

MONOGRAPHIE DU NIGER

B_ LA CUVETTE LACUSTRE

II

Interprétation des résultats d'observations
Eléments caractéristiques du régime

par
C. AUVRAY
Ingénieur E.I.H
Directeur de recherches à l'ORSTOM

OFFICE de la RECHERCHE
SCIENTIFIQUE et TECHNIQUE
OUTRE-MER

République du MALI

MISSION d'ETUDES et d'AMENAGEMENT
du NIGER

MONOGRAPHIE du NIGER

B - La CUVETTE LACUSTRE

II

Interprétation des résultats d'observations

Eléments caractéristiques du régime

par C. AUVRAY

Ingénieur E.I.H.
Directeur de Recherches à l'ORSTOM

S O M M A I R E

4ème Partie

ELEMENTS CARACTERISTIQUES du REGIME - INTERPRETATION des RESULTATS

	Page
<u>CHAPITRE I</u> - Rappel des régimes à KOULIKORO et DOUNA	2
A - Le NIGER à KOULIKORO	2
B - Le BANI à DOUNA	5
<u>CHAPITRE II</u> - Etude du régime à KIRANGO	11
- Comparaison entre les débits moyens mensuels à KOULIKORO et KIRANGO	11
A - Années récentes 1950-1957	11
B - Années anciennes 1927-1934	17
- Modules et volumes écoulés à KIRANGO	17
<u>CHAPITRE III</u> - Etude du régime à KE-MACINA	27
I - Etiages	28
II - Comparaison des débits de basses eaux à KOULIKORO et KE-MACINA	31
III - Crues	32
IV - Débits moyens mensuels à KIRANGO et KE-MACINA	34
<u>CHAPITRE IV</u> - Etude du régime à TILEMBEYA	37
I - Crues	38
II - Etiages	40
III - Modules	42
IV - Débits moyens mensuels	51
V - Volumes écoulés	52
VI - Remarques sur la période d'observation	53
<u>CHAPITRE V</u> - Etude du régime du DIAKA à KARA	60
I - Etiages	60
II - Crues	61
III - Modules	61
IV - Débits moyens mensuels	62
V - Pertes en volumes entre KOULIKORO et TILEMBEYA amont	62

	Page
<u>CHAPITRE VI</u> - Etude du régime à MOPTI	70
I - Généralités	70
II - Etudes des crues	72
III - Etiages	73
IV - Débits moyens mensuels et modules	75
<u>CHAPITRE VII</u> - Etude du régime de la station de DIRE	90
I - Généralités	90
II - Etude des étiages à DIRE	91
III - Etude des crues	93
IV - Etude des débits moyens mensuels	101
V - Modules	110
VI - Essais de corrélation entre les modules à DIRE et les modules des stations amont	112

4ème Partie

ELEMENTS CARACTERISTIQUES DU REGIME - INTERPRETATION DES RESULTATS

Dans les trois premières parties de cet ouvrage, nous avons présenté les aspects géographiques et climatiques de la cuvette lacustre et la somme des documents hydrologiques possédés en essayant d'utiliser au maximum tous les relevés d'échelle.

Cette quatrième partie sera consacrée à l'analyse des débits du fleuve et de ses effluents sous les diverses formes intéressantes : débits moyens mensuels, modules, étiages, crues maximales, ces débits seront examinés et soumis au contrôle statistique.

Nous étudierons ainsi successivement le régime du NIGER aux principales stations hydrométriques, après avoir succinctement rappelé quels sont les traits dominants des régimes à KOULIKORO du NIGER et à DOUNA du BANI, les deux principales stations en amont de la cuvette lacustre ; puis une vue d'ensemble retrospective permettra de mettre en évidence la régularisation croissante du régime de l'amont vers l'aval grâce aux déversements.

Enfin, deux chapitres entreprendront, sous l'angle du bilan hydrologique, l'examen des volumes écoulés de KOULIKORO à DIRE et du remplissage de la cuvette lacustre.

C H A P I T R E I

RAPPEL DES REGIMES A KOULIKORO ET BOUNA

A - LE NIGER A KOULIKORO -

Située au débouché d'un bassin versant de 120 000 km², station de base du NIGER, observée depuis 1907, KOULIKORO se trouve à l'entrée de la cuvette lacustre et son régime conditionne directement ceux de KIRANGO, KE-MACINA, TILEMBEYA et KARA, que nous allons étudier dans les chapitres suivants.

Le NIGER Supérieur possède un régime du type tropical de transition, caractérisé par une saison de hautes eaux unique d'au moins quatre mois, et par une saison de basses eaux très marquée, quoique moins sévère qu'en régime tropical pur. Son bassin est bien arrosé et reçoit 1 600 mm en moyenne.

Certains affluents, (MILO, NIANDAN), bénéficient, en outre, des précipitations abondantes des montagnes forestières de GUINEE.

Voici les débits moyens mensuels (m³/s) à KOULIKORO, pour la période (1907-1957).

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
399	192	100	67	95	361	1239	3214	5284	4560	2088	864

Le module moyen estimé à partir de cette période est de 1 545 m³/s (12,9 l/s.km²). L'analyse statistique a montré que les modules se distribuaient correctement suivant la loi normale de GAUSS, entièrement déterminée par la moyenne ci-dessus et l'écart-type égal à 366 m³/s. Un exemple de leur variation est donné dans le tableau suivant, où figurent les valeurs décennales et centennales des modules.

Fréquence au dépassement:	Module en m ³ /s	Irrégularité interannuelle
Centenaire (0,01)	2 397	K ₃ = 1,87
Décennale (0,1)	2 013	
Décennale (0,9)	1 077	
Centenaire (0,99)	695	

Ce tableau permet de juger de la fréquence des années exceptionnelles de la période d'observation : 1925 avec 2 346 m³/s et 1913 avec 839 m³/s.

La propagation de la crue étant assez longue dans la cuvette lacustre, le décalage par rapport à l'année calendaire s'accroît jusqu'à atteindre 6 mois à DIRE, où cette crue passe de Juillet à Juin. Pour l'homogénéité de l'étude des volumes écoulés, nous avons dû adopter des années hydrologiques différentes de l'année calendaire, et variables d'une station à l'autre.

Le tableau n° I donne les débits moyens mensuels et les modules de KOULIKORO, pour l'année hydrologique allant du 1er Mai au 30 Avril, qui seront utilisés dans le reste de ce volume et qui diffèrent (les modules évidemment) quelque peu des valeurs étudiées dans la Monographie du NIGER Supérieur et rappelées ci-dessus.

Ajoutons que le module moyen monte à 1641 m³/s pour la période 1922-57, prise comme base dans la cuvette lacustre.

En régime tropical de transition, l'importance et la date de la dernière crue d'une part, la précocité de la saison des pluies suivante d'autre part, sont telles qu'il existe pratiquement pour un bassin d'une certaine étendue une limite statistique en-dessous de laquelle le débit d'étiage du cours d'eau ne peut pas descendre. Pour le NIGER à KOULIKORO, cet étiage limite est de $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ($0,12 \text{ l/s.km}^2$).

Les 51 étiages connus varient entre $18 \text{ m}^3/\text{s}$ (en 1917) et $137 \text{ m}^3/\text{s}$ (en 1955) ; cet échantillon admet $36 \text{ m}^3/\text{s}$ comme valeur la plus fréquente et $46 \text{ m}^3/\text{s}$ comme moyenne.

La distribution statistique d'un tel ensemble avec une borne inférieure, est évidemment dissymétrique mais peut correctement être ajustée à l'aide d'une loi de GIBRAT-GAUSS à troncature logarithmique. En voici les valeurs-clés :

Etiage limite	$15 \text{ m}^3/\text{s}$	
- décennal (0,90)	21	-
- le plus fréquent	32	-
- moyen	48	-

Signalons, en outre, que le tarissement est assez régulier d'une année à l'autre, et que sa loi moyenne est

$$Q = Q_0 e^{-0,22 t}$$

Les crues annuelles du NIGER, présentent en général, un seul maximum connu par le plus fort débit journalier observé. La répartition des pluies dans l'année limite la période d'apparition de ce maximum à l'intervalle 1er Septembre - 20 Novembre pour KOULIKORO. En serrant les phénomènes, on constate que 83 % de ces pointes surviennent en fait au cours des 30 jours allant du 10 Septembre au 10 Octobre.

Ces crues maximales annuelles atteignent des débits assez variables, puisqu'ils s'échelonnent de $3\ 646 \text{ m}^3/\text{s}$ (en 1913) à $9\ 700 \text{ m}^3/\text{s}$ (en 1925), bien que cette dernière valeur soit soupçonnée d'excès pour environ $1\ 000 \text{ m}^3/\text{s}$. L'analyse statistique a permis l'ajustement correct à l'aide des lois de GIBRAT-GAUSS, GOODRICH et III de PEARSON, dont les conclusions sont les suivantes :

Crue décennale	(0,1)	7 900 m ³ /s
- centenaire	(0,01)	9 600 m ³ /s
- millénaire	(0,001)	11 000 m ³ /s

Quant au bilan hydrologique de l'écoulement annuel, il montre une assez bonne constance dans le temps. Les coefficients d'écoulement varient de 18,7 à 35,5 % autour d'une moyenne égale à 27 %, à laquelle correspond un déficit d'écoulement moyen de 1 164 mm (1 333 mm et 1 065 mm en sont les valeurs extrêmes).

Concluons en disant que le volume d'eau charrié par le NIGER a pris des valeurs de 26 milliards de m³ en 1913 et de 75 milliards en 1925, mais qu'en moyenne il faut s'en tenir à un chiffre de 48 à 50 milliards de m³.

B - LE BANI A DOUNA -

Le BANI draine 101 000 km² à son passage à DOUNA dont la position est comparable à celle de KOULIKORO du point de vue hydrologique. Le bassin versant présente de nombreuses analogies avec celui du NIGER, il est cependant moins montagneux, et moins arrosé (1 265 mm de pluviométrie moyenne) ce qui conduit le BANI à un régime plus voisin du tropical pur typique.

L'abondance annuelle est donc plus faible que celle du NIGER, comme il ressort de la lecture du tableau des débits moyens mensuels (en m³/s) de la période d'observation (1950-1957) :

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
225	128	77	46	32	52	209	1298	2625	2710	1558	542

Le module moyen de cette période est de $794 \text{ m}^3/\text{s}$ ($7,8 \text{ l/s.km}^2$, débit spécifique qui ne représente que 60 % de celui du NIGER).

Cette courte période de 8 ans est insuffisante pour une étude statistique sérieuse et, en outre, elle est nettement plus humide que la moyenne. Dans la Monographie du NIGER Supérieur, on a mis en évidence 2 corrélations qui permettent de créer un échantillon de 51 valeurs beaucoup plus important et susceptible, lui, d'être analysé. Ces corrélations sont relatives aux pluviométries annuelles P et aux lames d'eau écoulées à KOULIKORO H_K auxquelles sont liées les lames d'eau (ou modules) du BANI à DOUNA H_D ; elles sont linéaires :

$$H_D = 0,324 (P - 600) \text{ en millimètres}$$

$$H_D = 0,37 (H_K + 181) \quad -$$

Les paramètres de l'ajustement de GAUSS pour la distribution des modules à DOUNA sont $668 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la moyenne et $116 \text{ m}^3/\text{s}$ pour l'écart-type. Les valeurs rares de cette distribution sont les suivantes :

Fréquence au dépassement	Module en m^3/s	Irrégularité Interannuelle
Centenaire (0,01)	938	} $K_3 = 1,57$
Décennale (0,1)	816	
Décennale (0,9)	520	
Centenaire (0,99)	398	

On constatera que, sur la période de référence de KOULIKORO le module du BANI à DOUNA ne vaut plus que $6,6 \text{ l/s.km}^2$, soit guère plus des 50 % du module du NIGER à cette station. Malgré cette faiblesse très marquée, l'irrégularité interannuelle, prise sous la forme du K_3 , est légèrement moins élevée que pour le bassin du NIGER.

Les étiages en régime tropical pur sont plus longs et plus sévères. Le BANI à DOUNA n'échappe pas à cette loi, et s'il ne peut pas s'assécher, sa limite statistique inférieure d'étiage n'est que de l'ordre de 5 à 6 m³/s. Les valeurs observées se groupent entre 10 et 36 m³/s. Le faible nombre d'observations ne permet pas d'étude statistique et aucune corrélation n'est possible dans ce domaine avec KOULIKORO. On a dû se contenter de situer les ordres de grandeur des étiages comme suit :

Etiage décennal (0,90)	10 m ³ /s
- le plus fréquent	15 à 20 m ³ /s
- moyen	20 à 25 m ³ /s

Ici aussi les débits du BANI sont grossièrement inférieurs de moitié à ceux du NIGER. La loi du tarissement, de même forme, admet un coefficient moyen de 0,016.

La crue maximale annuelle du BANI à DOUNA ne peut se produire qu'entre le 10 Septembre et le 20 Novembre avec une prédominance marquée (71 %) pour la période du 20 Septembre au 20 Octobre. Vu le petit nombre de données, il ne paraît pas y avoir d'écart systématique avec les dates d'apparition des crues du NIGER à KOULIKORO.

Pour un bassin étendu comme celui du BANI, il existe une bonne corrélation entre modules et crues maximales ce qui permet, connaissant la loi de distribution statistique des premiers, d'en déduire celle des seconds. Sur le schéma d'une loi de GIBRAT-GAUSS, on est arrivé aux conclusions suivantes :

Crue décennale (0,1)	3 040 m ³ /s
- centenaire (0,01)	3 550 m ³ /s
- millénaire (0,001)	4 060 m ³ /s

La valeur spécifique du débit de crue décennale n'est que de 30 l/s.km², alors qu'elle atteignait 66 l/s.km² pour KOULIKORO. En plus de la faiblesse du régime, il faut incriminer une pente plus faible du BANI et la présence de zones d'inondation non négligeables sur son haut-bassin (BAGOE en particulier).

Les crues annuelles observées varient, elles, entre 2 466 m³/s en 1954 et 3439 m³/s en 1954.

