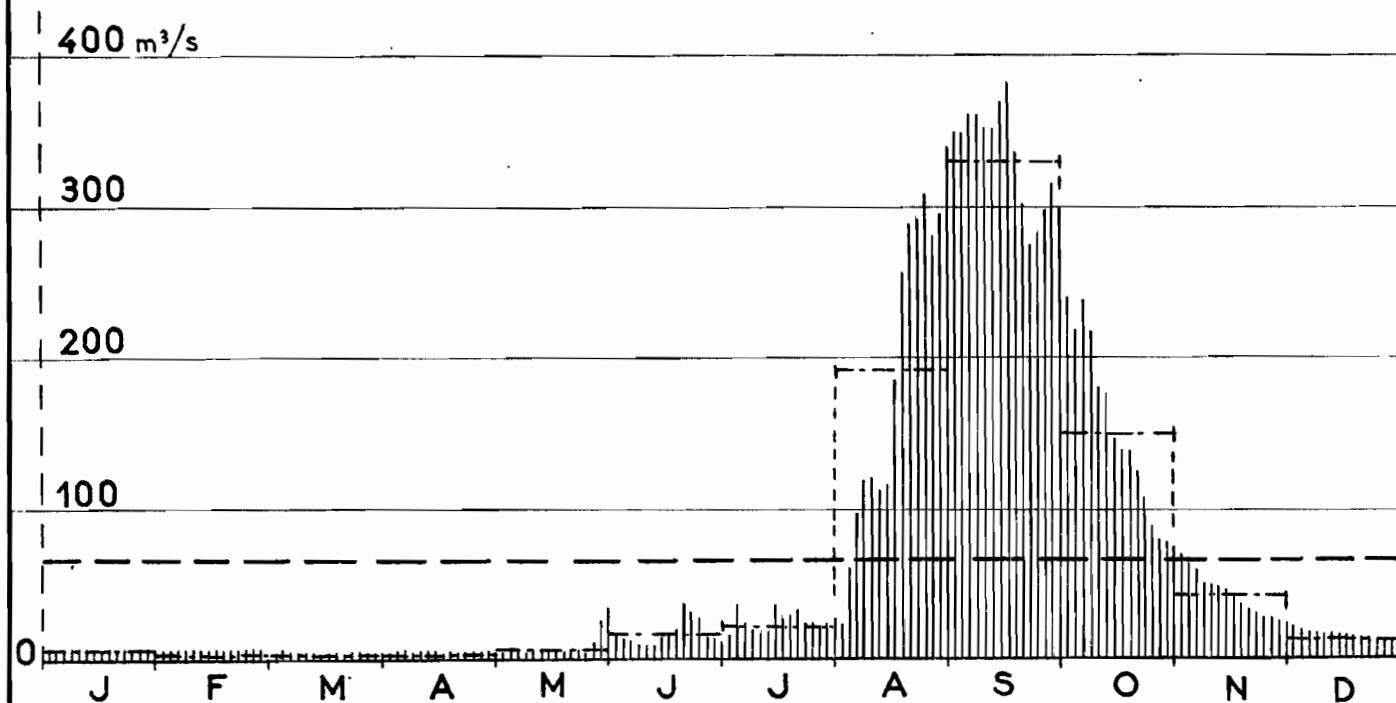


La SOTA à COUBERI

en 1958 - année faible



en 1957 - année forte



dans laquelle Q_S est exprimé en m^3/s et P_S en mm. La droite correspondante est tracée sur le graphique 39.

La pluviométrie interannuelle sur le bassin, calculée sur la période de référence 1923-1957 (34 ans) de la même manière que pour l'ALIBORI, est de 1120 mm. D'où l'estimation du module interannuel de la SOTA à COUBERI, tenant compte des observations pluviométriques : $37,8 m^3/s$. L'efficacité relative de l'estimation basée sur les seuls relevés hydrométriques ($48,4 m^3/s$) par rapport à celle qui tient compte des relevés pluviométriques ($37,8 m^3/s$) est égale à 0,357. L'estimation $37,8 m^3/s$ est donc équivalente à celle que l'on aurait pu faire si l'on avait disposé de $\frac{8}{0,357} \approx 22$ années d'observations directes. On retiendra comme caractéristiques du module de la SOTA :

Module moyen	$37,8 m^3/s$
Ecart-type	$20,4 m^3/s$

L'irrégularité interannuelle peut s'exprimer par :

- le coefficient de variation : $C_V = 0,54$
- le coefficient $K_3 = 5,4$

Les éléments du bilan hydrologique sont rassemblés dans le tableau 25 et représentés sur le graphique 40. Ce graphique donne lieu aux mêmes commentaires que le graphique 37 relatif à l'ALIBORI. Le déficit moyen, calculé à partir des dernières estimations, est de 1020 mm et le coefficient d'écoulement correspondant 8,9 %.

L'allure de l'hydrogramme annuel est présentée sur le graphique 41 (année faible : 1958, année forte : 1957).

3-Comparaison entre l'ALIBORI et la SOTA

Les modules absolus aux deux stations sont présentés dans ce qui suit, année par année (en m^3/s) :

TABLEAU 25

La SOTA à COUBERI (12 020 km²)

BILAN HYDROLOGIQUE

Année	Pluviométrie mm	Longueur d'eau écoulée mm	Déficit mm	Coefficient d'écoulement %
1953	1385	126	1259	9,1
1954	1230	121	1109	9,8
1955	1385	205	1180	14,8
1956	1075	85	990	7,9
1957	1450	176	1274	12,2
1958	900	28	872	3,1
1959	1200	140	1060	11,7
1960	1120	134	986	12,0

Déficit interannuel : 1020 mm

Coefficient d'écoulement interannuel : 8,9 %

	ALIBORI	SOTA		ALIBORI	SOTA
1953:	50	48,7	1957:	74	66,9
1954:	35,5	46,0	1958:	5,94	10,8
1955:	71	78	1959:	40,7	53,3
1956:	37,9	32,4	1960:	48,9	51

Le coefficient de corrélation calculé sur l'échantillon de 8 valeurs est de 0,99. Avec une telle corrélation, les courbes de régression :

$$Q_A = 1,04 Q_S - 4,8 \quad (m^3/s)$$

$$\text{et } Q_S = 0,95 Q_A + 5,2 \quad (m^3/s)$$

sont pratiquement confondues et nous n'en avons tracé qu'une sur le graphique 42.

La valeur du coefficient de corrélation est un test intéressant en ce qui concerne l'homogénéité du régime sur les affluents dahoméens, à tel point qu'on pourrait envisager avec confiance l'étude d'un aménagement, même sur le MEKROU, dont l'étude ne fait que commencer : tout au moins serait-on assuré de ne pas dire d'énormité en ce qui concerne les apports.

Pour la détermination d'un module correspondant à un bassin de surface quelconque, il est plus commode de passer aux valeurs spécifiques qui donnent :

$$\text{Pour l'ALIBORI : } \bar{q}_A = 4,90 \text{ l/s.km}^2$$

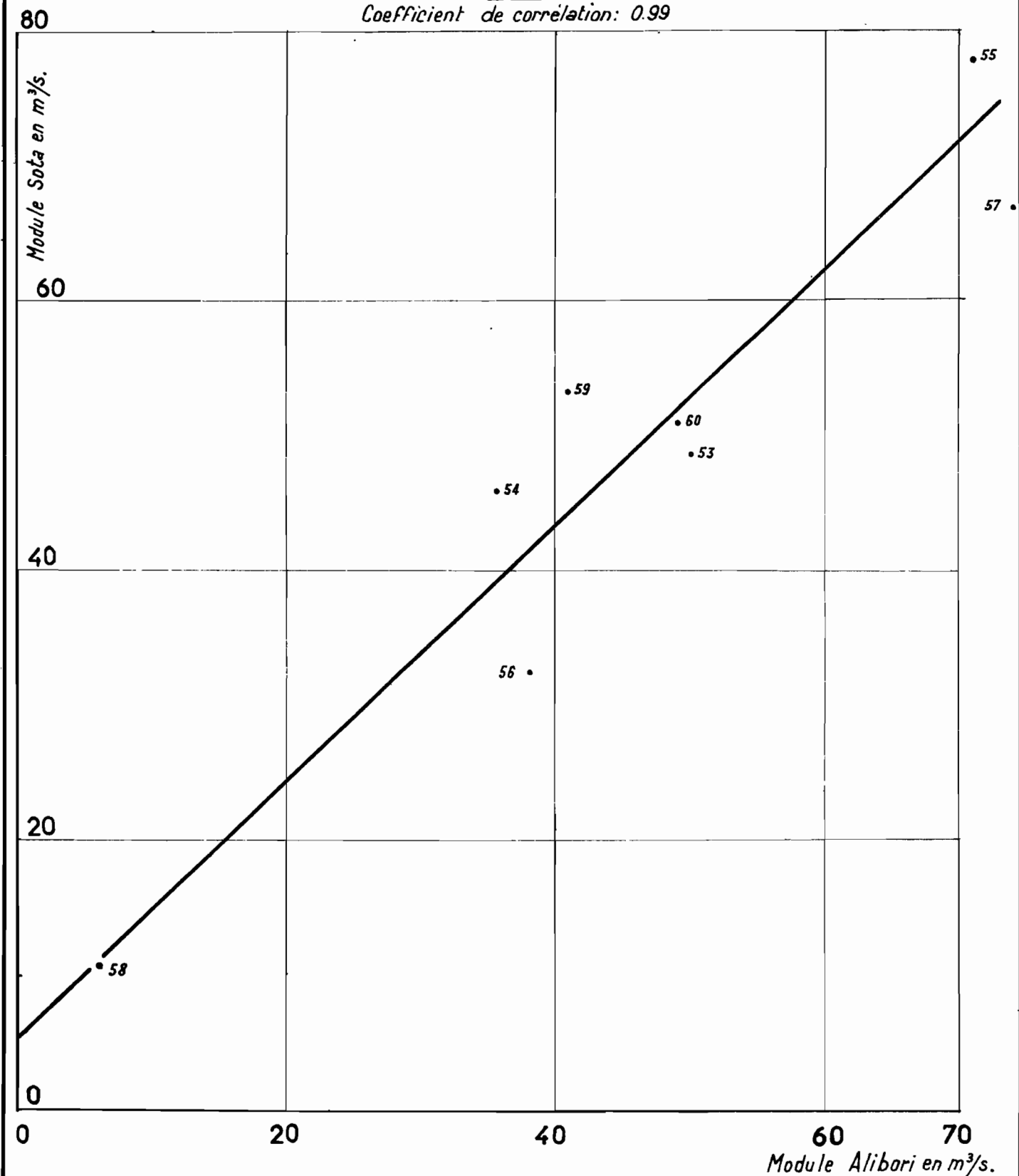
$$\sigma_{\bar{q}_A} = 2,70 \text{ l/s.km}^2$$

$$\text{Pour la SOTA : } \bar{q}_S = 3,56 \text{ l/s.km}^2$$

$$\sigma_{\bar{q}_S} = 2,70 \text{ l/s.km}^2$$

Corrélation entre les modules
de la SOTA et ceux de l'ALIBORI

Coefficient de corrélation: 0.99



On pourra donc adopter un écart-type constant : $2,70 \text{ l/s.km}^2$, quelle que soit la superficie du bassin. Pour le module spécifique moyen, on utilisera la relation :

$$\overline{q}_{\text{l/s.km}^2} = \frac{34 \ 113}{S_{\text{km}^2}} + 0,72$$

Ceci ne vaut que pour les valeurs de S (superficie du bassin) pas trop différentes de celles des bassins étudiés, mettons, pour fixer les idées, entre 5 000 et 13 000 km^2 . Notons enfin que la formule proposée, malgré un nombre imposant de chiffres caractéristiques issus du calcul, n'a aucune prétention de précision : il s'agit d'une évaluation très approximative de \overline{q} . On pourra tout aussi bien la simplifier et prendre :

$$\overline{q} = \frac{34 \ 000}{S} + 0,7$$

C H A P I T R E VI

REGIME du NIGER à MALANVILLE

Alors que l'influence des affluents voltaïques sur le régime du NIGER à NIAMEY pouvait être considérée comme tout à fait secondaire, les affluents dahoméens constituent un élément essentiel du régime à MALANVILLE. On a déjà vu ce qu'il en était lors de l'établissement de la courbe de tarage (Tome I, page 101) : les apports locaux sont suffisants pour modifier sérieusement la pente superficielle du NIGER, créant une forte dispersion des points de mesures et rendant la traduction hauteurs-débits beaucoup moins précise que, par exemple, celle de NIAMEY.

Dans l'ensemble, l'hydrogramme annuel présente une première pointe de crue en Septembre-Octobre, due aux affluents dahoméens et que l'on appelle crue locale ou crue dahoméenne, puis, après une décrue plus ou moins accentuée, une seconde pointe de crue en Février-Mars. L'étude du régime sera donc un peu plus complexe que d'ordinaire, car aux éléments caractéristiques usuels, il faudra en ajouter d'autres tenant compte de cette particularité.

1 - ETUDE des ETIAGES -

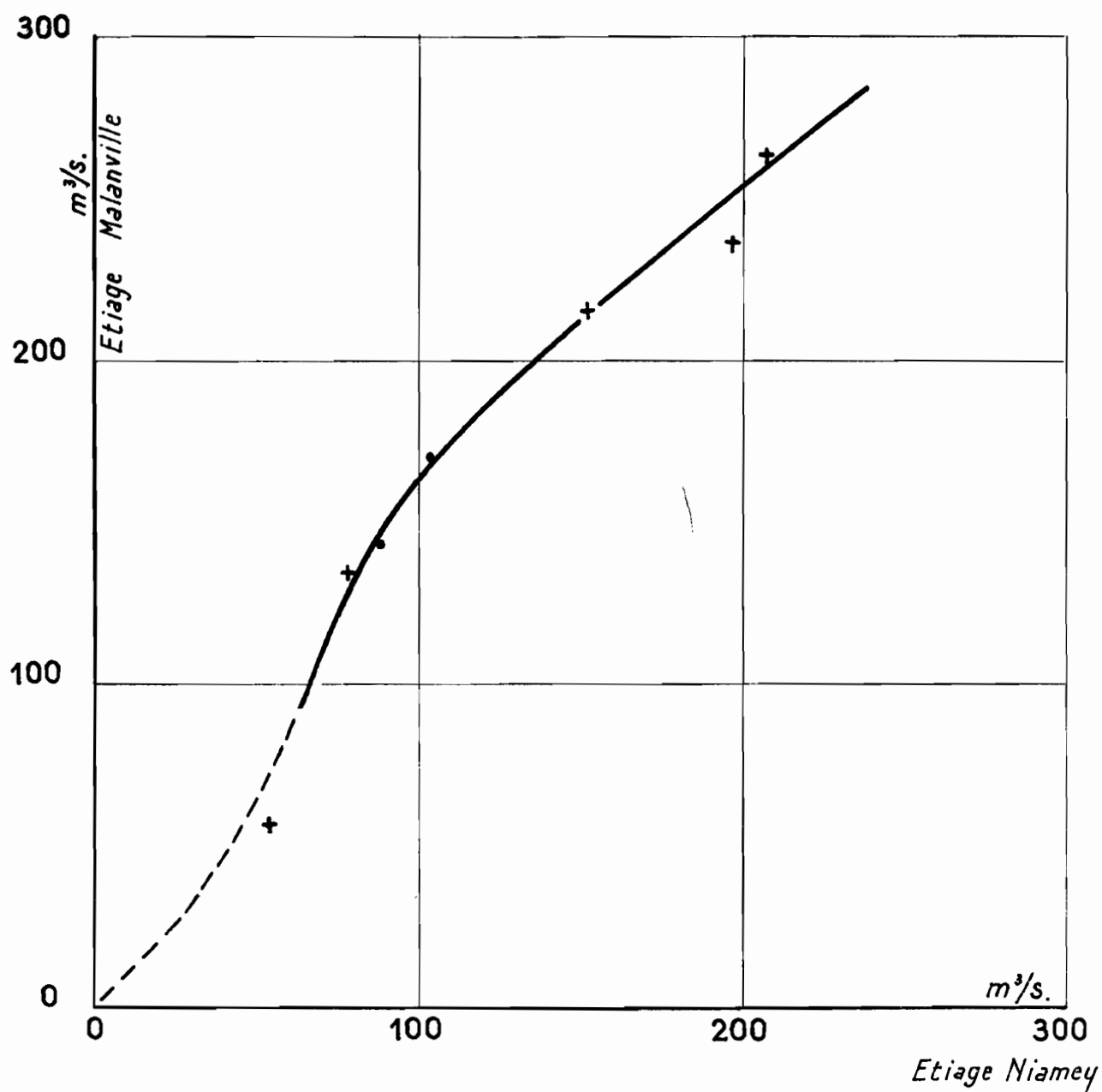
Nous avons reporté sur le tableau 26 les valeurs et les dates des étiages absolus observés à MALANVILLE avec, en regard, les chiffres correspondants pour NIAMEY. En l'absence de tout apport intermédiaire, il serait logique que l'étiage se produise à MALANVILLE toujours après NIAMEY et avec une valeur plus faible. En fait, les débits de l'ALIBORI et de la MEKROU, et peut-être même des autres affluents se déversant à l'aval de NIAMEY, ont une influence certaine sur les étiages de MALANVILLE. C'est à eux que l'on doit, certaines années, des étiages plus précoces qu'à NIAMEY à cette dernière station, la décrue du NIGER se trouvant interrompue bien avant que la crue soudanaise ne soit

TABLEAU 26

ETIAGES ABSOLUS à NIAMEY et à MALANVILLE

Année	NIAMEY		MALANVILLE		Retard de
	Etiage absolu m ³ /s	Date	Etiage absolu m ³ /s	Date	sur MALANVILLE (jours)
1952	78	19/7	134	22-25/7	+ 4,5
1953	103	9-10/7	170	2/7	- 7,5
1954	152	2-4/7	215	6-16/7	+ 8
1955	207	5-7/7	263	9/7	+ 3
1956	88	15-16/7	143	12-13/7	- 3
1957	54	20-21/7	56	29/6	+ 8,5
1958	197	27-28/6	236	28-29/6	+ 1
1959	55	12/7	56	5/7	- 7

Relation entre les étiages absolus
à MALANVILLE et à NIAMEY



amorcée. Du point de vue quantitatif, l'action des apports intermédiaires est compliquée et il est difficile de déterminer avec précision leur contribution à une date quelconque en un point quelconque du bief. Même globalement, nous n'avons pas pu déterminer un paramètre d'écoulement dont la corrélation avec la différence entre les étiages à NIAMEY et à MALANVILLE soit satisfaisante. On peut même se demander si, malgré l'influence indiscutable des affluents, les débits de basses eaux à MALANVILLE ne sont pas surestimés. Le graphique 43 traduit ce qu'on peut dire, avec nos connaissances actuelles de la relation entre les étiages absolus aux deux extrémités du bief. La corrélation, non linéaire, semble très serrée, ce qui est un peu surprenant. Pour le bas de la courbe, il semble que l'on puisse adopter, sous toutes réserves, le tracé en tireté.

2 - ETUDE des CRUES -

L'ensemble des crues observées à MALANVILLE est porté sur le tableau 27. Dans l'étude des crues, il est indispensable de considérer séparément la partie qui est due au NIGER lui-même (nous l'appellerons crue soudanaise) et la partie provenant des affluents dahoméens (crue dahoméenne). Ces deux types de crues sont indiqués séparément sur le tableau. En outre, nous avons indiqué les crues à NIAMEY, dont découlent les crues soudanaises, et les crues de l'ALIBORI qui constituent un des principaux éléments des crues dahoméennes.

La crue soudanaise se produit en Février-Mars elle est très étalée. La crue dahoméenne est beaucoup plus pointue et parvient à MALANVILLE en Septembre, généralement au cours de la seconde quinzaine de ce mois, plus rarement en Octobre. La date indiquée pour la crue dahoméenne se rapporte donc à la première partie de l'année hydrologique portée dans la première colonne, tandis que la date de la crue soudanaise se rapporte à la seconde partie de cette année. Pour l'année hydrologique 1952-53 par exemple, la pointe de la crue dahoméenne s'est produite du 10 au 13 Octobre 1952 et celle de la crue soudanaise du 22 Février au 12 Mars 1953.

Le maximum de la crue soudanaise est totalement indépendant des apports dahoméens puisque, à la date à laquelle il se produit, les affluents provenant du DAHOMEY sont en décrue depuis plusieurs mois et que leurs débits,

TABEAU 27

CRUES A MALANVILLE EN REGARD
DE CELLES DE NIAMEY ET DE L'ALIBORI

Année hydrolo- gique	NIAMEY		ALIBORI		MALANVILLE			
	Q m ³ /s	Date	Q m ³ /s	Date	Crue dahoméenne Q m ³ /s	Date	Crue soudanaise Q m ³ /s	Date
1952-53	1968	14-18/2	229	9/9	2180	10-13/10	2218	22/2-12/3
1953-54	2040	18/2	553	4/9	2120	20/9	2330	18/2-3/3
1954-55	2088	22-23/2	384	9/9	1970	14/9	2360	16/2-20/3
1955-56	2152	14-24/2	462	23/8	2684	29/9	2512	25/2-5/3
1956-57	1735	1-2/2	286	19/9	1736	24-25/9	1907	12-15/2
1957-58	2056	26-28/2	519	8-9/9	1979	17/9	2260	10/3
1958-59	1893	17-20/2	146	21/9	1720	21-24/9	2060	28/2-7/3
1959-60	1855	28/1-3/2	485	19/9	2828	23-25/9	1988	5-28/2

s'ils coulent encore, tendent vers l'étiage. Il en résulte une excellente corrélation entre les maximums à MALANVILLE et à NIAMEY (graphique 44). Ce graphique est loin, toutefois, de donner satisfaction et l'on ne s'explique pas pourquoi les débits maximaux à MALANVILLE apparaissent plus forts qu'à NIAMEY, alors qu'on devrait logiquement observer le phénomène contraire, par suite de l'amortissement de l'onde de crue : c'est là un point qui restera à éclaircir.