Soumis à un climat plus sec, donc à une évaporation plus forte le BANI a un coefficient d'écoulement moyen nettement inférieur à celui du NIGER : 17,8 % contre 27 %. Son déficit d'écoulement moyen vaut 1 132 mm pour la période observée 1950-1957, mais recalculée sur 35 ans, depuis 1923, à partir de la corrélation pluies-modules évoquée précédemment, il s'abaisse en fait à 1 050 mm, ce qui semble plus logique.

Le volume annuel qui s'écoule à DOUNA doit osciller entre 12 et 30 milliards de m³, avec 20 milliards comme moyenne probable.

Ces caractéristiques hydrologiques du BANI à DOUNA s'atténuent considérablement avant la confluence de MOPTI, par suite des nombreux débordements de la rivière. A SOFARA, dernière station par exemple, on ne trouve plus qu'un module moyen de 512 m³/s et une crue décennale estimée à 1 620 m³/s se produisant tardivement entre le 20 et le 31 Octobre. En revanche, l'irrégularité interannuelle est évidemment plus faible : $K_3 = 1,38$; le volume écoulé ne dépasse que difficilement 20 milliards de m³.

Le régime du NIGER à MOPTI est conditionné par celui du NIGER à KOULIKORO et du BANI à DOUNA et plus étroitement lié à ceux des stations de TILÉMBEYA et SOFARA, plus proches. Il en est de même, mais à un degré moindre, du régime à DIRE, en aval de la cuvette lacustre.

N.B. : Une note rectificative sur le régime du BANI à DOUNA sera publiée après cette Monographie. La revalorisation des relevés anciens, de la période 1922-40, portera le nombre d'années observées à la quinzaine. Il est possible que les débits présentés dans ce Chapitre, surtout ceux résultant de l'analyse statistique et corrélatrice, soient quelque peu modifiés. Mais, comparativement à KOULIKORO, les caractères qualitatifs intrinsèques du BANI ne seront évidemment pas influencés.

NIGER à KOULIKORO

- 9 -

Débits moyens mensuels (m³/s) - Année hydrologique de Mai à Avril

	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1907-08	52	274	823	1900	3908	3126	1983	920	352	160	73	36	1126
1908-09	34	205	668	2315	4300	4000	1664	793	314	163	93	60	1222
1909-10	184	897	1921	4902	6294	4562	2712	1128	515	191	87	52	1963
1910-11	47	192	848	3058	4542	3713	1432	573	248	90	48	32	1241
1911-12	53	306	1194	4133	6257	4147	1754	783	364	163	84	38	1609
1912-13	28	84	936	2315	4599	4704	1679	677	366	154	50	24	1307
1913-14	28	131	656	1284	3120	2335	1383	515	203	59	42	53	819
1914-15	89	286	602	1206	3689	3196	1162	587	199	67	31	29	933
1915-16	105	614	1586	2908	4879	3788	1481	656	345	165	67	38	1389
1916-17	45	147	1428	3382	5106	4182	1244	486	235	118	75	24	1377
1917-18	43	250	784	3621	5936	3756	1496	957	464	232	121	124	1487
1918-19	173	898	1685	4030	4632	4186	1832	857	398	192	120	48	1596
1919-20	58	597	1605	3268	4757	3790	1430	637	292	124	65	46	1392
1920-21	71	381	1518	2657	4434	3185	1454	629	264	118	74	43	1241
1921-22	42	104	709	2393	4058	2867	1227	586	220	106	46	32	1037
1922-23	95	219	622	2293	4535	5695	2406	1113	470	187	88	138	1495
1923-24	99	328	1388	3032	5051	4283	2451	1009	472	259	115	44	1547
1924-25	36	235	1883	5093	7344	7088	2616	1069	546	272	134	72	2211
1925-26	88	477	1595	4134	6859	8558	3919	1358	576	358	152	78	2365
1926-27	61	559	2192	3820	5929	4054	1795	937	457	197	83	43	1685
1927-28	96	291	1564	3230	5651	6234	4107	1332	617	286	120	61	1969
1928-29	131	411	1289	5107	7709	6054	2964	1126	608	260	163	107	2169
1929-30	120	784	2353	4261	6228	6385	2542	1022	519	293	153	93	2074
1930-31	88	925	1825	4674	6118	5884	2657	1013	558	271	127	166	2035
1931-32	327	947	1702	3877	5584	4731	1676	889	553	271	136	118	1738
1932-33	166	570	1769	3250	6599	4782	2187	971	485	229	142	88	1776
1933-34	94	500	2020	3978	6214	3523	1476	893	430	201	102	62	1631
1934-35	52	145	957	3642	5056	4194	2057	809	362	187	77	54	1473
1935-36	39	97	1124	4037	5224	4160	1478	612	266	127	76	44	1445
1936-37	357	694	1381	3023	5514	5836	2104	998	424	197	112	93	1736
1937-38	98	206	864	2310	4786	4033	1828	655	290	130	83	58	1283
1938-39	55	183	751	3107	5322	4780	2171	720	312	138	67	39	1476
1939-40	73	260	669	2262	4613	4925	2023	838	370	158	84	45	1362

NIGER à KOULIKORO

Débits moyens mensuels (m³/s) - Année hydrologique de Mai à Avril

	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module
1940-41	47	180	909	2671	3516	3657	1867	657	297	142	59	32	1175
1941-42	42	218	942	2420	5368	3093	1487	709	324	150	65	46	1242
1942-43	121	290	753	2251	4104	2155	1213	596	233	108	47	44	996
1943-44	72	165	667	2159	4762	3988	1479	539	245	106	43	28	1189
1944-45	49	111	472	1798	4445	2828	1333	528	199	93	39	23	995
1945-46	34	117	434	2772	4592	4266	1631	592	217	101	41	41	1242
1946-47	79	287	957	3034	4825	5273	2460	854	371	154	62	25	1539
1947-48	30	165	911	2599	5002	4333	1231	482	183	85	47	31	1261
1948-49	51	322	1643	3882	6086	4516	2088	757	365	190	108	98	1683
1949-50	82	122	619	3332	6281	3478	1433	656	286	145	74	42	1383
1950-51	65	128	730	2518	5198	5547	2391	768	374	207	142	87	1519
1951-52	221	544	1583	3753	5349	5431	5433	1814	751	419	208	116	2137
1952-53	100	186	1208	3221	5134	5513	2316	906	508	238	143	81	1638
1953-54	97	560	2174	4436	6575	5152	2373	1069	608	325	195	188	1988
1954-55	208	642	1947	4284	6127	5148	3280	1674	760	432	289	207	2091
1955-56	222	677	2037	4076	6095	5985	2763	1286	659	377	238	174	2054
1956-57	127	198	980	2272	4807	4561	1733	769	394	186	108	56	1356
1957-58	71	323	1333	3850	6495	6915	3581	1253	627	376	163	140	2101
Moyennes	95	361	1239	3214	5284	4560	2088	864	404	195	101	69	1545

CHAPITRE II

ETUDE DU REGIME A KIRANGO

Le régime à KIRANGO diffère peu du régime du NIGER à KOULIKORO. Deux facteurs interviennent cependant :

- 1°) Apports d'hivernage entre KOULIKORO et KIRANGO.
- 2°) Perturbations au régime de saison sèche causées par les prélèvements de l'Office du NIGER, pour les besoins de l'irrigation et le maintien en eau des canaux, ainsi que par les manoeuvres de hausses du barrage.

COMPARAISON ENTRE LES DEBITS MOYENS MENSUELS A KOULIKORO ET KIRANGO -

a) Années récentes (1950-1957) - Tableau n° 2 -

Par rapport à KOULIKORO, les débits moyens mensuels sont presque toujours déficitaires à KIRANGO ; ce déficit va croissant jusqu'en Septembre où il atteint $649 \text{ m}^3/\text{s}$ en moyenne ; il s'atténue ensuite, disparaît pratiquement de Novembre à Février puis réapparaît en étiage, lors des prélèvements de l'Office du NIGER ; en début de décrue, généralement les débits à KIRANGO sont légèrement excédentaires ($57 \text{ m}^3/\text{s}$ en Décembre).

Pendant les 4 mois pluvieux (Juin, Juillet, Août et Septembre), les débits moyens à KIRANGO sont inférieurs, du fait surtout du temps de propagation de la crue et de la montée très rapide à KOULIKORO. D'autre part, en Septembre les débits dérivés par le FALA du MOLODO sont certainement de l'ordre d'une centaine de m³/s. Tout cela compense les apports hydrauliques dus aux pluies dans le bassin intermédiaire, et même au-delà.

En Mars, Avril, Mai et Juin, nous retrouvons les prélèvements de l'Office du NIGER en amont du barrage. Ils croissent de Février à Mai. Nous ne pouvons guère nous fier au chiffre de Juin, car la retenue du barrage amortit certainement dans de fortes proportions les petites crues amont dues aux premières pluies de l'hivernage. De plus, les manoeuvres des hausses du barrage sont exécutées à la demande, c'est-à-dire sans liaison avec les stations amont. Il en résulte parfois des lâchures trop brutales suivies rapidement d'une remontée des hausses, le plan d'eau s'affaissant trop vite. Le régime, en tout début de crue, est donc assez irrégulier à l'aval du barrage. Une mesure limnimétrique journalière ne suffit plus pour apprécier convenablement les débits écoulés à travers le barrage.

Pendant les trois mois les plus secs : Mars, Avril et Mai, les prélèvements moyens mensuels de l'Office du NIGER semblent varier entre 25 et 110 m³/s suivant le débit amont naturel du fleuve.

En proportion du débit moyen naturel, retenons les chiffres suivants :

Abondance des débits de basses eaux	Pourcentage moyen du débit moyen mensuel (Mars, Avril, Mai) prélevé par l'O.N.
Etiage abondant (supérieur à 150 m ³ /s)	30 à 40 %
Etiage normal	50 à 60 %
Etiage sévère (inférieur à 50 m ³ /s)	(60 à 70 %) ?

TABLEAU N° 2

COMPARAISON DES DEBITS MOYENS MENSUELS ENTRE KIRANGO ET KOULIKORO
Années 1950 - 1958

Années	Stations	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1950-1951	KIRANGO				2229	4583	5334	2438	753	341	140	65	37
	KOULIKORO	65	128	730	2518	5198	5547	2391	768	374	207	142	87
	Ecart				- 289	- 615	- 213	+ 47	- 15	- 33	- 67	- 77	- 50
1951-1952	KIRANGO	91	431	1346	3270	4690	5060	4954	1979	807	363	154	77
	KOULIKORO	221	544	1583	3753	5349	5431	5433	1814	751	419	208	116
	Ecart	- 130	- 113	- 237	- 483	- 659	- 371	- 479	+ 165	+ 56	- 56	- 54	- 39
1952-1953	KIRANGO	50	105	967	2829	4642	5340	2404	977	471	210	118	52
	KOULIKORO	100	186	1208	3221	5134	5513	2316	906	508	238	143	81
	Ecart	- 50	- 81	- 241	- 392	- 492	- 173	+ 88	+ 71	- 37	- 28	- 25	- 29
1953-1954	KIRANGO	29	423	1994	3712	5973	5019	2398	1068	557	239	125	105
	KOULIKORO	97	560	2174	4436	6575	5152	2373	1069	608	325	195	188
	Ecart	- 68	- 137	- 180	- 724	- 602	- 133	+ 25	- 1	- 51	- 86	- 70	- 83
1954-1955	KIRANGO	102	537	1698	3693	5590	4948	3149	1750	766	415	194	164
	KOULIKORO	208	642	1947	4284	6127	5148	3280	1674	760	432	289	207
	Ecart	- 106	- 105	- 249	- 591	- 537	- 200	- 131	+ 76	+ 6	- 17	- 95	- 43

TABLEAU N° 2 (Suite)

COMPARAISON DES DEBITS MOYENS MENSUELS ENTRE KIRANGO ET KOULIKORO

Années 1950 - 1958

Années	Stations	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1955-1956	KIRANGO	130	459	1828	3473	5379	5798	2768	1299	667	381	182	104
	KOULIKORO	222	677	2037	4076	6095	5935	2763	1286	659	377	238	174
	Ecart	- 92	- 218	- 209	- 603	- 716	- 187	+ 5	+ 13	+ 8	+ 4	- 56	- 70
1956-1957	KIRANGO	59	112	908	1955	4002	4466	1739	799	517	247	59	22
	KOULIKORO	127	198	980	2272	4807	4551	1733	769	394	186	108	56
	Ecart	- 68	- 86	- 72	- 317	- 805	- 95	+ 6	+ 30	+ 123	+ 61	- 49	- 34
1957-1958	KIRANGO	19	186	1123	3218	5504	6382	3760	1375	629	340	97	87
	KOULIKORO	71	323	1333	3850	6495	6915	3581	1253	627	376	163	140
	Ecart	- 52	- 137	- 210	- 632	- 991	- 533	+ 179	+ 122	+ 2	- 36	- 66	- 53
Moyenne des écarts		- 81	- 125	- 305	- 504	- 677	- 238	- 32	+ 57	+ 9	- 28	- 61	- 50

TABLEAU N° 3

COMPARAISON DES DEBITS MOYENS MENSUELS ENTRE KIRANGO ET KOULIKORO

Années 1927 - 1934

Années	Stations	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1927-1928	KOULIKORO	96	291	1564	3230	5651	6234	4107	1332	617	286	120	61
	KIRANGO	66	155	1373	2896	5034	5894	3940	1351	551	233	112	74
	Ecart	- 30	- 136	- 191	- 334	- 617	- 340	- 167	+ 19	- 66	- 53	- 8	+ 13
1928-1929	KOULIKORO	131	411	1289	5107	7709	6054	2964	1126	608	260	163	107
	KIRANGO	91	266	1021	4099	6698	6007	2962	1114	525	238	124	86
	Ecart	- 40	- 145	- 268	- 1008	- 1011	- 47	- 2	- 12	- 83	- 22	- 39	- 21
1929-1930	KOULIKORO	120	784	2353	4261	6228	6385	2542	1022	519	293	153	93
	KIRANGO	85	533	2130	3790	5599	6110	2705	1022	458	243	133	76
	Ecart	- 35	- 251	- 223	- 471	- 629	- 275	+ 163	0	- 61	- 50	- 20	- 17
1930-1931	KOULIKORO	88	925	1825	4674	6118	5384	2657	1013	558	271	127	166
	KIRANGO	61	729	1540	4151	5647	5777	2753	987	470	206	99	75
	Ecart	- 27	- 96	- 285	- 523	- 471	- 107	+ 96	- 26	- 88	- 65	- 28	- 91

TABLEAU N° 3 (Suite)

COMPARAISON DES DEBITS MENSUELS MOYENS ENTRE KIRANGO ET KOULIKORO
Années 1927 - 1934

Années	Stations	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1931-1932	KOULIKORO	327	947	1702	3877	5584	4731	1676	889	553	271	136	118
	KIRANGO	158	675	1551	3570	4972	4825	1738	764	307	120	86	82
	Ecart	- 169	- 272	- 151	- 307	- 612	+ 94	+ 62	- 125	- 246	- 151	- 50	- 36
1932-1933	KOULIKORO	166	570	1769	3250	6599	4782	2187	971	485	229	142	88
	KIRANGO	108	350	1505	2994	5748	4864	2326	990	416	187	113	67
	Ecart	- 58	- 220	- 264	- 256	- 851	+ 82	+ 139	+ 19	- 69	- 42	- 29	- 21
1933-1934	KOULIKORO	94	500	2020	3978	6214	3523	1476	893	430	201	102	62
	KIRANGO	59	278	1834	3394	5737	3580	1544	878	363	154	75	45
	Ecart	- 35	- 222	- 186	- 584	- 477	+ 57	+ 68	- 15	- 67	- 47	- 27	- 17
Moyenne des Ecart		- 56	- 192	- 224	- 498	- 668	- 77	+ 51	- 25	- 97	- 61	- 29	- 27

B) Années anciennes (1927-1934) - Tableau n° 3

Il est intéressant de comparer les débits moyens mensuels à KOULIKORO et KIRANGO pour des années antérieures à la mise en eau du barrage de MARKALA. Nous avons choisi les 7 cycles hydrologiques compris entre 1927 et 1934.