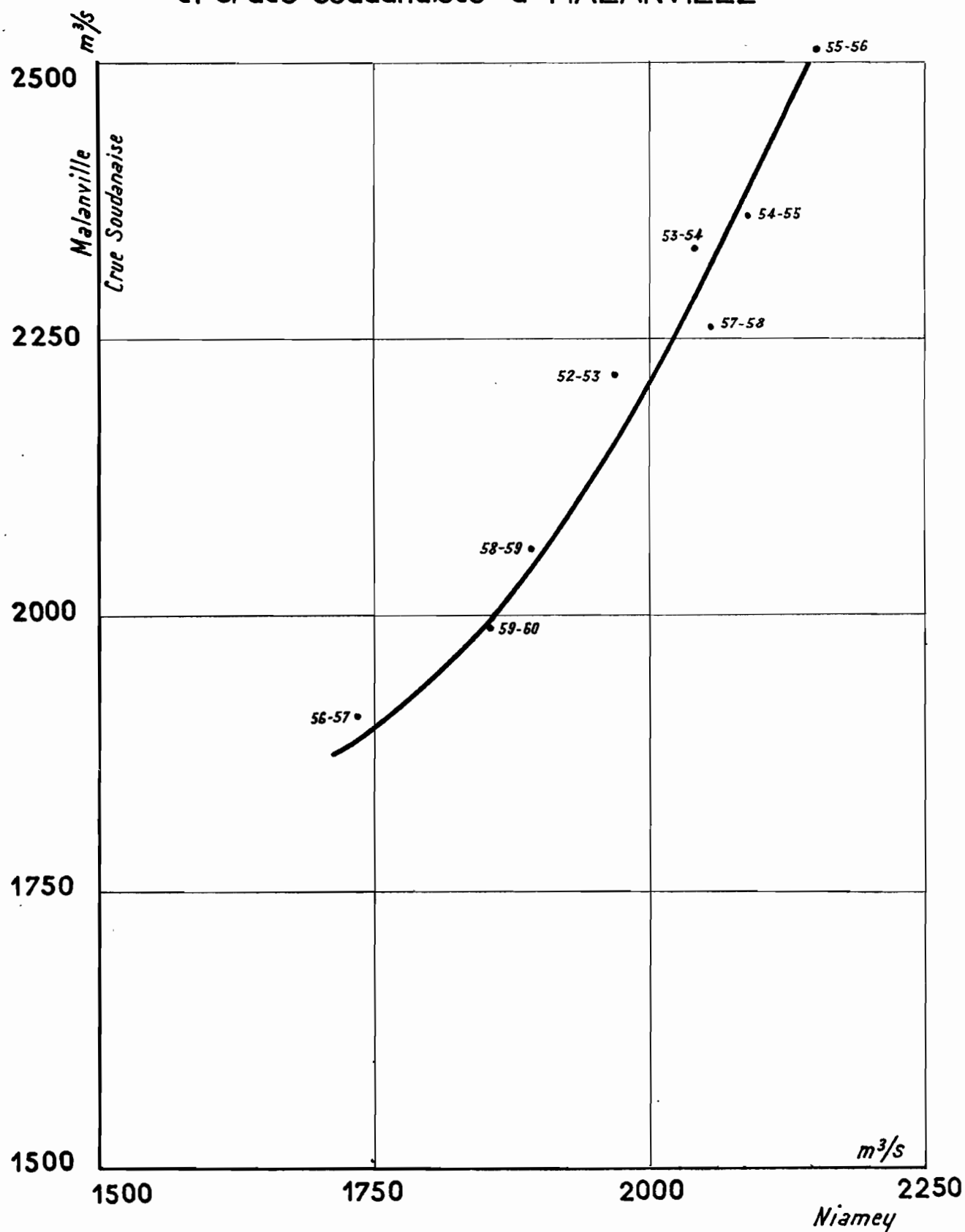
Si l'on compare les crues dahoméennes du NIGER aux maximums de NIAMEY qui correspondent à la même saison des pluies mais qui arrivent décalées de 6 mois (graphique 45), la corrélation apparaît très lâche. Il n'y a pas cependant indépendance totale puisque les débits à NIAMEY sont loin d'être négligeables devant le maximum dahoméen au moment où ce dernier se produit. Le point relatif à 1959-60 doit être considéré comme aberrant, comme nous le verrons par la suite.

Pour lier la crue dahoméenne aux caractéristiques des affluents qui lui donnent naissance, nous avons construit deux indices : l'un est formé par le débit maximal observé sur l'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA, l'autre par le module à cette station. Mais avant de mettre en parallèle ces indices avec les maximums dahoméens obtenus à MALANVILLE, il convient de déduire de ces derniers les débits observés à NIAMEY le jour de passage du maximum à MALANVILLE. On néglige ainsi la durée de propagation de la crue, qui est du reste mal connue et probablement assez courte, mais cela ne présente pas un grave inconvénient. Nous obtenons alors le tableau suivant :

=====			
'	'Crue dahoméenne'	'Indice de la crue'	'Indice du module'
'Année'	tronquée	'de l'ALIBORI	'de l'ALIBORI
'	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
'-----'	-----	-----	-----
'1952'	625	' 229	' 18,6
'1953'	690	' 553	' 50,-
'1954'	800	' 384	' 35,5
'1955'	1358	' 462	' 71
'1956'	636	' 286	' 37,9
'1957'	948	' 519	' 74
'1958'	280	' 146	' 5,95
'1959'	1590	' 485	' 40,7
'	'	'	'
=====			

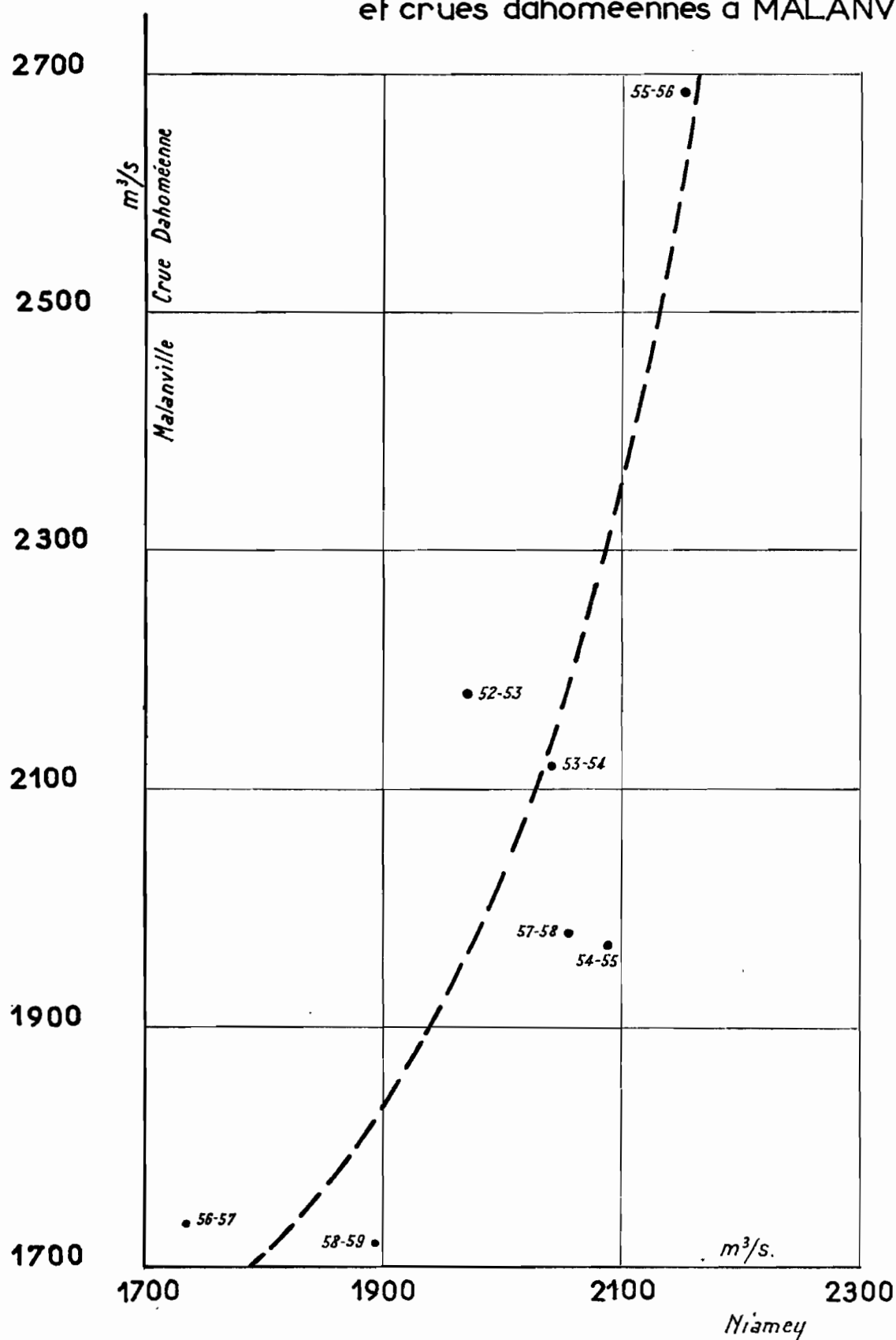
Crues à NIAMEY

et crues soudanaises à MALANVILLE



59-60 •

Crues à NIAMEY
et crues dahoméennes à MALANVILLE



Ce tableau permet d'établir les graphiques 46 et 47. Tous les deux mettent en évidence l'aberrance probable du maximum observé en 1959. On sait les difficultés que présente l'étalonnage de la station de MALANVILLE durant la propagation de la crue dahoméenne. Lors de la crue 1959 (Septembre), aucune mesure n'a été effectuée et on peut craindre une fausse interprétation des relevés limnimétriques. Cependant, comme il est d'usage en de tels cas, lorsque l'échantillon est trop petit pour fournir la preuve certaine que le chiffre est faux, nous le conserverons par mesure de prudence, lors de l'embryon d'étude statistique présenté par la suite. Ce point mis à part, la corrélation semble plus satisfaisante avec l'indice basé sur les modules qu'avec l'indice basé sur les crues (1) : en effet, la crue dahoméenne, telle qu'elle se présente à MALANVILLE, intègre une bonne partie des apports dahoméens dont les crues ne sont que des constituants fugitifs.