Les résultats de cette comparaison ne sont pas très édifiants. Les débits moyens mensuels à KIRANGO restent inférieurs à ceux de KOULIKORO, en période de crue ; l'écart est du même ordre de grandeur que pour les années récentes. Le sens de l'écart change en Octobre et se maintient, irrégulièrement, jusqu'en Décembre seulement.

Le déficit de KIRANGO semble excessif en Janvier ($97 \text{ m}^3/\text{s}$) et en Février ($61 \text{ m}^3/\text{s}$) ; par contre, il s'atténue assez nettement en Mars, Avril et Mai. Les écarts moyens respectifs pour ces 3 mois sont de 29, 27 et $56 \text{ m}^3/\text{s}$ alors que depuis l'installation de l'Office du NIGER, ces écarts sont devenus 61, 50 et $81 \text{ m}^3/\text{s}$.

Si, pour ce trimestre, les prélèvements de l'Office du NIGER sont bien visibles, il ne semble pas qu'à l'échelle annuelle, ces quelques variations d'écarts suffisent à mettre en évidence les modifications apportées au régime du fleuve à KIRANGO par la mise en valeur de la rive gauche, et les besoins en eau d'irrigation. La propagation de la crue masque ces prélèvements à l'échelle mensuelle. En outre, les courbes d'étalonnage présentent une certaine imprécision, comme on le verra ci-après.

MODULES et VOLUMES ECOULES à KIRANGO -

Le tableau n° 4 donne les débits moyens mensuels, modules et volumes à KIRANGO pour les 2 périodes d'observations : 1925 à 1940 et 1950 à 1958. Il n'y a, en tout, que 20 années complètes pour lesquelles a été calculée la moyenne brute figurant en bas de ce tableau. Le module moyen ressort à $1573 \text{ m}^3/\text{s}$; pour la même série d'années, celui de KOULIKORO vaut $1805 \text{ m}^3/\text{s}$: il s'agit évidemment de valeurs trop fortes, puisque manquent les années déficitaires de la décennie 1940-1950. Le module moyen de KOULIKORO pour les 51 ans de 1907 à 1957 valant $1545 \text{ m}^3/\text{s}$, on peut admettre en première approximation que le module à KIRANGO varie proportionnellement et peut être pris égal à $1346 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la même période.

Ce chiffre accuse un déficit de 13 % par rapport au module de KOULIKORO. L'étalonnage de la courbe de KOULIKORO, qui a fait l'objet de nombreux recoupements (voir Première Partie de la Monographie), doit être exact à 2 ou 3 % près, celui de KIRANGO doit être un peu moins bon.

TABLEAU N° 4

DEBITS MOYENS MENSUELS A KIRANGO - (m³/s)

Années	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1925 - 1926			(1400)	3547	5735	7346	4271	(1400)			(112)	(55)		
1926 - 1927	45	308	1959	3368	5164	4233	1811	830	315	162	80	46	1535	48,4
1927 - 1928	66	155	1373	2896	5034	5894	3940	1351	551	233	112	74	1810	57
1928 - 1929	91	266	1021	4099	6698	6007	2962	1114	525	238	124	86	1944	61,3
1929 - 1930	85	533	2130	3790	5599	6110	2705	1022	458	243	133	76	1917	60,4
1930 - 1931	61	729	1540	4151	5647	5777	2753	987	470	206	99	75	1884	59,4
1931 - 1932	158	675	1551	3570	4972	4825	1738	764	307	120	86	82	1575	49,6
1932 - 1933	108	350	1505	2994	5748	4864	2326	990	416	187	113	67	1646	51,9
1933 - 1934	59	278	1834	3394	5737	3580	1544	878	363	154	75	45	1502	47,4
1934 - 1935	34	68	698	3034	4765	3892	2163	782	305	147	62	36	1337	42,1
1935 - 1936	27	38	854	3362	4838	4070	1593	568	221	97	51	24	1319	41,6
1936 - 1937	192	531	(1243)	2773	4634	5451	2139	1052	373	162	70	53	1565	49,4
1937 - 1938	57	128	627	(2064)	(4223)	3806	(1875)					46		
1938 - 1939	31	97	615	2568	4767	4628	2162	845	293	116	59	(35)	1355	42,7
1939 - 1940		(150)	(500)	1848	4126	4718								
1940 -	(20)	60	570	2199										
1950 - 1951	(30)	(75)	(650)	2229	4583	5334	2438	753	341	140	65	37	1396	44
1951 - 1952	91	431	1346	3270	4690	5060	5140	1979	807	363	154	77	1958	61,7
1952 - 1953	50	105	967	2829	4642	5340	2404	977	471	210	118	52	1521	48
1953 - 1954	29	423	1994	3712	5973	5019	2398	1068	557	239	125	105	1812	57,1
1954 - 1955	102	537	1698	3693	5590	4948	3149	1750	766	415	195	164	1925	60,7
1955 - 1956	130	459	1828	3473	5379	5798	2768	1299	667	381	182	104	1882	59,4
1956 - 1957	61	112	908	1955	4002	4466	1739	799	517	247	59	22	1246	39,3
1957 - 1958	19	186	1123	3218	5504	6382	3760	1375	629	340	97	87	1901	60
Moyenne brute (Sur 1926-27 à 36-37, 38-39 et 1950-51 à 57-58):	70	309	1308	3065	4951	4842	2459	1009	445	210	98	64	1573	

Nous avons repris cette question systématiquement pour les années connues à KIRANGO. Le graphique n° 1 fait état d'une correspondance remarquable entre les volumes annuels écoulés aux 2 stations. Le résultat aurait été le même avec les modules, mais il est plus intéressant d'étudier les volumes car le problème des pertes, dans cette Monographie de la cuvette lacustre, est primordial.

On constate :

- 1°) Une correspondance linéaire jusque vers 64 milliards de m³ à KOULIKORO.
- 2°) Un accroissement des pertes pour des années plus abondantes.
- 3°) Un écoulement identique à KIRANGO entre les années récentes et anciennes.

Remarquons tout d'abord que 64 milliards de m³ équivalent à un module de 2015 m³/s dont la fréquence d'apparition est décennale (f = 0,1) et que, dans 90 % des cas, par conséquent, se vérifie la relation :

$$V_{\text{KIRANGO}} = 0,95 V_{\text{KOULIKORO}} - 1,8 (10^9 \text{ m}^3). \quad (1)$$

La 3ème constatation précédente renferme une anomalie, car nous aurions dû trouver un écoulement supérieur pour les années anciennes, les prélèvements de l'Office du NIGER et le surcroît d'évaporation sur la retenue de MARKALA venant augmenter le passif du bilan hydrologique des années récentes dans le bief KOULIKORO - KIRANGO.

La lecture du graphique montre, en outre, que le bilan dans le bief est négatif et de l'ordre de 4 à 5 milliards de m³.

Peut-on, par une analyse détaillée des éléments de ce bilan, le reconstituer avec ses particularités relatives à chaque période d'observations ?

a) Actif du Bilan -

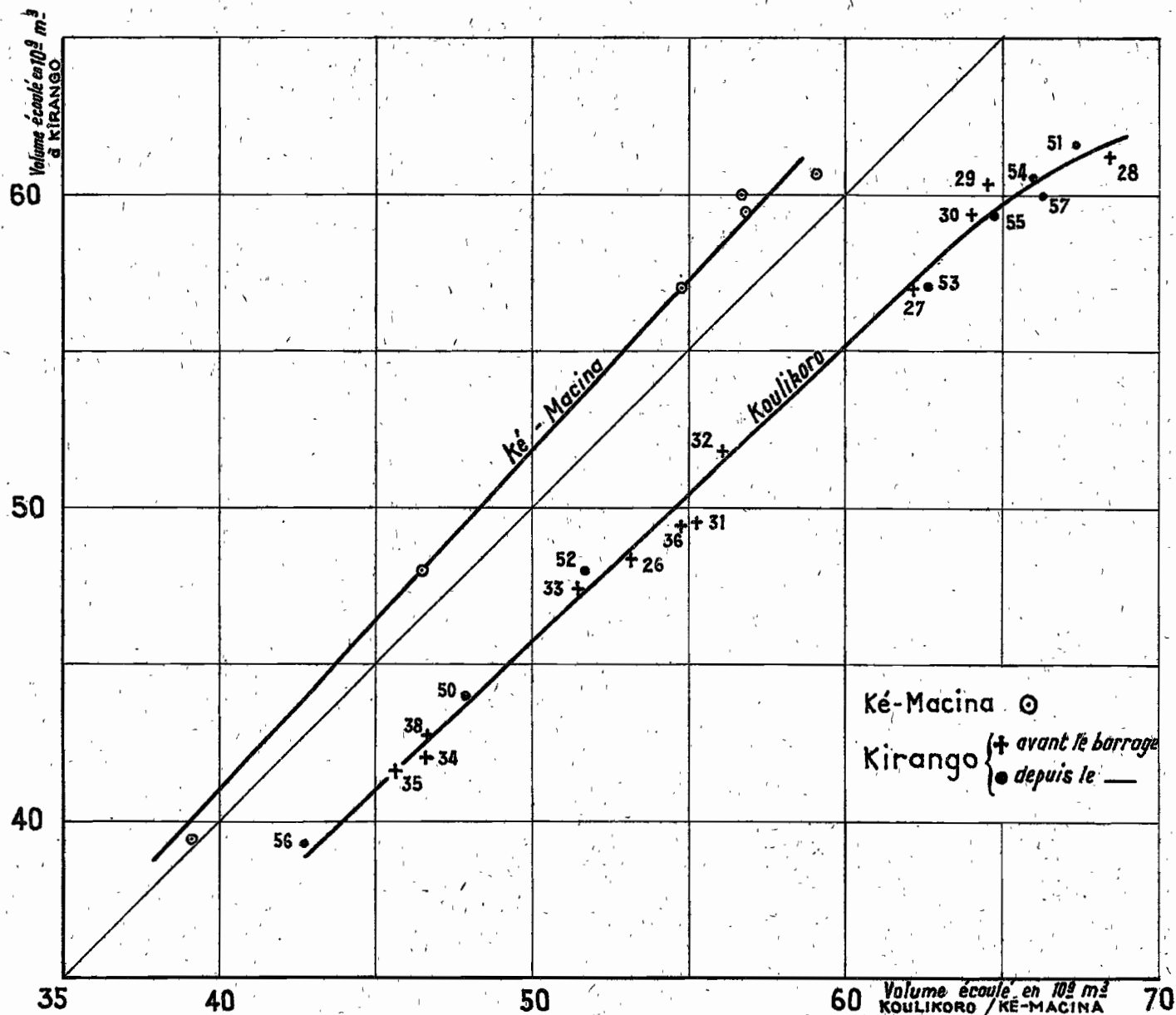
Il s'agit des apports du bassin intermédiaire (17 000 km²). L'estimation de REFFAY est correcte : 750 mm de pluviométrie moyenne, 10 % d'écoulement. Connaissant les écoulements sur petits bassins versants latéritiques, comme c'est en majorité le cas, nous avons pu préciser que ces apports devaient varier entre 0,5 et 1,5 milliard de m³ suivant la pluviométrie.

(1) ou $Q_{\text{KG}} = 0,95 Q_{\text{KL}} - 57 \text{ m}^3/\text{s}$ avec les modules

Correspondance des volumes écoulés entre KIRANGO, KOULIKORO et KÉ-MACINA

Gr. 1

NIG. 10.266



b) Passif du Bilan -

L'effluence du FALA et les autres débordements (très réduits) peuvent soustraire environ 200 millions de m^3 au fleuve.

Pour ce qui est de l'évaporation nous l'avons estimée à 100 millions de m^3 pour tout le bief, augmentés de 300 millions de m^3 depuis l'existence de la retenue de MARKALA.

Le point délicat concerne les prélèvements de l'Office du NIGER : ils n'ont jamais été mesurés systématiquement ; seules les hauteurs d'eau sont relevées à l'entrée des canaux. Une étude de cet organisme évaluait à 800 millions de m^3 les besoins en 1948 ; il semble que l'extension des périmètres irrigués conduise à prendre plus du double aujourd'hui. En admettant 2 milliards de m^3 , on arrive à un passif de 2,6 milliards pour les années récentes contre seulement 300 millions anciennement.