Du premier coup d'oeil, les crues dahoméennes apparaissent comme plus dispersées que les crues soudanaises. En adoptant l'écart-type pour caractériser cette dispersion, on trouve :

Crue soudanaise :

moyenne	:	2204 m ³ /s
écart-type	:	205 m ³ /s
C _v	:	0,093

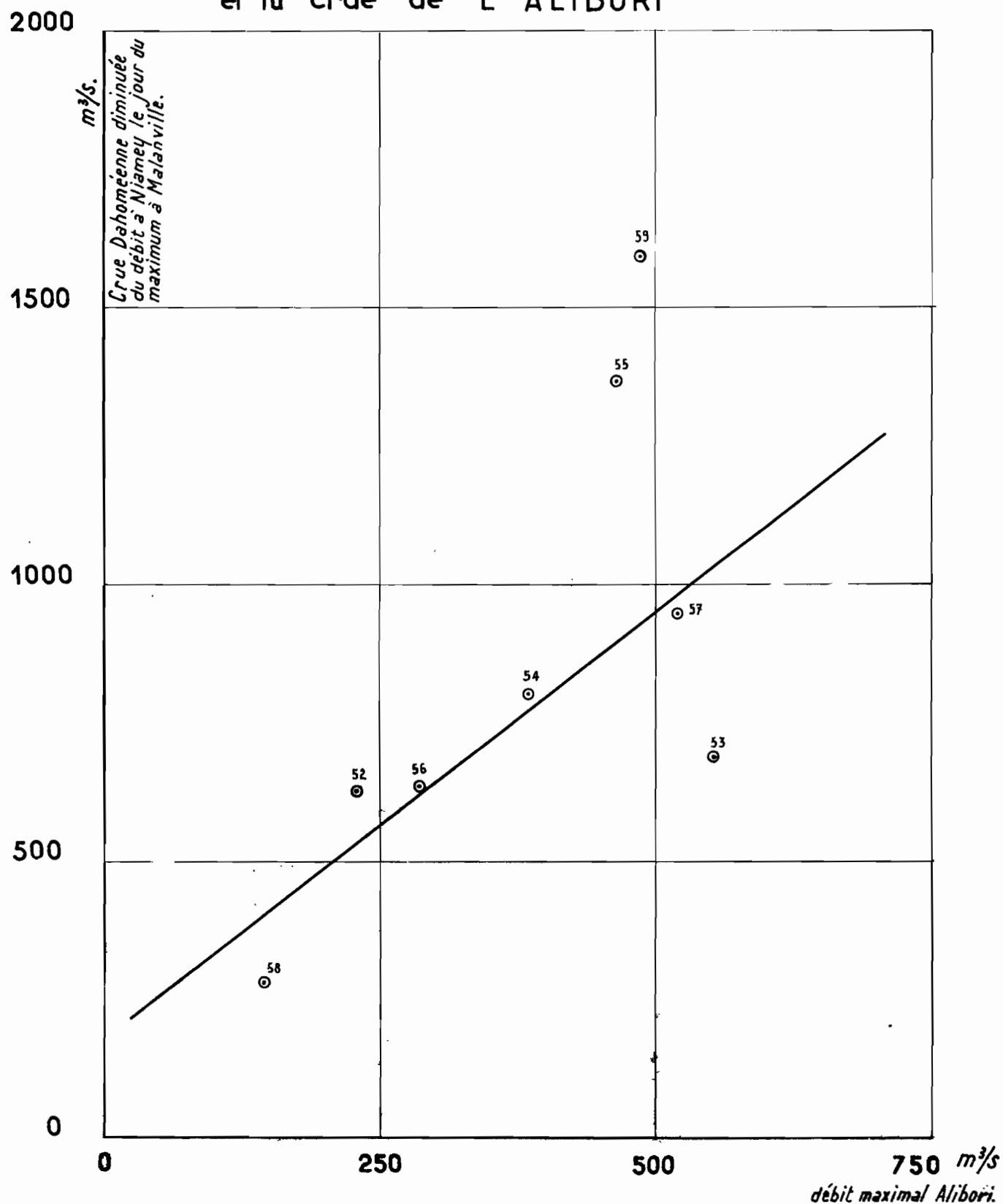
Crue dahoméenne :

moyenne	:	2152 m ³ /s
écart-type	:	408 m ³ /s
C _v	:	0,19

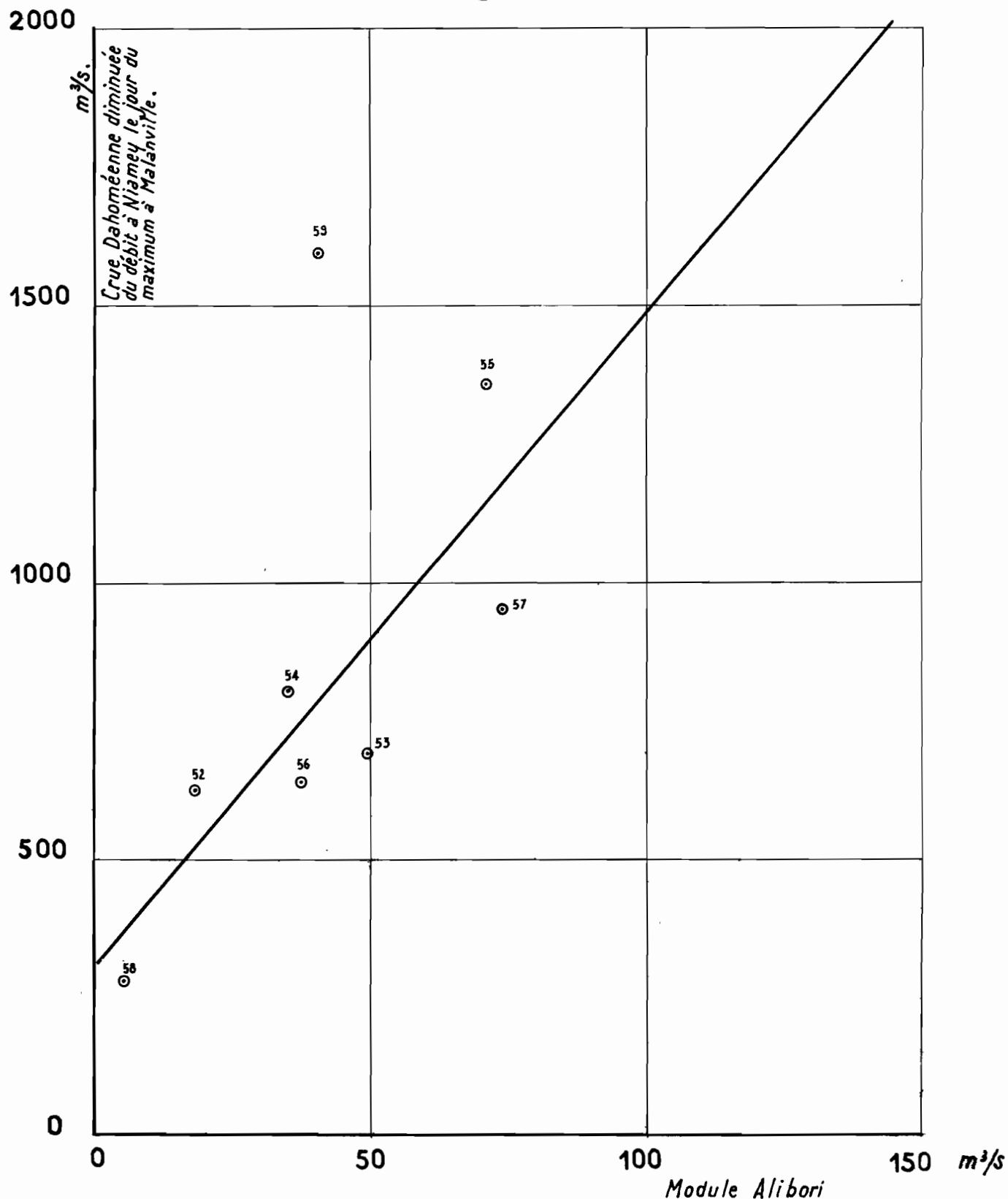
Ces chiffres précisent des caractéristiques qui pouvaient être prévues à priori : il est tout à fait normal qu'au grand fleuve comme le NIGER, surtout après la traversée de la zone lacustre et le long parcours qui lui est imposé ensuite, ait des crues beaucoup plus régulières que

(1) calculer les coefficients de corrélation dans ce cas serait peu utile, car on pourrait difficilement leur attribuer une signification.