Le solde du bilan serait le suivant :

- Déficit de l'écoulement dans le bief KOULIKORO-KIRANGO variant de 1 à 2 milliards de m^3 , pour les années récentes, suivant la pluviométrie.
- Excédent des apports du bassin intermédiaire pouvant atteindre 1 milliard de m^3 , avant la construction du barrage.
- Il devrait y avoir, depuis 1950, environ 2 milliards de m^3 d'eau en moins à KIRANGO, c'est-à-dire en comparant les relevés récents et ceux d'avant 1940.

Les conclusions à tirer de cette analyse sont de deux ordres :

- Premièrement, les débits calculés pour la période 1950-58 à KIRANGO sont légèrement sous-estimés puisque l'on arrive à des pertes excédentaires de 2 à 4 milliards de m^3 dans le bief.

Pour un volume écoulé variant pratiquement de 45 à 65 milliards de m^3 , cela revient à une erreur moyenne de 4 à 5 %. Une telle erreur peut très bien être imputable aux imprécisions des courbes de tarage des 2 stations (1) Il n'y a donc pas lieu de s'alarmer de la divergence des résultats du bilan calculé et du bilan analysé, d'autant plus que les éléments de celui-ci ne sont connus qu'avec une notable marge d'incertitude.

(1) KIRANGO et KOULIKORO.

Quant au décalage de 2 milliards de m^3 qui aurait dû apparaître dans nos volumes calculés entre les 2 périodes d'observation, une si faible fraction, là encore, se confond avec l'imprécision normale du tarage et des estimations. Rappelons, en effet, que la traduction en débits des relevés anciens (Troisième Partie, Chapitre I) résulte d'un choix raisonnable mais non imposé de la correction (+ 0,10 m) à apporter à ces relevés. En prenant 0,15 m (décalage des 2 courbes de tarage) ou 0,18 m (décalage des 2 échelles) comme terme correctif, nous aurions pu gonfler les débits anciens et dépasser ainsi les volumes récents de quelques 2 milliards de m^3 , mais les débits et les cotes maximales entre les 2 périodes n'auraient plus été homogènes. Quant à la traduction brute des relevés anciens à l'aide de la courbe de tarage de l'Office du NIGER, elle aurait conduit à des résultats beaucoup trop forts pour les étiages. On peut d'ailleurs considérer qu'une des raisons vraisemblables de cette divergence réside dans le comblement possible du lit du fleuve à l'aval du barrage, c'est-à-dire au droit de KIRANGO, depuis sa mise en exploitation. La courbe de tarage de cette station, appliquée à des relevés anciens, peut donc entraîner des débits de basses eaux légèrement sous-estimés. Il est naturellement difficile d'apprécier l'influence de ce phénomène.

En conclusion, bien que les débits calculés pour KIRANGO paraissent légèrement sous-estimés, l'erreur est trop faible pour ne pas pouvoir être entièrement imputée à l'imprécision des étalonnages.

On comprendra, dans ces conditions, qu'il est inutile de tenter une analyse statistique des modules :

- 1) parce que les résultats en seraient aussi sous-estimés et que leur confrontation avec ceux de KOULIKORO pourraient induire en erreur;
- 2) parce qu'elle peut être "décalquée" purement et simplement sur celle des modules à KOULIKORO, la relation linéaire étroite liant les modules des 2 stations permettant sans difficulté de calculer les modules à KIRANGO pour les années non observées de la période 1907-1957, aucune d'entre elles n'ayant été assez abondante pour dépasser la limite supérieure (2015 m^3/s) de validité de la relation.

Les CRUES à KIRANGO -

Sur les 200 km qui séparent KOULIKORO de KIRANGO, les pointes de crues subissent un aplatissement notable ; en plus de l'étalement classique de l'onde de crue, il faut compter avec l'effluence du FALA qui n'affecte que les hautes eaux. Ces dernières se produisent en Septembre-Octobre, aussi

ne peuvent-elles pas bénéficier d'une compensation grâce aux apports du bassin intermédiaire, sur lequel les fortes crues de ruissellement ont plutôt lieu en Juillet et Août alors que le NIGER n'est pas encore plein.

Entre KOULIKORO et KIRANGO, le décalage dans le temps des maximums varie entre 4 et 5 jours, soit une vitesse de propagation du maximum de 45 à 55 kilomètres par jour.

La crue 1952-1953 a présenté à KOULIKORO deux poussées distinctes (6,52 m le 21 Septembre et 6,49 m le 11 Octobre), c'est la seconde pointe qui a donné le maximum à KIRANGO (6,42 m le 27 Septembre et 6,56 le 14 Octobre). Malgré la faible extension des zones d'inondation, ceci montre que le bassin intermédiaire présente une inertie appréciable.

Le graphique n° 2 permet de suivre la variation des débits maximaux de KIRANGO en fonction de ceux de KOULIKORO.

Cette variation reste linéaire jusqu'à 6500 m³/s (1) à KOULIKORO, elle correspond à un écrêtement d'environ 500 m³/s. Au-delà, l'aplatissement prend de l'importance puisque la crue de KIRANGO ne semble pas pouvoir dépasser 7500 m³/s quand le débit passé à KOULIKORO se situe au-delà de 9000 m³/s.

Les points relatifs aux crues d'avant 1940 et depuis 1950 sont sur la même courbe, ce qui est normal car, en crue, toutes les hausses du barrage sont baissées pour laisser le flot s'écouler.

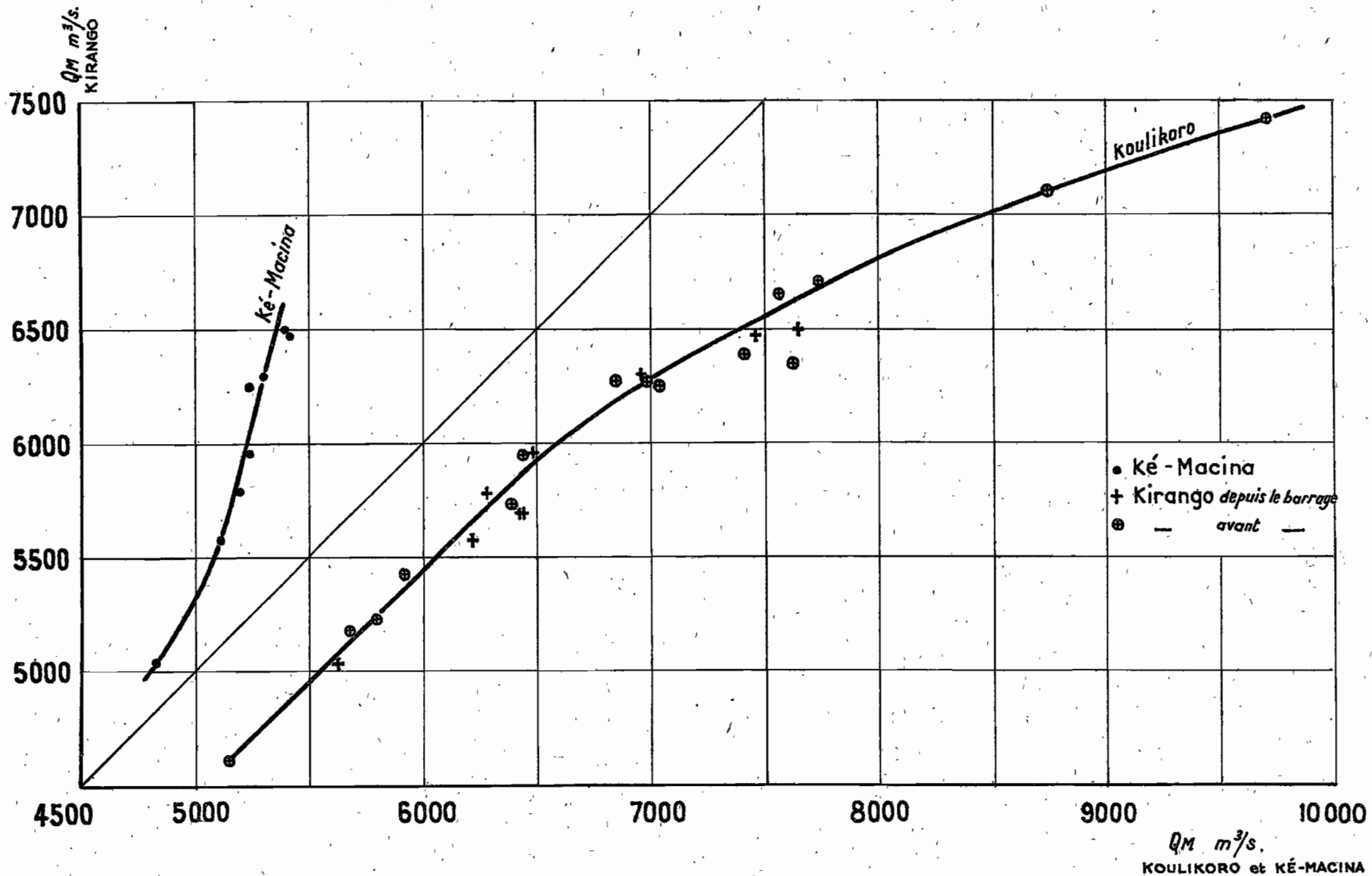
L'homogénéité de ces crues donne sa justification au mode choisi pour la traduction des relevés.

Comme pour les modules, il aurait été possible, bien qu'avec une précision inférieure, de calculer les débits maximaux non observés de la période 1907-1957, mais l'imprécision des débits risquait, là aussi, d'entacher d'erreurs les résultats de l'analyse statistique. Nous nous sommes contentés, en utilisant la courbe de correspondance avec KOULIKORO, de choisir les valeurs des débits maximaux les plus vraisemblables pour les fréquences :

- décennale : 6750 m³/s
- centenaire : 7500 m³/s

(1) Débit dépassé 18 fois en 51 ans.

Correspondance entre les débits maximaux de crue à KIRANGO,
KOULIKORO et KÉ-MACINA.



ANNEXE -

Nous présenterons en annexe des divers chapitres ayant trait au régime des stations hydrométriques, les principales valeurs caractéristiques extraites des débits observés à ces stations.

1°) Débits d'étiage absolus avec date d'apparition, cote à l'échelle et cote nivelée quand la dite échelle a été rattachée au nivellement général.

2°) Débits de crues annuelles avec dates et cotes correspondantes. On remarquera pour les stations, comme MOPTI et DIRE, où l'étalonnage suit 2 branches distinctes pour la crue et la décrue, que débits maximaux et cotes maximales ne coïncident pas. Les tableaux donnent les dates différentes relatives aux 2 phénomènes.

3°) Débits caractéristiques d'étiage DCE
de 9 mois DC 9
de 6 mois ou "débit médian" DC 6
de 3 mois DC 3
de crue DCC.

En outre, 1 ou 2 graphiques donneront des exemples de crues fortes ou faibles à ces stations.

NIGER A KIRANGO - Périodes:1925-1940 et 1950-1958

Gote du zéro de l'échelle:274,99 m (I.G.N.)

Débits d'étiage absolus

Année:	Date	Débit : : m ³ /s	Cote brute : : en mètres	Cote nivelée : : en mètres
1926	27 au 29 Mai	41	0,41	275,40
1927	19 et 20 Avril	39	0,39	275,38
1928	13 et 14 Avril	67	0,61	275,60
1929	4 au 6 Mai	74	0,66	275,65
1930	20 au 23 Mai	50	0,50	275,49
1931	10 Avril	59	0,56	275,55
1932	16 au 18, 23 au 25, et 27 Avril	74	0,66	275,65
1933	2 Mai	47	0,47	275,46
1934	29 au 31 Mai et 1er Juin	26	0,26	275,25
1935	28 au 31 Mai et 1er au 4 Juin	22	0,22	275,21
1936	29 et 30 Avril	13	0,13	275,12
1937	15 Avril	49	0,49	275,48
1938	6 au 9 Mai	22	0,22	275,21
1951	12 Mai	16	0,12	275,11
1952	16 Mai	13	0,06	275,05
1953	8 au 15 Mai	11	0,02	275,01
1954	5 et 6 Mai	44	0,44	275,43
1955	10 et 11 Mai	71	0,64	275,63
1956	11 au 22 Mai	40	0,40	275,39
1957	26 Avril au 31 Mai	19	0,19	275,17
1958	14 Mai	29	0,29	275,28

Etiages extrêmes : 11 et 74 m³/s

Dates extrêmes : 10 Avril et 4 Juin.

NIGER A KIRANGO

Grues Annuelles

Année	Date	Débit m ³ /s	Cote brute en mètres	Cote nivelée en mètres
1925	9 Octobre	7416	7,61	282,60
1926	29 Septembre	6253	6,86	281,85
1927	11 au 13 Octobre	6284	6,88	281,87
1928	29 Septembre	7105	7,41	282,40
1929	13 au 16 Octobre	6652	7,12	282,11
1930	13 et 14 Octobre	6268	6,87	281,86
1931	2 Octobre	5958	6,67	281,66
1932	24 Septembre	6700	7,15	282,14
1933	18 au 20 Septembre	6392	6,95	281,94
1934	12 Septembre	5420	6,32	281,31
1935	5 au 7 Octobre	5225	6,19	281,18
1936	10 au 12 Octobre	6346	6,92	281,91
1937	14 Septembre	4610	5,78	280,77
1938	10 Octobre	5741	6,53	281,52
1939	9 et 10 Octobre	5180	6,16	281,15
1950	5 au 7 Octobre	5695	6,50	281,49
1951	28 Septembre	5555	6,41	281,40
	20 et 21 Novembre	5695	6,50	281,49
1952	14 Octobre	5788	6,56	281,55
1953	14 Septembre	6299	6,89	281,88
1954	25 et 26 Septembre	5958	6,67	281,66
1955	11 Octobre	6486	7,01	282,00
1956	5 Octobre	5571	6,42	281,41
1957	26 au 30 Septembre	6500	7,02	282,01

Grues extrêmes : 4610 et 7416 m³/s

Dates extrêmes : 12 Septembre - 21 Novembre.

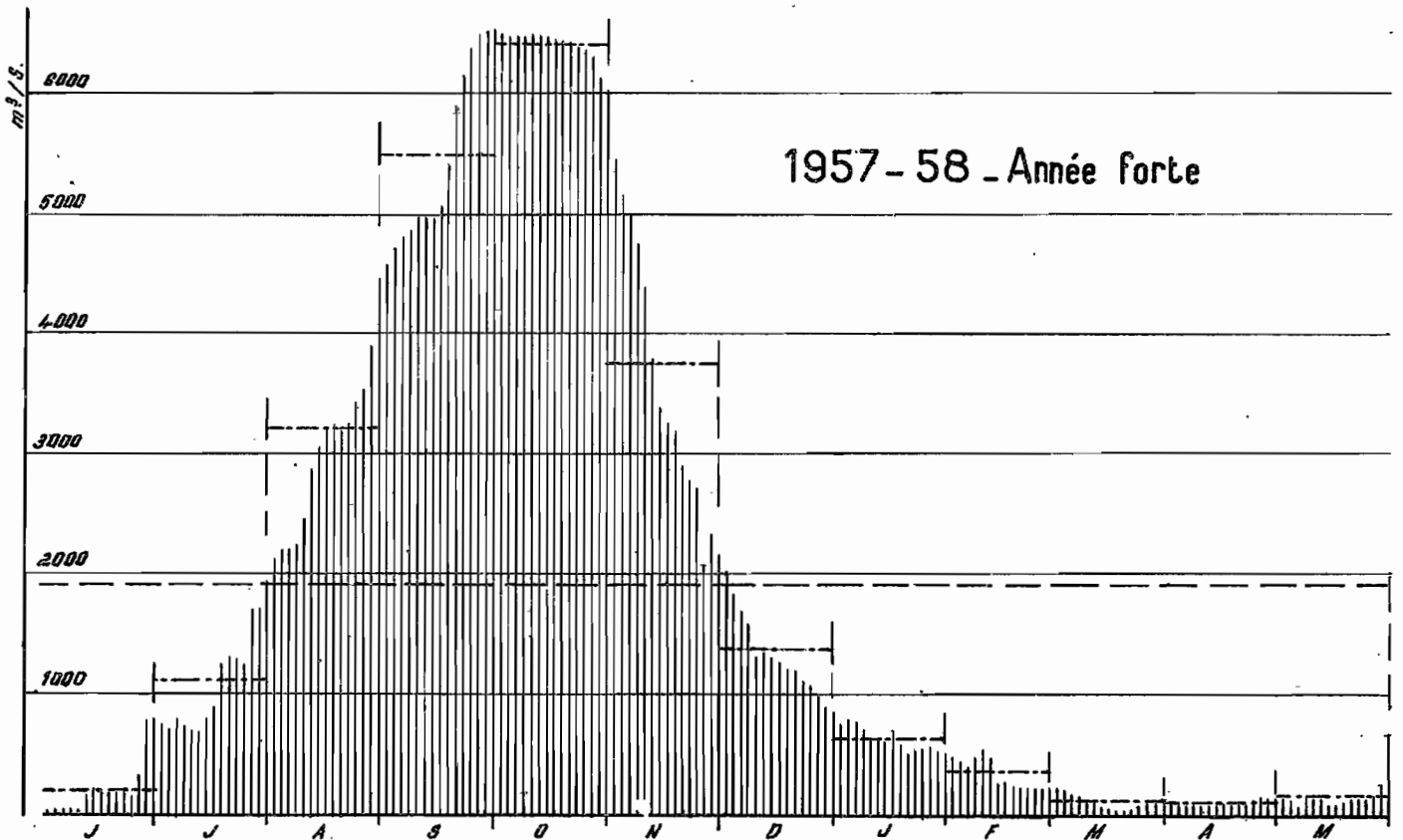
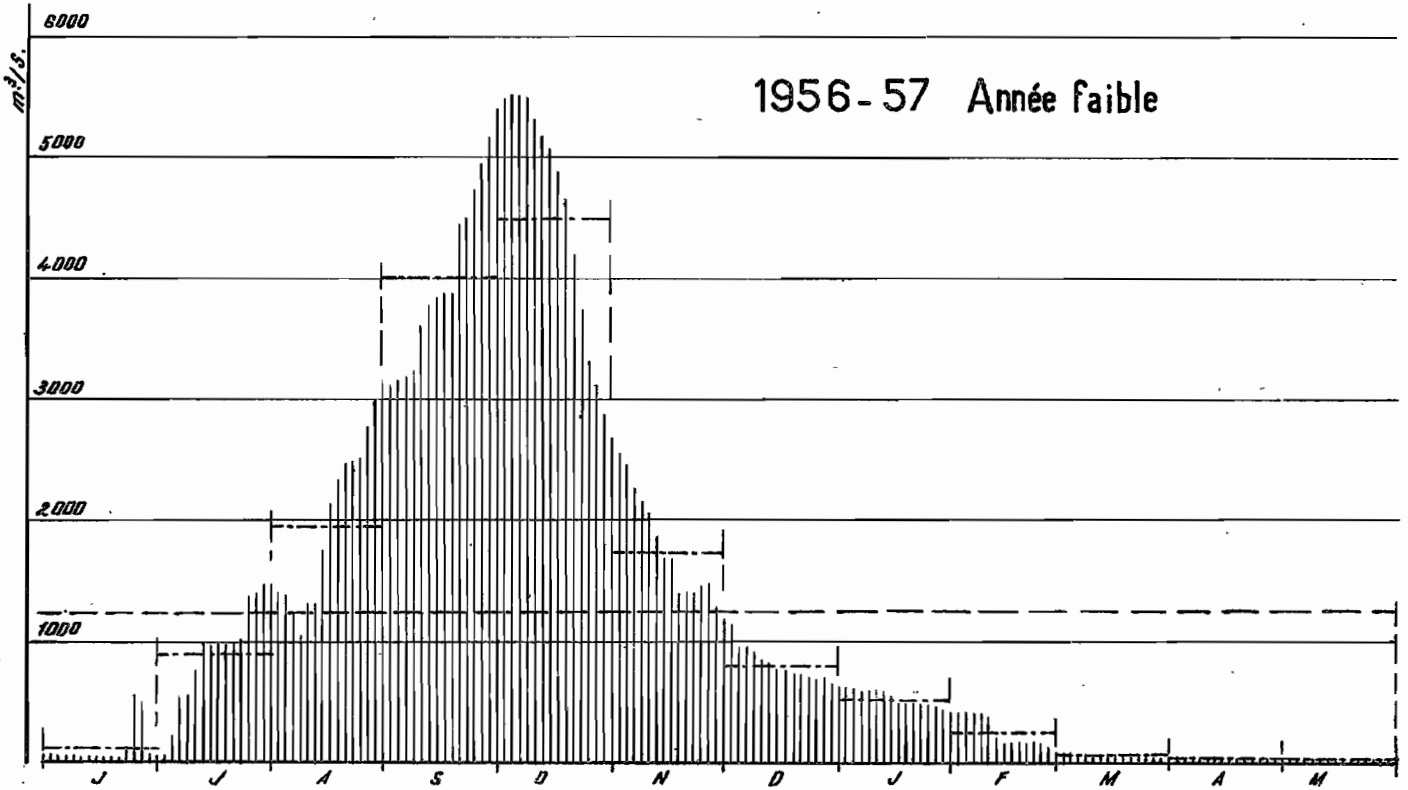
NIGER A KIRANGO

Débits caractéristiques en m³/s

Années	DCE	DC 9	DC 6	DC 3	DCC
1925 - 1926	49			3662	7195
1926 - 1927	44	83	578	2330	5989
1927 - 1928	71	103	730	3891	6051
1928 - 1929	82	158	617	3344	6946
1929 - 1930	73	152	835	3156	6515
1930 - 1931	71	120	978	3396	6160
1931 - 1932	74	128	637	2616	5772
1932 - 1933	59	143	643	2390	6500
1933 - 1934	40	83	669	2180	6191
1934 - 1935	35	58	330	2440	5285
1935 - 1936	19	45	305	2360	4970
1936 - 1937	50	138	663	2220	6144
1937 - 1938	32			1912	4430
1938 - 1939		68	385	2320	5525
1939 - 1940					5090
1950 - 1951	30			2490	5540
1951 - 1952	63	208	902	4040	5480
1952 - 1953	42	100	513	2572	5602
1953 - 1954	65	152	872	2842	6129
1954 - 1955	155	216	977	3554	5896
1955 - 1956	99	224	970	3120	6470
1956 - 1957	20	65	591	1665	5375
1957 - 1958	48	140	765	3180	6454

LE NIGER A KIRANGO

Gr. 3



NIG 10 268

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: I-B-NCHLXI

DES: F. COUPPIE

VISA:

TUBE N°:

A1

CHAPITRE III

ETUDE DU REGIME A KE MACINA

KE MACINA est la première station de la cuvette lacustre proprement dite. Le bassin intermédiaire, depuis KIRANGO, ne fournit plus aucun apport par ruissellement. Le fleuve s'élargit considérablement, les bras latéraux apparaissent ainsi que les zones d'inondation. Les volumes écoulés cessent nettement de croître avec la superficie du bassin.

La station est d'installation récente ; de plus c'est une station hydrométrique secondaire et la courbe d'étalonnage présente un nombre de jaugeages restreint.

Les facteurs essentiels du régime sont :

- 1°) Atténuation de la crue et des débits moyens mensuels d'hivernage par rapport à KIRANGO (inondations qui deviennent importantes).
- 2°) Renforcement des débits d'étiage par drainage et restitution naturelle dans des proportions importantes (les débits d'étiage faibles peuvent se trouver doublés et même triplés par rapport à KIRANGO).
- 3°) Apparition d'une perte systématique chaque année augmentant avec le volume écoulé, caractéristique de la cuvette lacustre. Les apports locaux sont quasi-nuls (étroitesse du bassin réel par suite de l'encaissement du lit et des contre-pentes perpendiculaires aux rives). Pertes par évaporation,

inondations augmentant le facteur évaporation, déversements vers le Nord surtout, alimentation de la végétation, infiltrations restituées en partie par drainage au moment du tarissement .

4°) Influence de la stabilisation des cotes maximales quelle que soit la crue, causée par la proximité du DIAKA (45 km), et des marigots effluents à l'aval du DIAKA sur la rive gauche.

I - ETIAGES -

A partir du mois de Décembre inclus, les débits moyens à KE MACINA sont excédentaires par rapport à KIRANGO. Il semble que l'effet du drainage des zones inondées en crue et de la nappe commence à se faire sentir lorsque le débit à KIRANGO devient inférieur à 1 800 m³/s. L'écart excédentaire croît d'abord et semble être le plus fort en Janvier, la décrue étant sans doute plus rapide que l'abaissement de la charge de la nappe, il en résulte une augmentation du débit de restitution au fleuve. Puis en Février, Mars, Avril et Mai, la restitution baisse lentement et reste même en Mai 1953, supérieure à 30 m³/s donnant un débit moyen de Mai de 62 m³/s à KE MACINA (Tableau n° 8).

En 1956-1957, nous trouvons en Janvier et Février un écart négatif faible indiquant l'absence de restitution. La crue 1956-1957 présente une hydraulicité nettement plus faible que les années précédentes.

Si l'on considère, comme indice d'évaluation, le nombre de jours de la crue à KOULIKORO où la cote a dépassé le niveau 6,50 m, on trouve en effet :

	Nombre de jours où la cote est supérieure à 6,50 m à KOULIKORO	Cote maximale à MACINA en mètres
1952-1953	41	6,92
1953-1954	56	6,98
1954-1955	49	6,95
1955-1956	59	7,04
1956-1957	24	6,88
1957-1958	44	7,03

TABLEAU N° 8

COMPARAISON DES DEBITS MOYENS MENSUELS ENTRE KIRANGO ET KE MACINA
Années 1952 à 1958

Années	Stations	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1952-1953	KIRANGO	50	105	967	2829	4642	5340	2404	977	471	210	118	52
	KE MACINA		165	907	2592	4227	4990	2416	1080	584	302	170	96
	Ecart	+ 60	- 60	- 237	- 415	- 350	+ 12	+ 103	+ 113	+ 92	+ 52	+ 44	
1953-1954	KIRANGO	29	423	1994	3712	5973	5019	2398	1068	557	239	125	105
	KE MACINA	62	406	1824	3350	5178	4742	2363	1199	703	344	215	199
	Ecart	+ 33	- 17	- 170	- 362	- 795	- 277	+ 35	+ 131	+ 146	+ 105	+ 90	+ 94
1954-1955	KIRANGO	102	537	1698	3693	5590	4948	3149	1750	766	415	194	164
	KE MACINA	195	600	1558	3443	5019	4662	3148	1802	895	493	289	254
	Ecart	+ 93	+ 63	- 140	- 250	- 571	- 286	+ 1	+ 52	+ 129	+ 78	+ 95	+ 90
1955-1956	KIRANGO	130	459	1828	3473	5379	5798	2768	1299	667	381	182	104
	KE MACINA	205	485	1748	3222	4914	5143	2779	1379	785	433	283	196
	Ecart	+ 75	+ 26	- 80	- 251	- 465	- 655	+ 11	+ 80	+ 118	+ 52	+ 101	+ 92

TABLEAU N° 8 (Suite)

COMPARAISON DES DEBITS MOYENS MENSUELS ENTRE KIRANGO ET KE MACINA

Années 1952 à 1958

Années	Stations	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
1956-1957	KIRANGO	59	112	908	1955	4002	4456	1739	799	517	247	59	22
	KE MACINA	121	165	860	1860	3820	4327	1850	918	502	241	124	75
	Ecart	:+ 62	:+ 53	:- 48	:- 95	:- 182	:- 139	:+ 111	:+ 119	:- 15	:- 6	:+ 65	:+ 53
1957-1958	KIRANGO	19	186	1123	3218	5504	6382	3760	1375	629	340	97	87
	KE MACINA	63	209	1146	2999	4896	5351	3656	1435	753	460	198	186
	Ecart	:+ 44	:+ 23	:+ 23	:- 219	:- 608	:- 1031	:- 104	:+ 60	:+ 124	:+ 120	:+ 101	:+ 99
Moyenne des écarts		:+ 61	:+ 35	:- 87	:- 236	:- 505	:- 456	:- 1	:+ 91	:+ 102	:+ 70	:+ 84	:+ 79

Il semble que le facteur prépondérant des interactions entre nappe et fleuve soit la durée pendant laquelle les niveaux sont maintenus, plutôt que les niveaux eux-mêmes.

L'anomalie relevée en 1956-1957 peut s'expliquer de la manière suivante (voir Graphique n° 4).