Relation entre la crue dahoméenne à MALANVILLE et la crue de L'ALIBORI

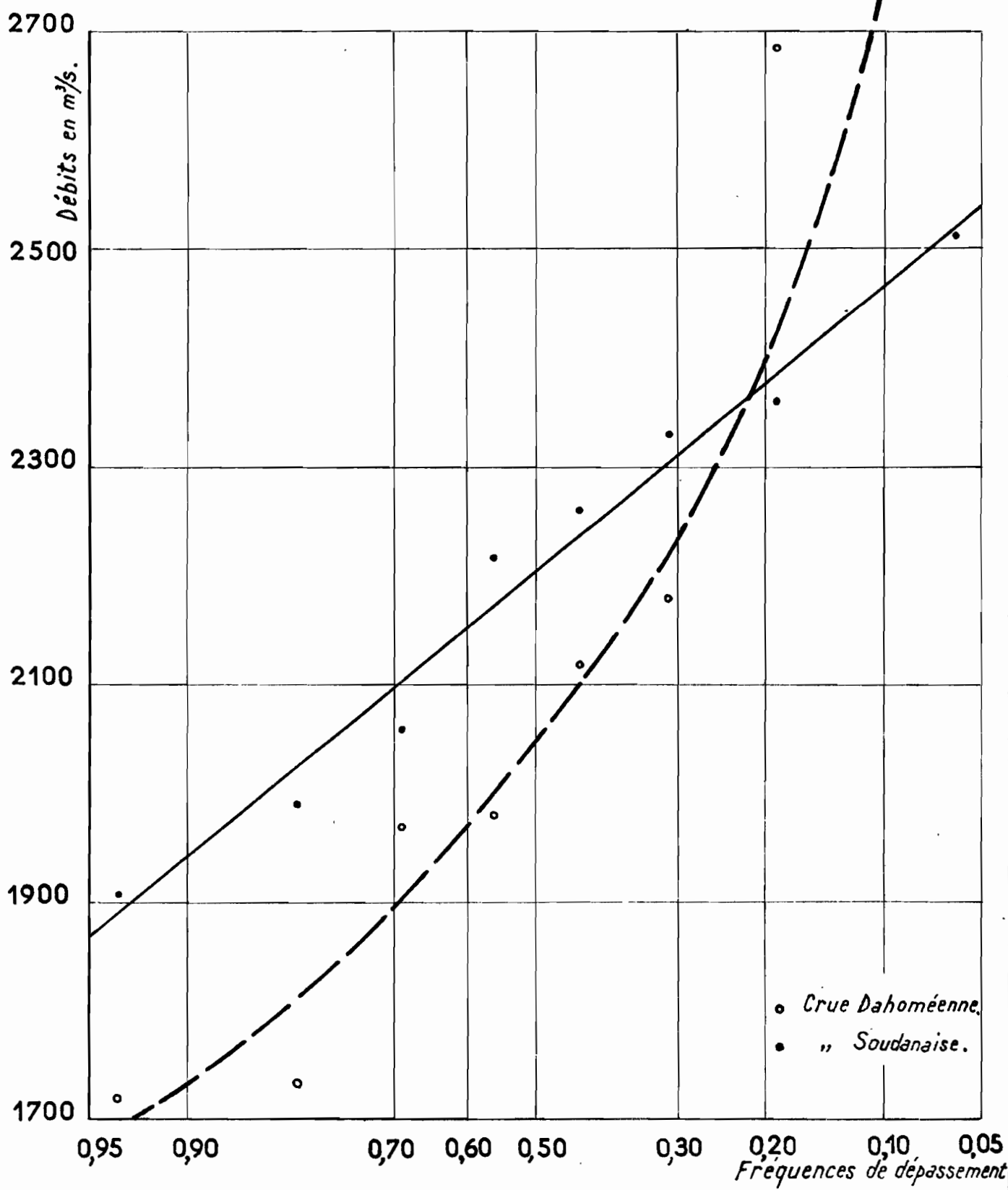


Relation entre la crue dahoméenne à MALANVILLE et le module de L'ALIBORI



Gr_48 .

Répartition statistique des crues à MALANVILLE



ORSTOM

A0

DATE :

DESSINÉ :

celles provenant d'un bassin tropical de quelques dizaines de milliers de km². Le coefficient de variation réel représentant l'ensemble du bassin dahoméen est du reste plus élevé que la valeur 0,19 donnée ci-dessus : ce dernier chiffre s'applique en partie à des débits soudanais plus réguliers puisque, ici, les crues n'ont pas été diminuées de ces débits avant d'effectuer le calcul.

Si l'on classe séparément, par ordre décroissant, crues soudanaises et crues dahoméennes, en leur attribuant suivant le rang de classement n une fréquence $\frac{n - \frac{1}{2}}{N}$,

on obtient la répartition statistique représentée sur le graphique 48. Les crues soudanaises se répartissent à peu près suivant une loi normale (trait continu), tandis que la répartition des crues dahoméennes est nettement dissymétrique (trait interrompu) ; elle le serait même sans tenir compte du point douteux de 1959. Nous donnons ces courbes à titre indicatif : l'échantillon est bien trop petit pour que l'on puisse en tirer des valeurs pratiques concernant les crues de faible probabilité. Cependant l'examen de l'hydraulicité de la période d'observation montre que le maximum de 1959, 2828 m³/s, est presque certainement supérieur à la crue décennale. On peut donc admettre le chiffre de 2600 m³/s pour la fréquence décennale.

3 - DEBITS MOYENS MENSUELS et DEBITS CARACTERISTIQUES

Ces débits sont présentés sur les tableaux 28 et 29.

4 - ETUDE des MODULES

Les modules du NIGER à MALANVILLE figurent également sur le tableau 28. Entre NIAMEY et cette station interviennent les apports dahoméens qui ne sont nullement en corrélation avec ceux du NIGER et il faut s'attendre à ce que la corrélation entre MALANVILLE et NIAMEY ne soit pas aussi bonne que pour les couples de stations déjà étudiés. On pourrait certes l'améliorer en tenant compte des affluents dahoméens : une estimation des modules concernant l'ensemble des bassins locaux est donnée au chapitre suivant, mais cela ne serait d'aucune utilité pour essayer d'étendre la période des données d'observations directes à une période plus longue, puisque ces affluents ne sont pas observés depuis plus longtemps que la station de MALANVILLE.

Nous appellerons X le module à NIAMEY et Y le module à MALANVILLE pour une année quelconque. $k = 8$ est le nombre d'années d'observations à MALANVILLE. On a :

TABLEAU 28

NIGER à MALANVILLE

Débits moyens mensuels (m³/s)

: Année :	J :	A :	S :	O :	N :	D :	J :	F :	M :	A :	M :	J :	Module :
: 1952-53 :	160 :	446 :	1475 :	1958 :	1579 :	1674 :	1941 :	2167 :	2138 :	1549 :	678 :	332 :	1336 :
: 1953-54 :	293 :	1032 :	1934 :	1831 :	1636 :	1760 :	2041 :	2285 :	2188 :	1560 :	674 :	314 :	1457 :
: 1954-55 :	308 :	1020 :	1789 :	1551 :	1502 :	1679 :	2014 :	2315 :	2334 :	1969 :	1100 :	460 :	1498 :
: 1955-56 :	411 :	1357 :	1923 :	2186 :	1687 :	1780 :	2114 :	2423 :	2325 :	1762 :	789 :	312 :	1586 :
: 1956-57 :	199 :	685 :	1434 :	1530 :	1406 :	1569 :	1770 :	1863 :	1505 :	735 :	268 :	142 :	1088 :
: 1957-58 :	105 :	933 :	1837 :	1598 :	1456 :	1584 :	1867 :	2144 :	2197 :	1770 :	880 :	346 :	1387 :
: 1958-59 :	340 :	902 :	1477 :	1429 :	1378 :	1553 :	1872 :	2005 :	(1954) :	(1330) :	540 :	(159) :	1240 :
: 1959-60 :	115 :	791 :	2259 :	1706 :	1390 :	1594 :	1813 :	1982 :	1632 :	766 :	246 :	78 :	1194 :
: Moyennes :	241 :	896 :	1766 :	1724 :	1504 :	1649 :	1929 :	2148 :	2034 :	1430 :	647 :	268 :	1348 :

TABLEAU 29

NIGER à MILLANVILLE

Débits caractéristiques (m³/s)

Année	DCE	DC11	DC9	DC6	DC3	DC1	DCC
1952-53	215	272	529	1605	1940	2180	2218
1953-54	215	272	919	1665	2033	2260	2330
1954-55	296	365	996	1600	2000	2360	2360
1955-56	176	224	1068	1720	2151	2480	2516
1956-57	86	116	404	1400	1650	1808	1896
1957-58	260	314	811	1657	1907	2190	2232
1958-59	77	122	683	1380	1740	2000	2048
1959-60	65		350	1466	1792	1988	2564

$$\bar{X}_k = 1177 \text{ m}^3/\text{s}$$

$${}_k\sigma_X = 127 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\bar{Y}_k = 1348 \text{ m}^3/\text{s}$$

$${}_k\sigma_Y = 167 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k^r_{XY} = 0,935$$

d'où l'équation de régression : $Y = 1,23 X - 99$, représentée sur le graphique 49 sur lequel sont portés également les points représentatifs de X et de Y.

Or, nous avons vu (chapitre III, p.35) que le module à NIAFFEY, rapporté à une période d'extension de 35 ans, est défini par les paramètres

$$\text{Moyenne} : 1020 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Ecart-type} : 205 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'équation de regression écrite plus haut permet d'obtenir une meilleure estimation du module moyen à MALANVILLE, soit $1255 \text{ m}^3/\text{s}$. Quant à l'écart-type, si l'on tient compte des données de NIAFFEY, on trouve $259 \text{ m}^3/\text{s}$ et on est assuré que cette estimation est meilleure que la précédente puisque l'erreur systématique introduite par la régression sur l'écart-type ne peut être que par défaut.

L'efficacité relative est ici égale à 0,347, ce qui porte la période d'extension réelle effectuée sur MALANVILLE à 23 ans. L'opération d'extension améliore donc très sensiblement la connaissance du module. On adoptera en définitive pour le module :

$$\text{Valeur moyenne} : 1255 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Ecart-type} : 259 \text{ m}^3/\text{s}$$

L'irrégularité interannuelle sera exprimée

soit par le coefficient de variation :