1°) Forte crue - Temps de submersion élevé -

- a) Lorsque la cote du fleuve en crue dépasse le niveau moyen de la nappe, il y a écoulement vers la nappe et enrichissement du volume accumulé V. Ceci reste vrai dans le début de la décrue.
- b) A partir d'une certaine cote de décrue, c'est la nappe qui commence à restituer au fleuve en utilisant la réserve du volume V.
- c) Si le volume V est important, c'est-à-dire si les durées de submersion et d'infiltration ont été longues, il est concevable que, même lorsque le niveau du fleuve atteint le niveau moyen de la nappe, l'écoulement ait toujours lieu dans le sens nappe-fleuve au détriment du volume V.
- d) En basses eaux, le niveau du fleuve étant plus bas que celle de la nappe, c'est cette dernière qui renforce considérablement les débits d'étiage.

2°) Faible crue - Temps de submersion faible -

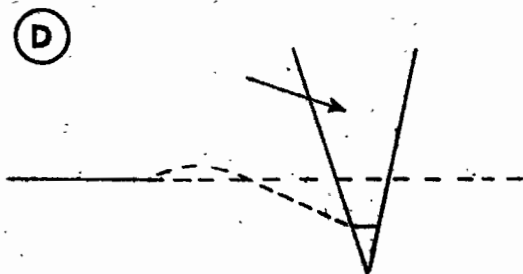
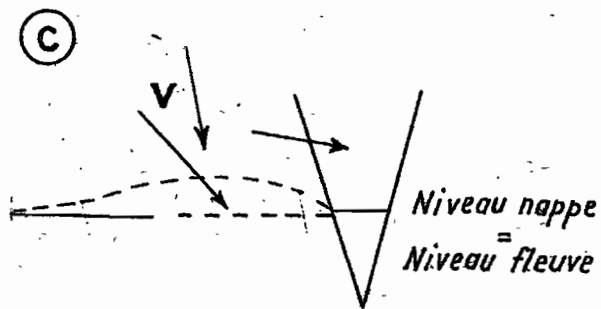
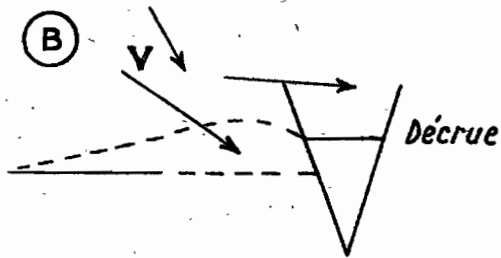
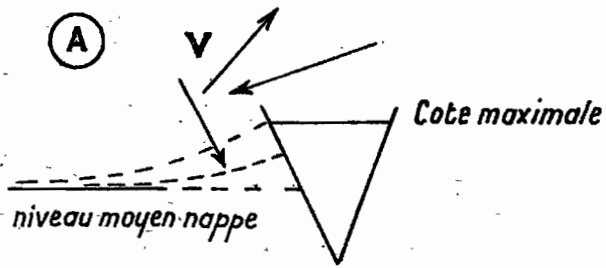
- a) La durée des hautes eaux étant faible, le volume V emmagasiné reste bien inférieur au cas précédent.
- b) En décrue, le volume V s'épuise rapidement de telle façon que la restitution peut s'annuler lorsque le niveau du fleuve atteint sensiblement celui de la nappe.
- d) En étiage, la restitution aux dépens de la nappe elle-même reprend au fur et à mesure que le fleuve baisse.

II - COMPARAISON DES DEBITS DE BASSES EAUX A KOULIKORO ET KE MACINA -

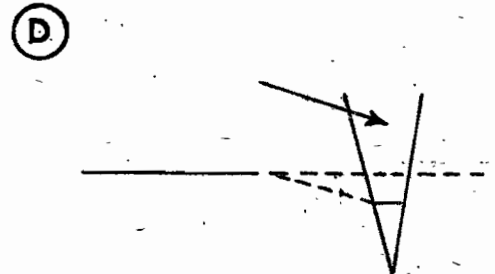
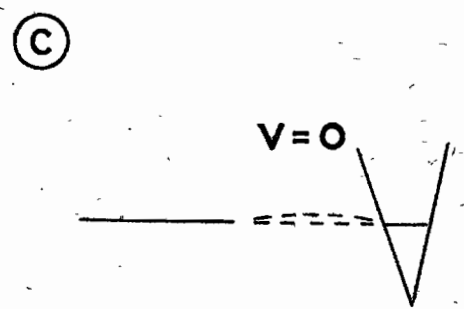
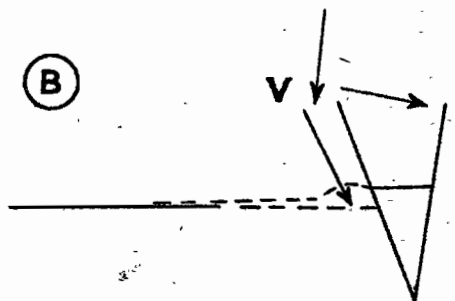
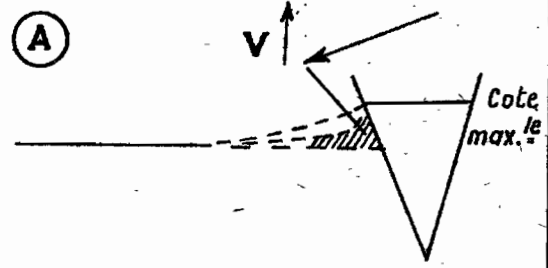
Nous ne possédons pas assez de relevés à KE MACINA pour en déduire des lois sûres.

Mouvements de la nappe et restitutions du fleuve suivant l'importance de la crue.

① Forte crue
Temps de submersion élevé



② Faible crue
Temps de submersion faible



On peut dire qu'en général, les débits moyens mensuels des mois maigres (Février, Mars, Avril, Mai et Juin) à KE MACINA sont supérieurs ou équivalents aux valeurs correspondantes à KOULIKORO (Tableau n° 9).

Mais il ne peut y avoir de corrélation précise, car il suffit d'une lâchure précoce du barrage de MARKALA pour rehausser l'étiage absolu à KE MACINA.

Néanmoins, il ressort que les prélèvements de l'Office du NIGER effectués au détriment des débits naturels de basses eaux du NIGER sont sensiblement compensés par les apports de la vallée dès KIRANGO, c'est-à-dire sur un parcours de 100 km environ.

Malgré cela, les étiages absolus peuvent rester inférieurs (pour KE MACINA) à ceux de KOULIKORO, bien que largement améliorés par comparaison à ceux de KIRANGO, du fait même que le drainage naturel de la vallée est lent et n'a pas le temps de compenser un prélèvement rapide à MARKALA.

Retenons, toutefois, que les valeurs des faibles débits à KE MACINA ont été, comme nous l'avons vu (III^e partie, Chapitre I, F), supputées par extrapolation, et qu'il peut être aléatoire de les comparer trop soigneusement avec celles de KOULIKORO dont nous sommes beaucoup plus sûrs.

III - CRUES -

Les relevés que nous possédons correspondent à des années au-dessus de la moyenne en volume écoulé, sauf en ce qui concerne 1956-1957. Les cotes maximales à KOULIKORO ont égalé ou dépassé 6,48 m. Il en résulte que le palier a été atteint à TILENBEYA et cet effet de stabilisation s'est fait sentir de l'aval vers l'amont.

Les cotes maximales à KE MACINA sont voisines de 7 m (6,88 m à 7,04 m). Le débit correspondant est d'environ 5 300 m³/s. Il n'existe évidemment aucune corrélation entre les cotes maximales atteintes et le module de l'année correspondante.

Malgré l'atténuation des débits de crues, l'amplitude des variations du plan d'eau à KOULIKORO peut être inférieure à celle de KE MACINA. En effet, pour des cotes d'étiage comparables si la cote maximale à KOULIKORO dépasse 6,20 m, la cote à KE MACINA sera comprise entre 6,90 et 7 m. Lorsque la cote maximale à KOULIKORO devient supérieure à 7 m, ce fait ne se vérifie plus puisque le maximum à KE MACINA n'augmente que dans de très faibles proportions.

TABLEAU N° 9

COMPARAISON DES DEBITS DE BASSES EAUX A
 KOULIKORO ET KE MACINA (en m³/s)

Année	Février		Mars		Avril		Mai		Juin		Etiage absolu	
	K	K.M	K	K.M	K	K.M	K	K.M	K	K.M	K	K.M
1953	238	302	143	170	81	96	97	62	560	406	60	35
1954	325	344	195	215	188	199	208	195	642	600	130	97
1955	432	493	289	289	207	254	222	205	677	485	137	127
1956	377	433	238	283	174	196	127	121	198	165	107	82
1957	186	241	108	124	56	75	71	63	323	209	36	57
1958	376	460	163	198	140	186	267	221	824			87

L'atténuation du débit entre KIRANGO et KE MACINA est essentiellement due aux déversements. Leur importance est faible en dessous de 5 000 m³/s à KIRANGO ; mais, pour des débits supérieurs, l'atténuation s'amplifie et l'écart entre les 2 stations, parti de quelques 250 m³/s, grimpe au-delà de 1 000 m³/s (Graphiques n° 5 et n° 6), quand le débit à KIRANGO dépasse 6300 m³/s.

Le débit maximal à KE MACINA ne doit pas pouvoir dépasser aisément 5 700 m³/s, chiffre à retenir pour la crue centenaire, 5450 m³/s étant adopté pour la crue décennale.

IV - DEBITS MOYENS MENSUELS A KIRANGO ET KE MACINA -

Mois par mois, il existe une très bonne correspondance entre KIRANGO et KE MACINA.

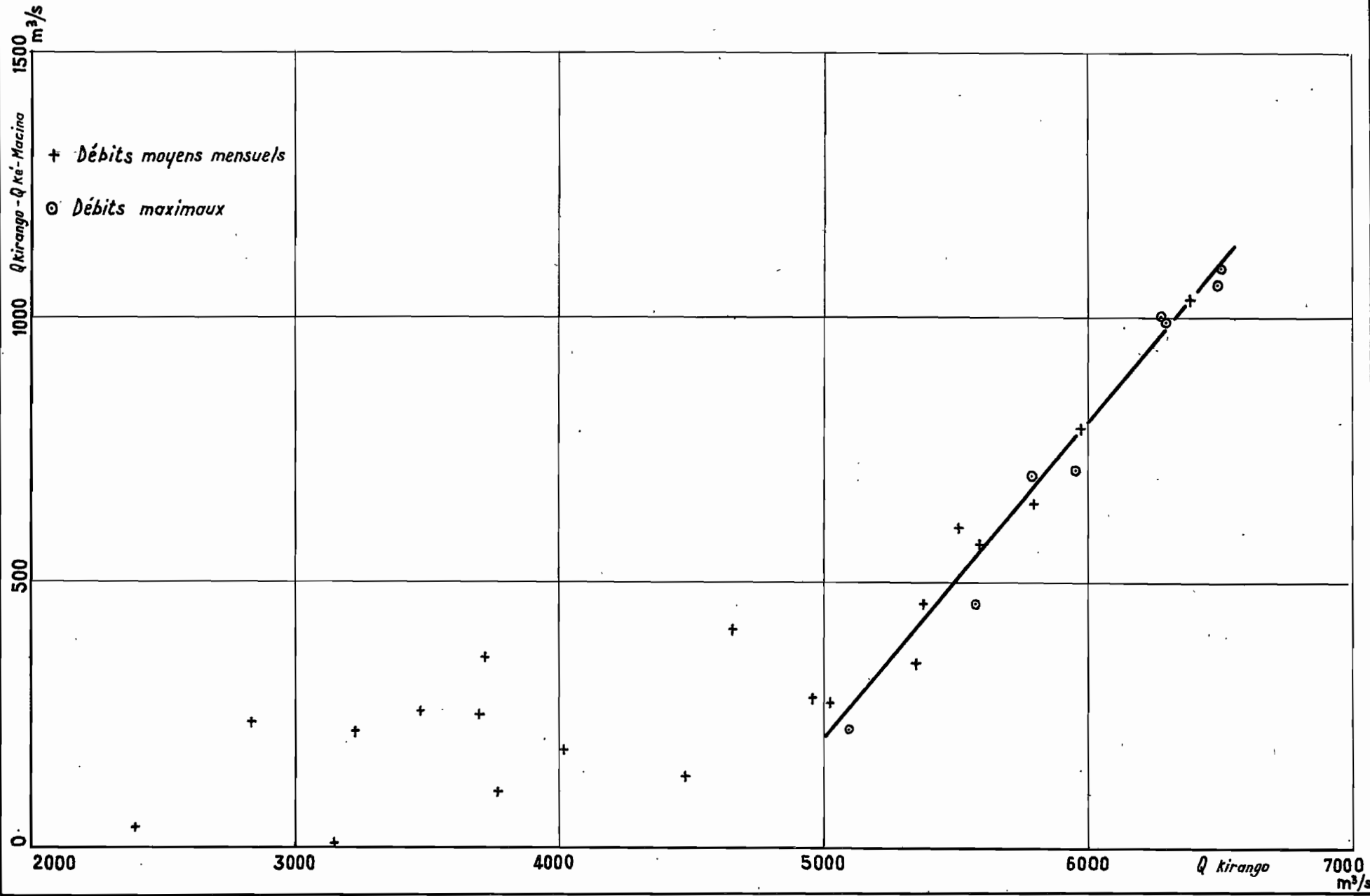
Pendant toute la crue et une partie de la décrue, les débits moyens mensuels sont inférieurs pour KE MACINA. La différence augmente régulièrement avec les débits. En décrue, pour des débits moyens mensuels inférieurs à 3 000 m³/s environ, le signe de la différence change de sens jusqu'à la crue prochaine (Graphique n° 6).