$$C_v = 0,206$$

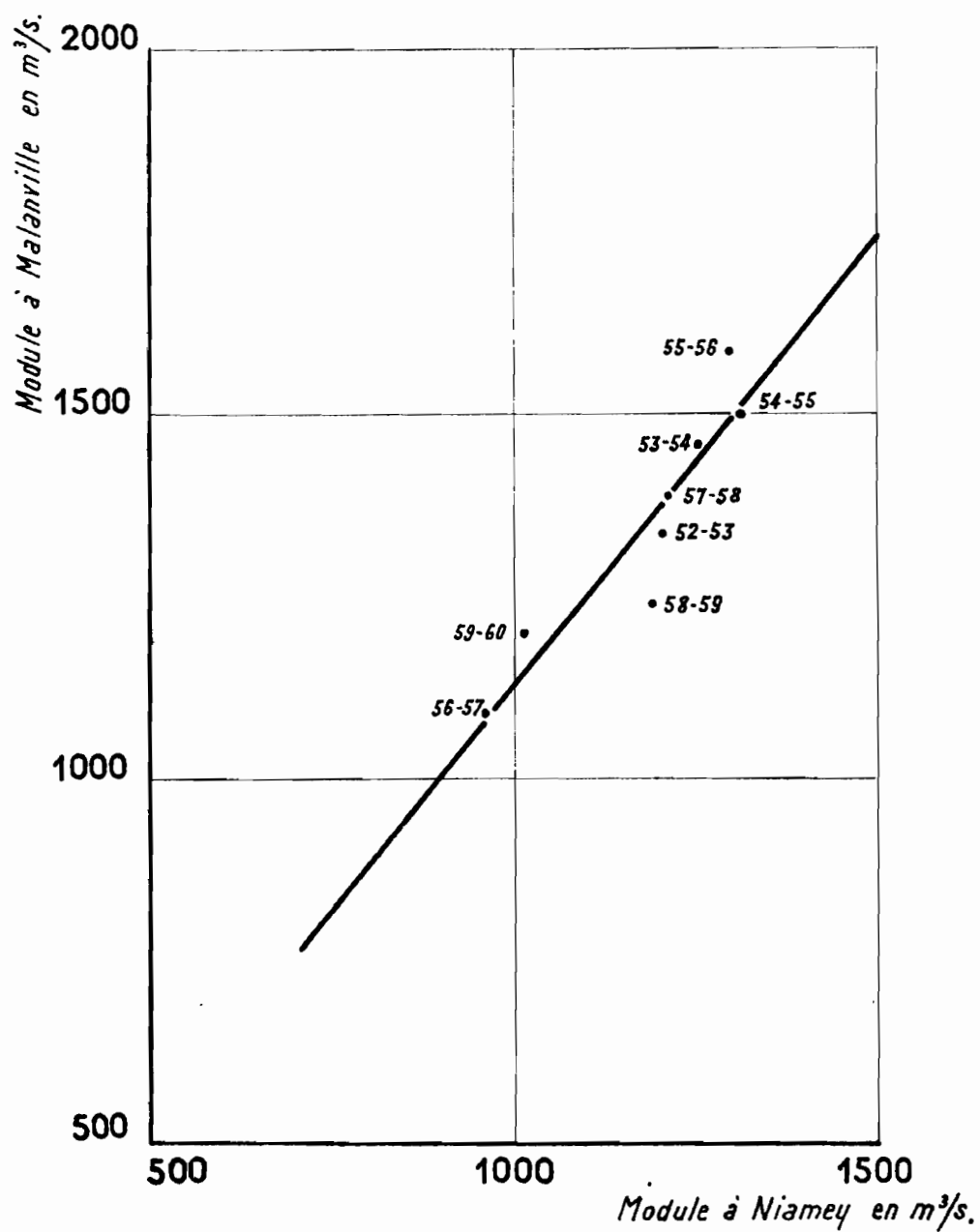
soit par le rapport

$$K_3 = \frac{1587}{923} = 1,72$$

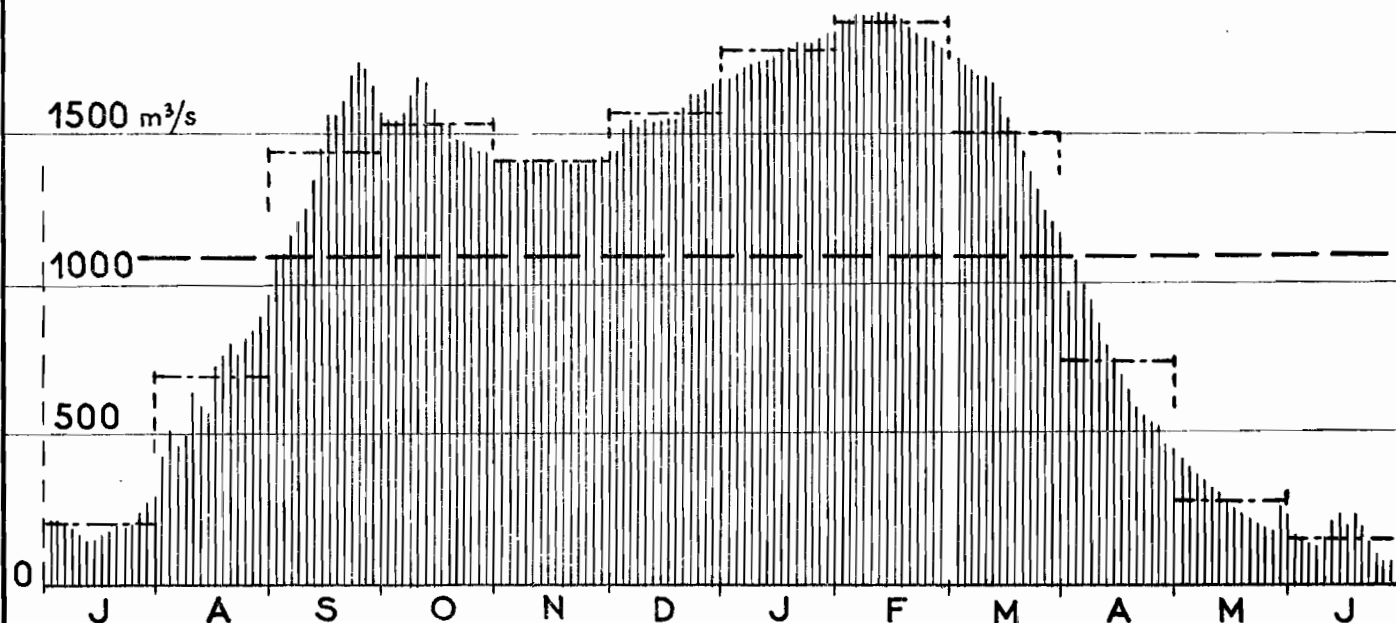
Malgré l'influence des affluents dahoméens, on retrouve les mêmes ordres de grandeur que pour les autres stations du NIGER.

L'allure de l'hydrogramme annuel est présentée sur le graphique 50 : année faible 1956-57, année forte 1955-56.

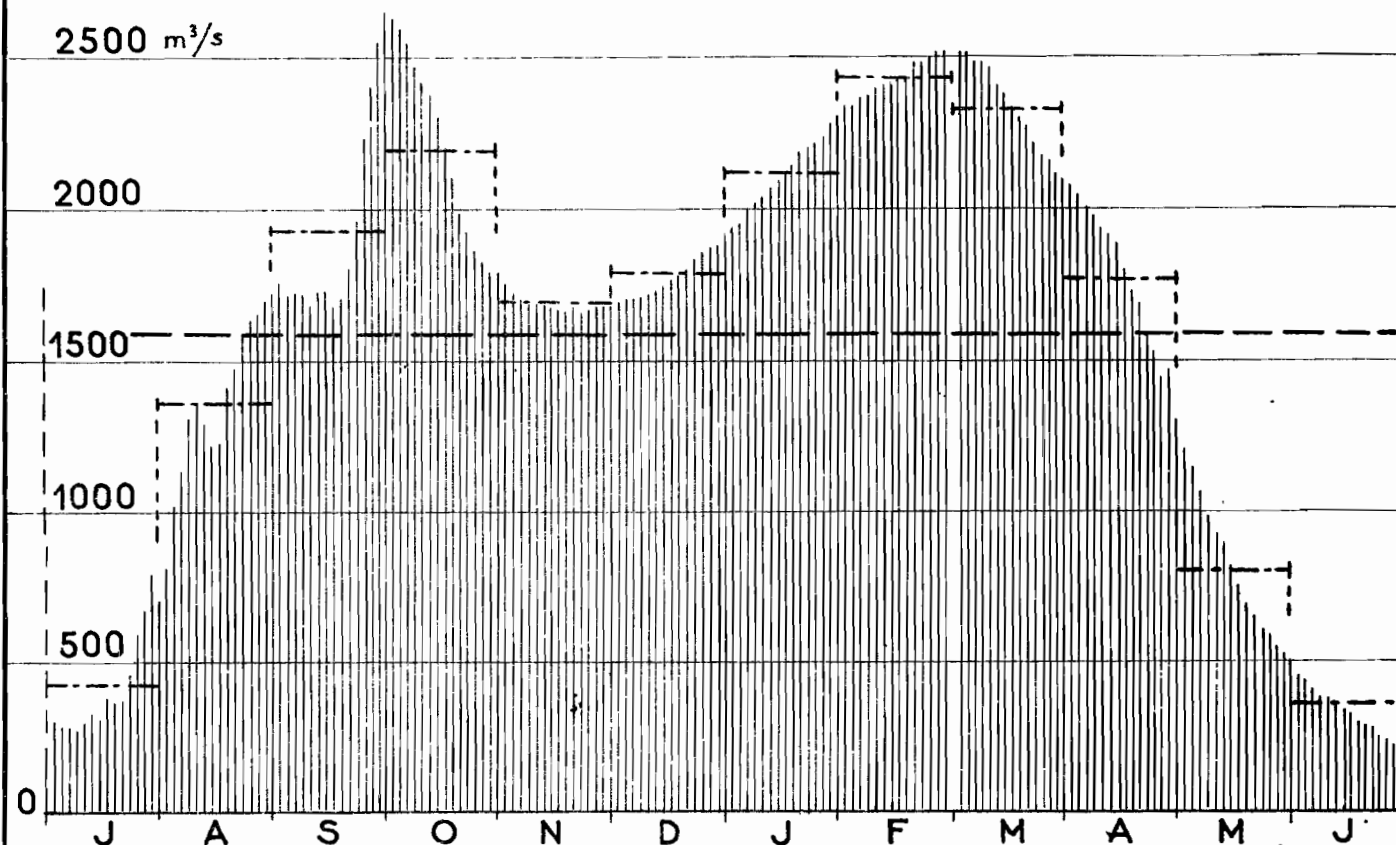
Corrélation entre les modules
à MALANVILLE et à NIAMEY



Le NIGER à MALANVILLE
en 1956-57 année faible



en 1955-56 année forte



ORSTOM

A₀

DATE :

DESSINÉ :

C H A P I T R E V I I

ESSAI DE BILAN ANNUEL DU NIGER MOYEN

Au cours des chapitres précédents, le problème des pertes dans le lit du fleuve ou, au contraire, des apports des bassins locaux, a été partiellement étudié. En particulier une étude assez détaillée portant sur les débits mensuels du bief DIRE-NIAMEY a été présentée au chapitre III. Il s'agit maintenant de faire l'analyse à l'échelle annuelle des résultats obtenus. Les principaux éléments hydrologiques nécessaires pour une telle étude sont groupés dans le tableau 30 pour les années d'observations communes de DIRE jusqu'à MALANVILLE.

Le matériau de base est évidemment les modules calculés pour chaque année aux principales stations du bief étudié. Au-dessous du nom de chaque station on a indiqué, en km, sa distance à la source. La différence entre les modules de deux stations consécutives donne le débit moyen des pertes ou des gains d'amont en aval durant l'année. Les pertes sont indiquées conventionnellement par un signe négatif et les gains par un signe positif.

En outre, on a fait figurer sur le tableau, lorsqu'on pouvait les estimer, les apports des bassins locaux. Entre ANSONGO et NIAMEY, ces apports sont pratiquement égaux à la somme des modules du GOROUOL, du DARGOL et de la SIRBA. Entre NIAMEY et MALANVILLE en plus des apports des bassins dahoméens, MEKROU et ALIBORI soit au total $24\,150\text{ km}^2$, il faut considérer les débits des affluents tropicaux à tendance sahélienne : GOROUBI, DIAMANGOU et TAPOA dont les bassins versants ont une superficie totale de $25\,400\text{ km}^2$.

Nous avons insisté, lors de l'étude des affluents dahoméens, sur l'étroite corrélation qui existe entre leurs modules et sur l'homogénéité climatique vraisemblable due à la disposition et à l'orientation de leurs bassins. Il n'est donc pas déraisonnable d'admettre comme module total le module spécifique de l'ALIBORI multiplié par la surface

de l'ensemble : MEKROU + ALIBORI.