Le tableau n° 10 donne le détail des débits moyens mensuels à KE MACINA pour la période d'observation (1952-57, soit 6 années). La moyenne brute donne un module moyen de 1 650 m³/s, nettement trop fort puisque 5 de ces 6 années ont une hydraulicité excédentaire. En effectuant une correction d'hydraulicité basée sur les données de KOULIKORO, on trouve un module de 1 360 m³/s pour la période 1907-57. Il ne faut pas attacher trop d'importance à ce chiffre, car les débits de KE MACINA ne sont pas connus avec une grande précision. On ne peut donc pas y puiser un argument supplémentaire en faveur de la faiblesse des débits de KIRANGO, où le module était estimé à 1 346 m³/s. Ou le module de KIRANGO dépasse 1 400 m³/s, ou celui de KE MACINA ne doit pas excéder 1 300 m³/s. On ne peut pas trancher ce dilemme, à cause des imprécisions de mesure déjà évoquées.

Les pertes totales sur les 100 km du bief KIRANGO-KE MACINA semblent cependant un peu faibles, puisqu'elles ne dépassent pas 2 milliards de m³ alors que les déversements en rive droite sont abondants (la rive gauche est endiguée).

C'est pourquoi, comme à KIRANGO, il est inutile d'essayer de calculer les modules sur 51 ans et d'en faire l'analyse statistique, dans l'état actuel de nos connaissances.

Atténuation du débit entre KIRANGO et KÉ-MACINA



NIG 10 270

Correspondance entre les débits moyens mensuels
à KIRANGO et KÉ-MACINA

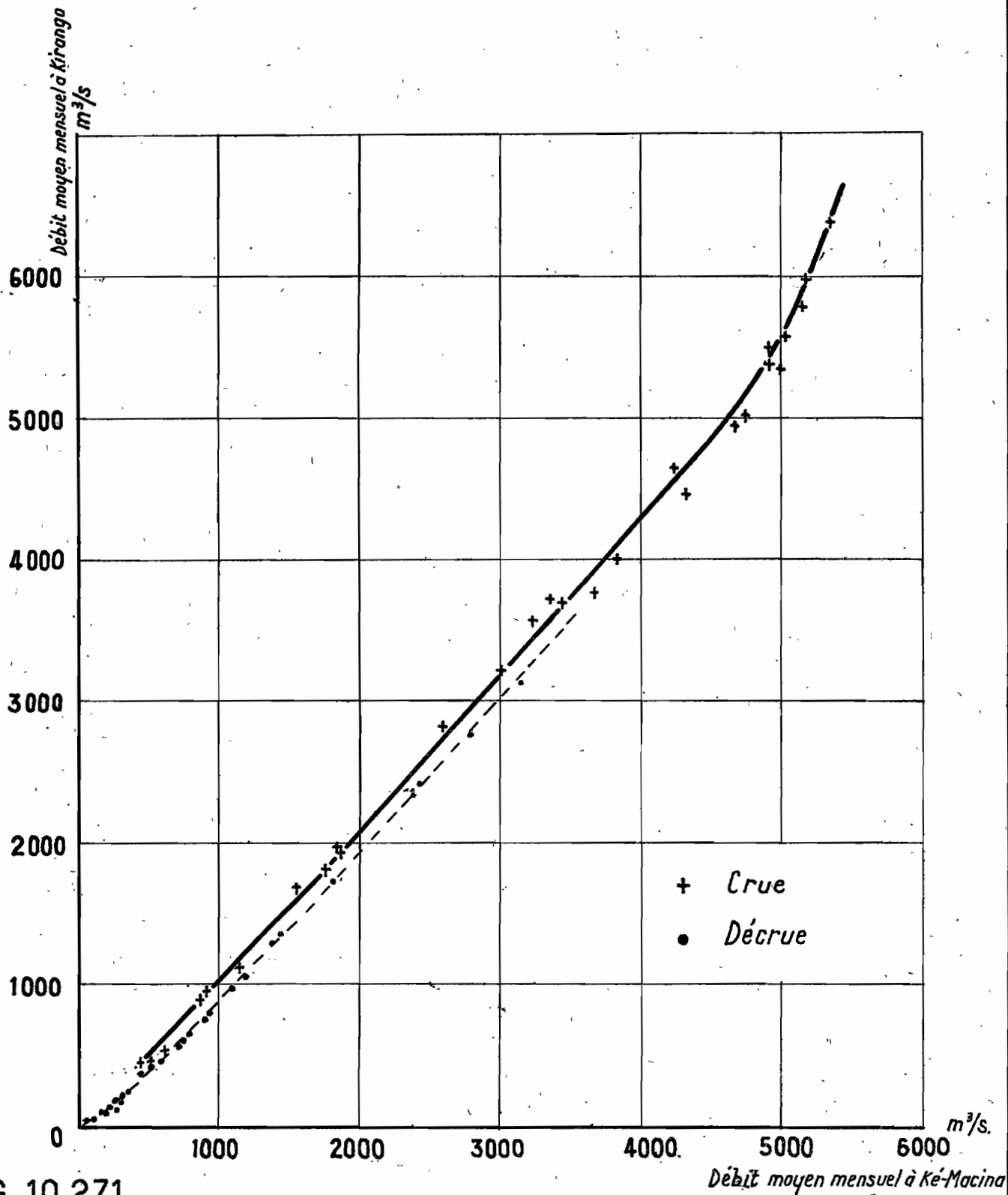


TABLEAU N° 10

KE MACINA

Débits moyens mensuels (m³/s)

Années	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume écoulé	Débit Maximal
1952-53	165	907	2592	4227	4990	2416	1080	584	302	170	96	62	1465	46,2	5184
1953-54	406	1824	3350	5178	4742	2363	1199	703	344	215	199	195	1730	54,5	5301
1954-55	600	1558	3443	5019	4662	3148	1802	895	493	289	254	205	1872	59,0	5241
1955-56	485	1748	3222	4914	5143	2779	1379	785	433	283	196	121	1800	56,8	5421
1956-57	165	860	1860	3820	4327	1850	918	502	241	124	75	63	1234	38,9	5109
1957-58	63	209	1146	2999	4896	5351	3656	1435	753	460	193	186	1798	56,6	5400
Moyenne brute sur la période	314	1184	2602	4359	4793	2984	1672	817	428	257	169	139	1650		

NIGER A KE MACINA

Période 1953 à 1958

Cote du zéro de l'échelle 268,79 m (I.G.N.)

Débits d'étiage absolus -

Année	Date	Débit m ³ /s	Cote brute	Cote nivelée
1953	18 et 19 Mai	35	0,15	268,94
1954	7 Mai	142	0,83	269,62
1955	12 Mai	127	0,78	269,57
1956	16 Mai	82	0,56	269,35
1957	24 Mai au 2 Juin	57	0,37	269,16
1958	26 Mars	87	0,59	269,38

Crues annuelles -

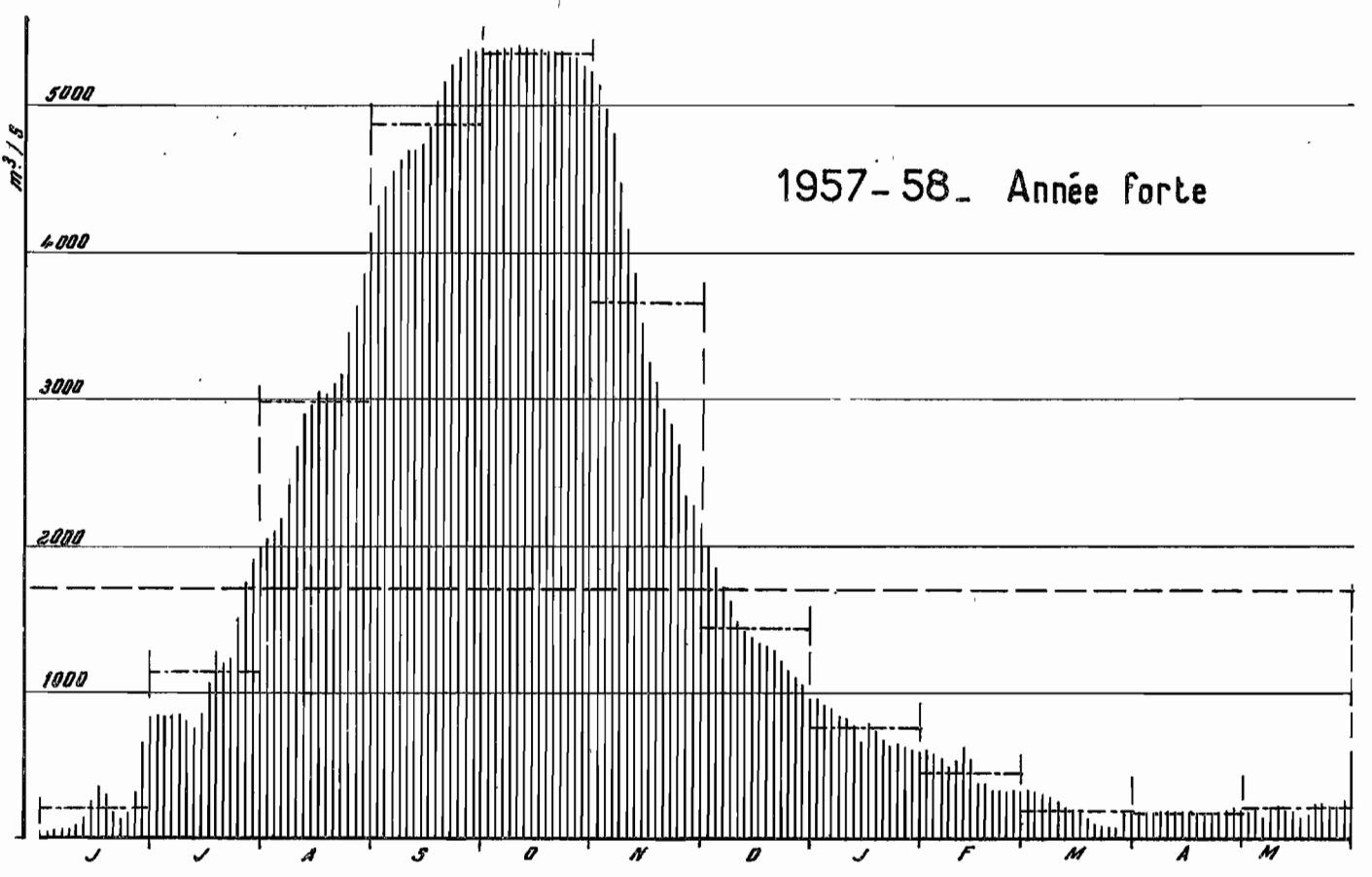
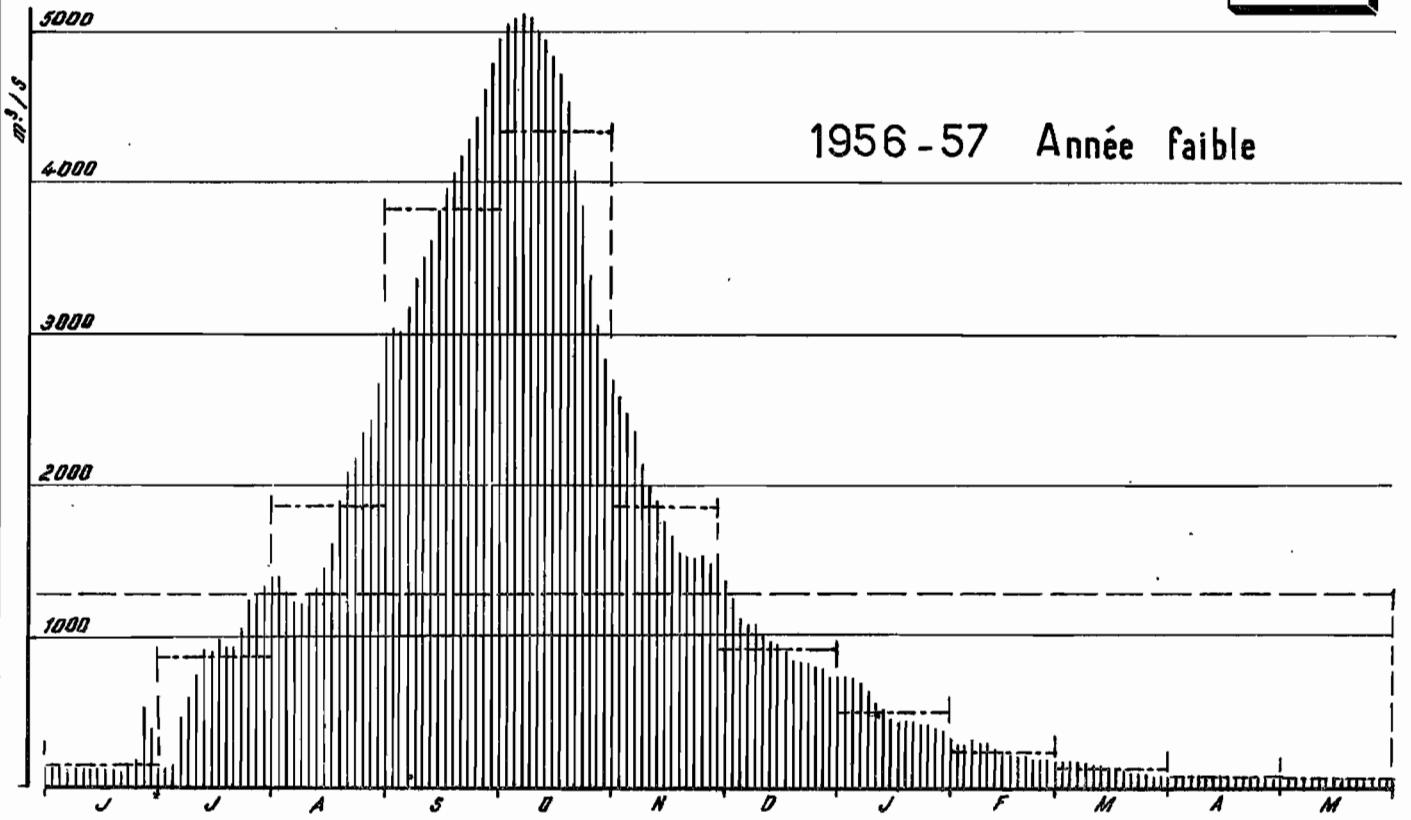
Année	Date	Débit m ³ /s	Cote brute	Cote nivelée
1952	15 et 16 Octobre	5184	6,92	275,71
1953	16 et 17 Septembre	5301	6,98	275,77
1954	25 et 26 Septembre	5241	6,95	275,74
1955	9 Octobre	5421	7,04	275,83
1956	7 Octobre	5109	6,88	275,67
1957	11 Octobre	5400	7,03	275,82

Débits caractéristiques en m³/s -

Année	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1952-1953	39		569	2443	5109
1953-1954	133	242	948	2800	5262
1954-1955	172	329	1061	3381	5223
1955-1956	98	317	1037	2975	5381
1956-1957	62	115	635	1718	4965
1957-1958	140	228	839	3094	5380

LE NIGER A KÉ-MACINA

GR.7



NIG 10.272

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED: LE: 1-11-1958 DES: F. COUPPIE VISA: TUBE N°: A1

CHAPITRE IV

ETUDE DU REGIME A TILEMBEYA

TILEMBEYA est une station très importante car elle matérialise une transformation profonde du régime dont les facteurs essentiels sont :

- 1°) Perte d'environ $1/3$ du débit amont par l'effluence du DIAKA.
- 2°) Laminage complet des crues sous l'effet des déversements dont l'importance croît rapidement avec les cotes atteintes et en limite le maximum.
- 3°) Malgré les prélèvements du DIAKA qui ne commencent, il est vrai, que pour un débit de $80 \text{ m}^3/\text{s}$, les débits d'étiage à TILEMBEYA, surtout les plus faibles, sont considérablement augmentés par rapport à KIRANGO. Un débit moyen mensuel à KIRANGO sévère, inférieur à $20 \text{ m}^3/\text{s}$, peut presque être triplé à TILEMBEYA. Ce phénomène est dû au drainage des zones inondées et à l'utilisation de la nappe du fleuve dont le niveau reste élevé en saison sèche, et dont le rabattement est faible perpendiculairement à l'axe du fleuve.
- 4°) Apports naturels du bassin très faibles entre KIRANGO et TILEMBEYA.
- 5°) Faible dispersion interannuelle des cotes maximales atteintes.