Pour les autres affluents, situés plus au Nord, nous avons admis que la corrélation était encore suffisante. Mais les modules spécifiques y sont certainement très inférieurs : en considérant qu'ils doivent être intermédiaires entre ceux de la SIRBA et ceux de l'ALIBORI, nous avons tenu compte de ce fait par une réduction du bassin réel. En définitive, il a été admis que le bassin actif total des affluents du NIGER entre NIAMEY et MALANVILLE, ramené aux débits spécifiques de l'ALIBORI, est égal à 40 000 km² et que les débits moyens annuels de l'ensemble peuvent se déduire de la caractéristique : module de l'ALIBORI à la route de KANDI-BANIKOARA, en multipliant cette caractéristique par 4,9. Les chiffres obtenus figurent sur le tableau 30 dans la colonne numérotée (6).

La nature des pertes est bien connue. On sait, par exemple, qu'entre DIRE et TOSSAYE une partie des plus hautes eaux se déverse par les effluents de KONDI et de TASSAKANT pour alimenter une série de lacs dont le plus important est le FAGUIBINE, une petite partie s'infiltre le long du cours, une partie s'évapore. Il est beaucoup moins aisé de savoir comment se répartissent effectivement les pertes totales entre ces différentes possibilités. Avec les éléments actuellement connus, il n'est même pas possible de déterminer avec précision les surfaces présentées par le fleuve à l'évaporation, en fonction par exemple de la cote à l'une des extrémités du bief.

On peut toutefois se donner un ordre de grandeur des volumes d'eau évaporés. Pour ce faire, nous avons déterminé sur les cartes disponibles la surface du lit mineur et du lit majeur présentée par chaque tronçon. C'est ainsi que pour le bief DIRE-TOSSAYE on trouve :

lit mineur : 390 km²
lit majeur : 3290 km²

En prenant la moyenne de ces deux chiffres, on obtient un ordre de grandeur de la surface évaporante moyenne au cours de l'année, soit 1840 km². Si l'on admet, ainsi que les mesures d'évaporation effectuées dans ces régions le laissent présager, une lame évaporée annuellement de 2,5 m, on voit qu'en moyenne le bief évapore chaque année un volume grossièrement estimé à 4×10^9 m³. D'après le tableau 30, les pertes totales moyennes par an correspondent

TABLEAU 30

ELEMENTS du BILAN du NIGER MOYEN

(m³/s)

' Année '	' DIRE '	' (1) '	' TOSSAYE '	' (2) '	' ANSONGO '	' (3) '	' (4) '	' NIAMEY '	' (5) '	' (6) '	' MALANVILLE '
' (km1601) '	' (km1601) '	' (1) '	' (km1975) '	' (2) '	' (km2186) '	' (3) '	' (4) '	' (km2540) '	' (5) '	' (6) '	' (km 2830) '
' 1952-53 '	1356	' - 95 '	1261	' - 161 '	1100	' + 99 '		1199	' + 137 '	(90)	1336
' 1953-54 '	1466	' - 113 '	1353	' - 194 '	1159	' + 90 '		1249	' + 208 '	(245)	1457
' 1954-55 '	1559	' - 130 '	1429	' - 162 '	1267	' + 41 '		1308	' + 190 '	(175)	1498
' 1955-56 '	1510	' - 126 '	1384	' - 167 '	1217	' + 79 '		1296	' + 290 '	(350)	1586
' 1956-57 '	1095	' - 77 '	1018	' - 120 '	898	' + 62 '	(40)	960	' + 128 '	(185)	1088
' 1957-58 '	1467	' - 167 '	1300	' - 144 '	1156	' + 50 '	(10)	1206	' + 181 '	(360)	1387
' 1958-59 '	1361	' - 135 '	1226	' - 101 '	1125	' + 60 '	(54)	1185	' + 55 '	(30)	1240
' 1959-60 '	1150	' - 87 '	1063	' - 103 '	960	' + 50 '		1010	' + 184 '	(200)	1194

- (1) Pertes DIRE-TOSSAYE
- (2) Pertes TOSSAYE-ANSONGO
- (3) Gains ANSONGO-NIAMEY
- (4) Apports présumés des affluents sahéliens
- (5) Gains NIAMEY-MALANVILLE
- (6) Apports présumés du bassin moyen

à un débit moyen de $116 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un volume de $3,6 \times 10^9 \text{ m}^3$, c'est-à-dire du même ordre que le volume évaporé. On peut donc en conclure que l'évaporation est le terme principal du bilan des pertes ou que, tout au moins, elle n'est pas différentielle devant l'infiltration et les déversements : les éléments que l'on possède ne permettent pas de préciser davantage.

Il semble en être différemment dans le bief TOSSAYE-ANSONGO, mais nous avons déjà fait des réserves au sujet de la station d'ANSONGO et nous considérerons directement le bief TOSSAYE-NIAIMEY pour lequel les pertes totales sont les suivantes :

1952-53 : - $62 \text{ m}^3/\text{s}$	1956-57 : - $58 \text{ m}^3/\text{s}$
1953-54 : - $104 \text{ m}^3/\text{s}$	1957-58 : - $93 \text{ m}^3/\text{s}$
1954-55 : - $121 \text{ m}^3/\text{s}$	1958-59 : - $41 \text{ m}^3/\text{s}$
1955-56 : - $88 \text{ m}^3/\text{s}$	1959-60 : - $52 \text{ m}^3/\text{s}$

soit, en moyenne, pour la période considérée : - $77 \text{ m}^3/\text{s}$. Mais ce chiffre tient compte des apports locaux qui, pour faibles qu'ils soient, s'ils n'ont pas d'influence sur la totalité des apports du NIGER, ne sont pas tout à fait négligeables du point de vue de l'estimation des pertes. La valeur de ces apports locaux est très mal connue puisqu'on ne peut guère les estimer que pour trois années. Nous admettrons comme vraisemblable le chiffre moyen de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, ce qui porterait les pertes moyennes réelles sur le débit du NIGER à $107 \text{ m}^3/\text{s}$, soit un volume de l'ordre de $3,4$ milliards de m^3 . La surface du lit majeur pour ce bief est estimée à 1490 km^2 , et celle du lit mineur à 440 km^2 , soit une moyenne d'environ 960 km^2 . En adoptant la même lame évaporée que précédemment, on arrive à un volume évaporé de $2,4$ milliards de m^3 . Là aussi, l'évaporation constitue très probablement le terme principal du bilan des pertes.

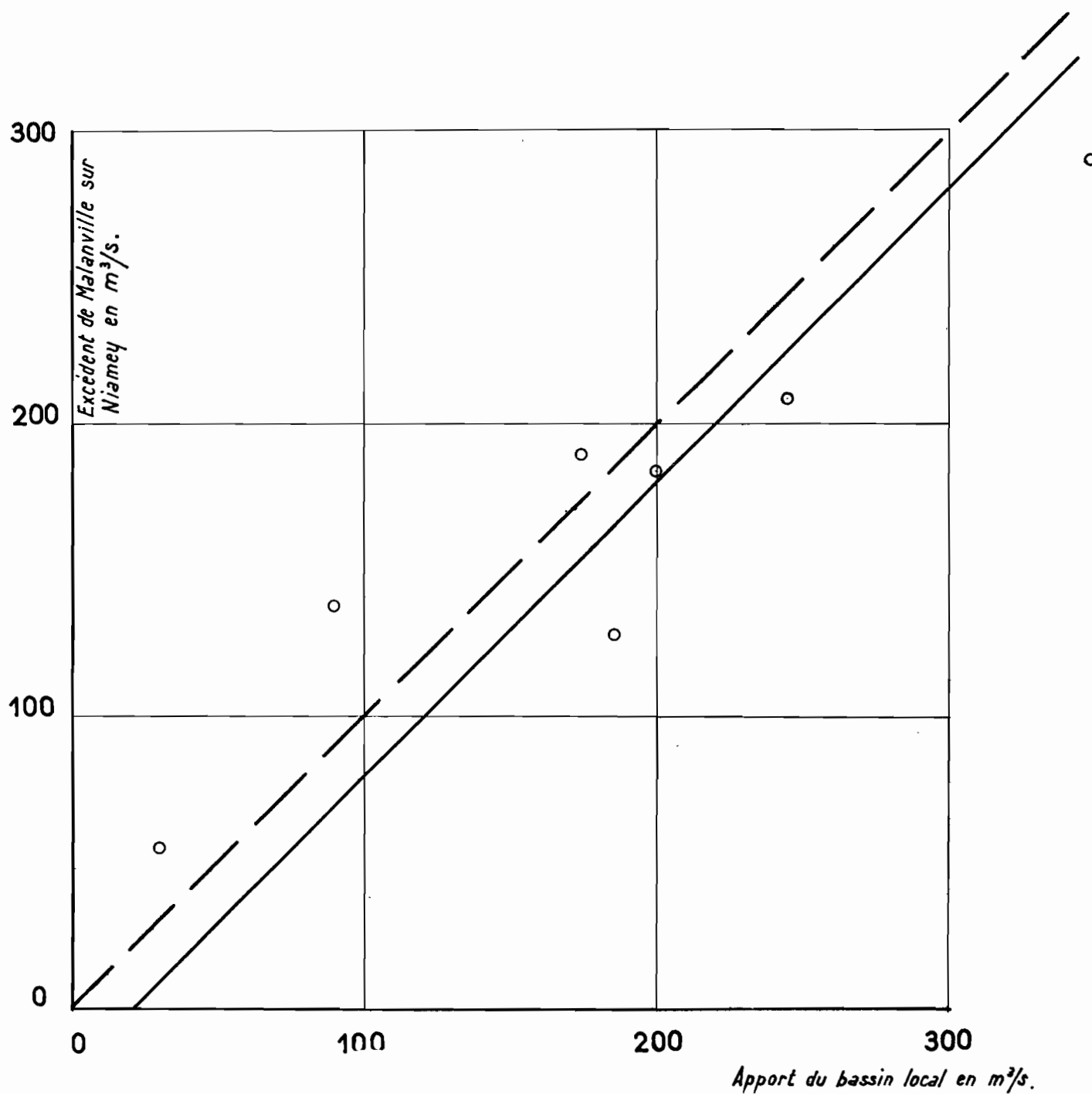
Si l'hypothèse d'infiltrations massives entre TOSSAYE et ANSONGO, avec restitution à l'aval entre ANSONGO et NIAIMEY, se trouvait confirmée, il est plus que probable que cette restitution serait loin d'être intégrale, une partie importante des eaux infiltrées allant rejoindre les nappes profondes. On trouverait ainsi des pertes totales nettement supérieures à l'évaporation, ce qui est bien le cas ici : $3,4$ contre $2,4$ milliards de m^3 . Mais encore une fois ces estimations sont trop imprécises pour que l'on puisse en tirer des conclusions définitives.

A l'aval de NIAMEY, les apports du bassin local sont trop importants et pas assez bien connus pour que l'on puisse se faire des idées nettes sur la participation de l'évaporation aux pertes du bief NIAMEY-MALANVILLE. D'autre part, les débits à MALANVILLE sont, nous l'avons vu, eux-mêmes déterminés avec une précision qui ne dépasse pas 5 %. Dans ce bief, on peut estimer la surface du lit majeur à 560 km^2 , celle du lit mineur à 140 km^2 , soit en moyenne 350 km^2 . Compte tenu de la différence de climat entre cette région et celles qui ont été étudiées ci-dessus, la lame évaporée annuellement ne doit pas dépasser 2 m, soit un volume évaporé de 700 millions de m^3 , équivalent à un débit permanent de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ environ.

Sur le graphique 51 on a reporté les excédents de MALANVILLE sur NIAMEY en fonction des apports du bassin local. En l'absence d'évaporation, ces deux variables devraient être égales chaque année et les points représentatifs seraient groupés autour de la droite tracée en trait interrompu; si l'on tient compte des $20 \text{ m}^3/\text{s}$ d'évaporation, les points devraient s'aligner sur la ligne en trait plein.

On constate, en fait, que ceux-ci se dispersent autour de cette ligne continue. Ceci s'explique d'une part par une légère erreur d'étalonnage de la crue dahoméenne à la station de MALANVILLE, et d'autre part par une mauvaise estimation des apports locaux dans le bief NIAMEY-MALANVILLE, plus particulièrement ceux des affluents : GOROUBI, DIAMANGOU et TAPOA.

Bilan du bief NIAMEY-MALANVILLE



Cours d'eau : NIGER
 Station : DIRE
 Superficie du bassin : 340 000 km²
 Pluviométrie moyenne : 1 160 mm
 sur 35 ans

Modules

Valeurs calculées sur 36 ans

Valeur moyenne : 1189 m³/s
 Ecart-type : 238 m³/s
 Décennale humide : 1493 m³/s
 Décennale sèche : 885 m³/s

Moyenne sur 50 ans
 (corrélation avec KOULIKORO): 1110 m³/s

Crues

Maximum observé sur 36 ans : 2677 m³/s
 Crue annuelle (ou médiane) : 2330 m³/s
 Crue décennale estimée à : 2640 m³/s
 Crue centenaire estimée à : (2800) m³/s

Maximum de fréquence d'apparition entre le 20 et le 31 Décembre.

Etalement de la courbe de fréquence vers la période postérieure pour les très fortes crues.

Etiages - Valeurs très imprécises

Limite inférieure : inconnue, peut-être 10 à 15 m³/s
 Valeur moyenne : ((50 m³/s))

Débits mensuels pour la période d'observation :
 (m³/s)

Période	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
34 ans	272	854	1489	1893	2155	2294	2044	1548	978	453	157	90

Cours d'eau : NIGER
Station : TOSSAYE

Superficie du bassin et pluviométrie moyenne
sans signification hydrologique

Modules

Valeurs sur 12 ans (période d'observation)

Moyenne : 1190 m³/s
Ecart-type : 184 m³/s

Valeurs sur 34 ans (période d'extension réelle)

Moyenne : 1090 m³/s
Ecart-type : 211 m³/s
Décennale humide : 1360 m³/s
Décennale sèche : 820 m³/s

Crues

Maximum observé sur 12 ans : 2332 m³/s
Crue annuelle (ou médiane) : 2100 m³/s
Crue décennale estimée à : 2300 m³/s
Crue centenaire estimée à : (2400 m³/s)

Etiages - Valeurs imprécises

Limite inférieure : inconnue
Valeur médiane : ((60 - 70)) m³/s

Débits mensuels pour la période d'observation :
(m³/s)

```

=====
: Période: J : A : S : O : N : D : J : F : M : A : M : J :
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:
: 12 ans : 207: 678:1253:1594:1801:1968:2088:1951:1472: 854: 330: 132:
=====

```

Cours d'eau : NIGER
Station : ANSONGO
Superficie du bassin et pluviométrie moyenne
sans signification hydrologique

Modules

Valeurs sur 12 ans (période d'observation)

Moyenne : 1050 m³/s
Ecart-type : 165 m³/s

Valeurs sur 31 ans (période d'extension réelle)

Moyenne : 965 m³/s
Ecart-type : 188 m³/s
Décennale humide : 1205 m³/s
Décennale sèche : 725 m³/s

Crues

Maximum observé : 2035 m³/s

Etiages

Inconnus

Débits mensuels pour la période d'observation :
(m³/s)

=====

:Période:	J	:	A	:	S	:	O	:	N	:	D	:	J	:	F	:	M	:	A	:	M	:	J	:
:-----:		:		:		:		:		:		:		:		:		:		:		:		:
: 14 ans :	(135)	:	(490)	:	996	:	1288	:	1495	:	1658	:	1779	:	1757	:	1498	:	940	:	(348)	:	(110)	:

=====

Cours d'eau : NIGER

Station : NIAMEY

Superficie du bassin et pluviométrie
moyenne sans signification hydrologique

Modules

Valeurs sur 25 ans (période d'observation)

Moyenne : 1008 m³/s
Ecart-type : 210 m³/s

Valeurs sur 35 ans (période d'extension réelle)

Moyenne : 1020 m³/s
Ecart-type : 205 m³/s
Décennale humide : 1282 m³/s
Décennale sèche : 758 m³/s

Crues

Maximum observé sur 25 ans : 2150 m³/s
Crue annuelle (ou médiane) : 1830 m³/s
Crue décennale estimée à : 2080 m³/s
Crue centenaire estimée à : 2200 m³/s

Fréquence d'apparition maximale en Février, de préférence
dans la seconde décade du mois.

Etiages

Valeur médiane : 41 m³/s

DEBITS MENSUELS POUR LA PERIODE D'OBSERVATION

(m³/s)

Période	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
26 ans	139	510	1067	1251	1410	1587	1722	1721	1414	869	359	133

Cours d'eau : NIGER
 Station : MALANVILLE
 Superficie du bassin et pluviométrie moyenne
 sans signification hydrologique

Modules

Valeurs sur 8 ans (période d'observation)

Moyenne : 1348 m³/s
 Ecart-type : 167 m³/s

Valeurs sur 23 ans (période d'extension réelle)

Moyenne : 1255 m³/s
 Ecart-type : 259 m³/s
 Décennale humide : 1586 m³/s
 Décennale sèche : 924 m³/s

Crues

	Crue soudanaise	Crue dahoméenne
Maximum observé		
sur 8 ans	2 512 m ³ /s	2 828 m ³ /s
Crue annuelle(ou médiane)	2 240 m ³ /s	2 000 m ³ /s
Crue décennale	2 500	2 800

Etiages

Valeur la plus faible observée : 56 m³/s

Valeur médiane : sans doute guère plus forte que la
 précédente (période abondante)

Débits mensuels pour la période d'observation :
 (m³/s)

```

=====
: Période: J : A : S : O : N : D : J : F : M : A : M : J :
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:
: 8 ans : 241: 896:1766:1724:1504:1649:1929:2148:2034:1430: 647: 268:
=====

```

Cours d'eau : GOROUOL
 Station : ALCONGUI
 Superficie du bassin : 44 855 km²
 Pluviométrie moyenne sur 34 ans : 460 mm

Modules

Valeur moyenne d'après la période : 6,19 m³/s
 Vraie valeur très probablement inférieure à 5 m³/s
 Coefficient d'écoulement en moyenne inférieur à 1 %.

Crues

Maximum observé : (75 m³/s)

Etiages

Débit nul durant 6 mois par an environ

Débits mensuels pour la période d'observation :
 (m³/s)

Période:	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M
3 ans	0	0,02	1,79	3,62	22,0	38,9	6,45	1,28	0,19	0,03	0	0

Cours d'eau : DARGOL
 Station : KAKASSI
 Superficie du bassin : 6 940 km²
 Pluviométrie moyenne sur 34 ans : 525 mm

Modules

Valeur moyenne d'après la période : 3,93 m³/s
 Vraie valeur probablement inférieure à 2,5 m³/s
 Coefficient d'écoulement moyen compris entre 2 et 3 %

Crues

Maximum observé : 76 m³/s

Etiages

Débit nul pendant 6 mois $\frac{1}{2}$ environ

Débits mensuels pour la période d'observation :
 (m³/s)

Période:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
4 ans	0	0	0	0	0	0,07	3,5	19,2	22,4	1,6	0,2	0

Cours d'eau : SIRBA
 Station : GARBE KOUROU
 Superficie du bassin : 38 750 km²
 Pluviométrie moyenne sur 34 ans : 700 mm

Modules

Valeur moyenne d'après la période : 25,5 m³/s
 Vraie valeur probable : 18 à 20 m³/s
 Coefficient d'écoulement moyen compris entre 2 et 3 %

Crues

Maximum observé : 491 m³/s

Etiages

Débits nuls pendant 6 mois environ

Débits mensuels pour la période d'observation
 (m³/s)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
3 ans	0	0	0	0	0	3,9	11,0	37,8	151	77	19,8	4,9

Cours d'eau : ALIBORI
 Station : Route de KANDI-BANIKOARA
 Superficie du bassin : 8 165 km²
 Pluviométrie moyenne : 1 180 mm
 sur 34 ans

Modules

Valeurs sur 9 ans (période d'observation)

Moyenne : 42,5 m³/s
 Ecart-type : 22,0 m³/s

Valeur sur 25 ans (période d'extension réelle)

Moyenne : 40 m³/s
 Ecart type : non calculé - valeur 22,0 conservée
 Décennale humide : 68 m³/s
 Décennale sèche : 12 m³/s

Crues

Maximum observé : 553 m³/s (sans doute décennal)

Etiages

Valeurs des basses eaux peu sûres. Il est à peu près certain que le débit s'annule tous les ans.

Débits mensuels pour la période d'observation (m³/s)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
9 ans	0,4	0,18	0,03	0,04	7,42	8,71	25,6	125	235	93	4,30	1,01

Cours d'eau : SOTA
 Station : COUBERI
 Superficie du bassin: 12 020 km²
 Pluviométrie moyenne: 1 120 mm
 sur 34 ans

Modules

Valeurs sur 8 ans (période d'observation)

Moyenne : 48,4 m³/s

Ecart-type : 20,4 m³/s

Valeurs sur 22 ans (période d'extension réelle)

Moyenne : 37,8 m³/s

Ecart-type : non calculé - Valeur 20,4 conservée

Décennale humide : 64 m³/s

Décennale sèche : 12 m³/s

Crues

Maximum observé : 428 m³/s (sans doute décennal)

Etiages

Etiage absolu peu variable d'une année à l'autre
 (de 4,0 à 6,5 m³/s pour les 8 ans d'observation).
 Valeur médiane pour la période : 5,2 m³/s.

Débits mensuels pour la période d'observation (m³/s)

Période:	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
8 ans	7,7	7,2	6,6	6,0	7,7	14,5	27,7	105,3	221,8	131,6	27,9	11,3