I - CRUES -

Les pointes de crue provenant du haut bassin sont presque entièrement éliminées.

En année faible, le maximum est mollement atteint au moyen de variations journalières de faible amplitude, la décroissance est plus rapide surtout au bout de quelques jours.

En année abondante, le maximum se maintient à quelques centimètres près (5,90 à 5,95) pendant plusieurs semaines : il s'agit d'un véritable palier.

Il existe une assez bonne correspondance entre les hauteurs maximales à KOULIKORO et à TILEMBEYA.

La courbe s'incurve rapidement à partir de la cote 5,80 m à KOULIKORO et devient pratiquement asymptotique aux environs de 5,95 à TILEMBEYA, en tous cas, nettement inférieure à 6,00 m.

Les cotes des maximums à TILEMBEYA s'en trouvent beaucoup moins dispersées.

Le graphique de correspondance n° 8 montre qu'en 1940 (l'année la plus faible des années communes aux 2 stations) une cote de 5,05 m à KOULIKORO a donné 5,24 m à TILEMBEYA.

Depuis 1908, nous savons qu'il a existé une seule crue du NIGER encore plus indigente que celle de 1940. Il s'agit de l'année 1913 (4,79 m à KOULIKORO). D'après la corrélation, nous pouvons apprécier qu'à cette hauteur correspond une cote maximale approximative de 5,05 m à TILEMBEYA.

On peut donc dire que depuis le début du siècle, la cote maximale à TILEMBEYA s'est maintenue chaque année entre 5,05 et 5,96 m soit 0,90 m de variation interannuelle.

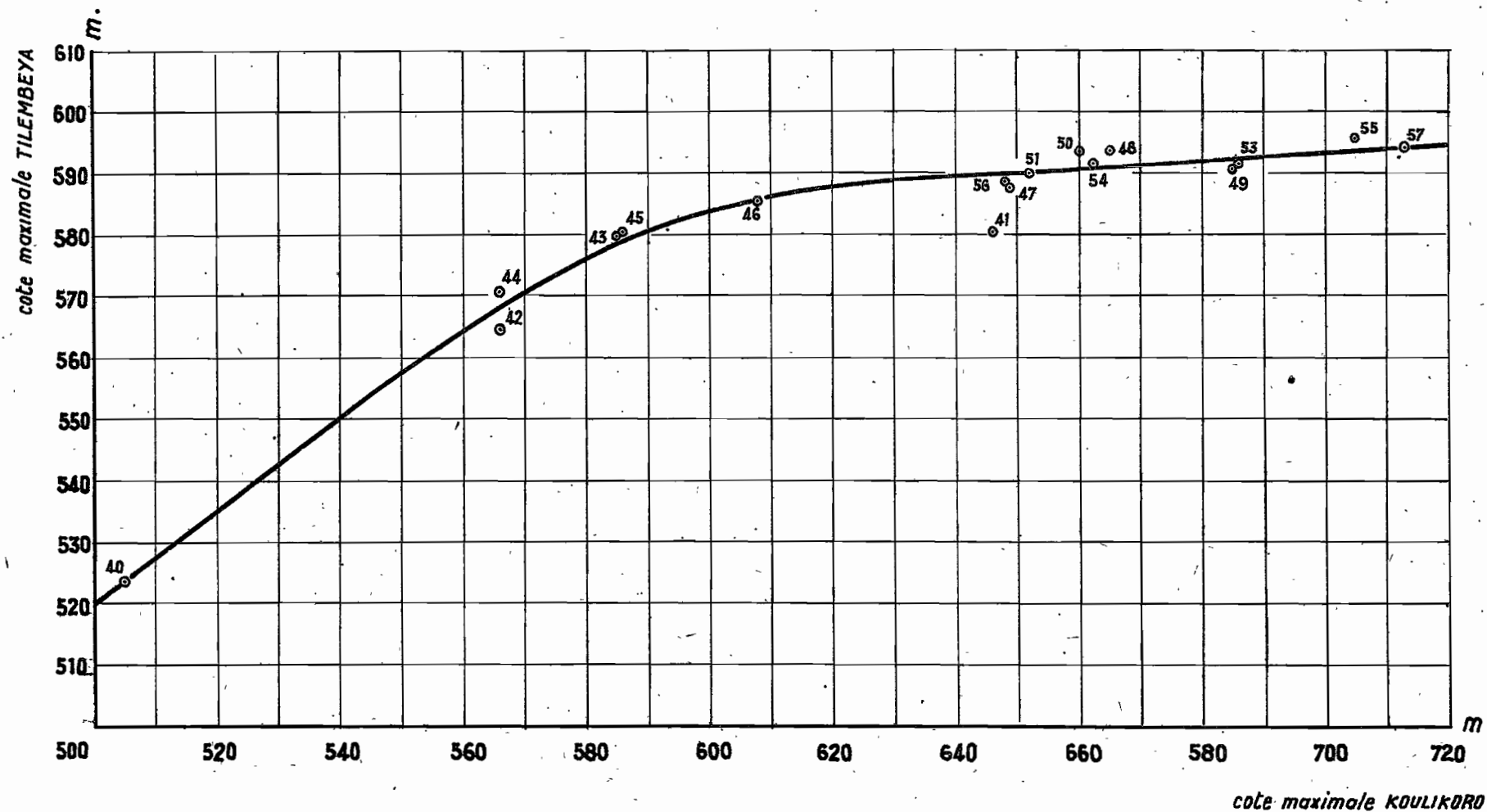
Cette région caractéristique du cours du NIGER à cet égard présente donc une dispersion interannuelle des maximums plus faible encore que celle de la cuvette lacustre elle-même et son débouché aval (DIRE).

Si l'on ajoute à cette propriété le fait que l'oscillation annuelle reste importante (plus de 5 m) et que la cote maximale est en quelque sorte bloquée quelle que soit la violence de la crue amont, nous trouvons là, pour la culture, une région ayant une vocation absolument remarquable, du point

NIG 10.273

Gr. 8

Correspondance hauteurs maximales à KOULIKORO et TILEMBEYA



de vue hydrologique, bien entendu. Malheureusement, tous travaux d'endiguement dans cette région auraient, à coup sûr, des conséquences funestes pour la ville de MOPTI, dont l'agrandissement se poursuit pourtant dans des conditions onéreuses (remblais) à l'endroit le plus défectueux de la vallée du NIGER.

Epoque de la Crue -

Les maximums ont lieu entre le 15 Septembre et le 25 Octobre avec une dominance très marquée dans les deux premières décades du mois d'Octobre.

Le décalage dans le temps, entre la crue à KOULIKORO et la crue à TILEMBEYA, varie suivant la forme de l'onde de crue amont.

Plus la crue est faible et pointue, plus sa propagation est rapide (de 3 à 5 jours).

L'existence du palier, plus ou moins long à TILEMBEYA, rend difficile l'évaluation du décalage entre les maximums absolus, d'autant plus qu'un gain de 1 ou 2 cm durant le palier peut être dû au clapotis, au vent, au moment de l'observation. En cas d'une crue comportant deux pointes, la deuxième se transporte naturellement plus rapidement que la première.

Les cotes à TILEMBEYA sont donc en crue et en décrue étroitement liées à celles de KOULIKORO.

Retenons qu'en crue la cote 5,85 m est atteinte à TILEMBEYA très approximativement 9 jours après celui du passage à KOULIKORO de la cote 6,00 m.

En décrue le même décalage est de 8 jours.

En gros, par conséquent, le palier à TILEMBEYA, que l'on peut situer entre les cotes 5,85 et 5,96, a lieu pendant le temps où la cote à KOULIKORO dépasse 6,00 m, avec un décalage dans le temps de 8 jours.

Si la cote à KOULIKORO n'atteint pas la cote 6,00 m, il n'y aura pas de palier à TILEMBEYA et le maximum atteint pourra être déduit du graphique de corrélation. Le décalage à appliquer est plus faible et varie de 3 à 5 jours suivant la forme de la crue.

Cette règle sera très utile pour la prévision des crues dans la région de TILEMBEYA et à l'aval en particulier pour la station de MOPTI par composition avec la crue du BANI.

Il n'y a pas de correspondance entre le maximum atteint à TILEMBEYA et le module du cycle hydraulique à cette station. Ceci provient du fait que la régularisation naturelle obtenue se fait par écrêtement pur et non par réserve, le tassement des cotes maximales au-dessus de 5,85 m étant indépendant de la durée de l'onde de crue.

Notons que cet écrêtement n'est pas dû uniquement à l'effluence du DIAKA, mais également aux débordements sur la rive gauche en aval de TILEMBEYA et en particulier aux écoulements dans les marigots de OURO-MODI et SAHONA, dont l'influence se fait sentir de l'aval vers l'amont.

Le débit de pleine rive du lit principal est de 3 500 m³/s pour la cote 6,00 m. Il n'est pas possible d'évaluer, pour l'instant, les débits dans les zones inondées ou dans les petits bras latéraux, mais ces débits sont faibles et certainement inférieurs à 10 % du débit du lit principal.

Le débit maximal de pleine rive est donc très voisin de 3 400 m³/s ; pour des cotes supérieures les berges rive gauche, ainsi que les marigots défluent vers le Nord, jouent le rôle de seuil déversant, en absorbant la quasi-totalité des débits en surplus.

Depuis KOULIKORO, c'est-à-dire en 340 km, malgré les apports faibles, il est vrai, du bassin intermédiaire par atténuation naturelle, inertie des zones inondées lors de leur remplissage, déversement et écrêtement, le NIGER voit son débit de crue se réduire de moitié en crue moyenne et presque des 2/3 en crue abondante.

II - ETIAGES -

Nous avons vu que, depuis la mise en eau du barrage de SANSANDING, les besoins en eau de l'Office du NIGER amaigrissent le débit de basses eaux dans des proportions qui peuvent devenir importantes si le débit amont est faible.

De KIRANGO à TILEMBEYA, le drainage des infiltrations dans les zones inondées et l'alimentation du fleuve par sa nappe encore en charge, rehaussent le débit de basses eaux.

Nous avons reporté sur le tableau n° 12 les débits moyens mensuels de Mars, Avril, Mai et Juin aux stations de KOULIKORO, KIRANGO et TILEMBEYA.

TABLEAU N° 12

COMPARAISON ETIAGES KOULIKORO, KIRANGO ET TLEMBEYA

Année	M A R S			A V R I L			M A I			J U I N		
	KOULIKORO	KIRANGO	TLEMBEYA	KOULIKORO	KIRANGO	TLEMBEYA	KOULIKORO	KIRANGO	TLEMBEYA	KOULIKORO	KIRANGO	TLEMBEYA
1950	74			42			65			128		60
1951	142	65	(60)	87	37	(50)	221	91	(90)	544	431	
1952	208	154		116	77		100	50		186	105	116
1953	143	118	133	81	52	88	97	29	69	560	423	248
1954	195	125	154	188	105	129	208	102	115	642	537	343
1955	289	194	177	207	164	154	222	130	128	677	459	265
1956	238	182	167	174	104	119	127	59	84	198	112	107
1957	108	59	86	56	22	57	71	19	48	323	186	112
1958	163	97	113	140	87	91	267		115	824		

On peut mettre en évidence une correspondance assez bonne entre les débits moyens mensuels de basses eaux à KIRANGO et à TILEMBEYA (Graphique n° 9).

Nous y voyons que pour des débits à KIRANGO inférieurs à $145 \text{ m}^3/\text{s}$, le débit moyen à TILEMBEYA est toujours supérieur, il y a donc alimentation du fleuve aux dépens de son bassin dans des proportions relatives qui peuvent être considérables pour des débits très faibles à KIRANGO. Pour un débit moyen nul à KIRANGO (cas de prélèvement total du débit par l'Office du NIGER), il semble que le débit de TILEMBEYA resterait compris entre 20 et $40 \text{ m}^3/\text{s}$ (extrapolation de la courbe de correspondance). Ce qui revient à dire qu'il est impossible d'observer à TILEMBEYA un débit moyen mensuel inférieur à $20 \text{ m}^3/\text{s}$. C'est le cas d'ailleurs, d'après les relevés que nous possédons depuis 1939 ($34 \text{ m}^3/\text{s}$ en Mai 1947, $35 \text{ m}^3/\text{s}$ en Mai 1944 sont les chiffres les plus bas).

A des débits moyens mensuels à KIRANGO, supérieurs à $145 \text{ m}^3/\text{s}$, il correspond des débits inférieurs à TILEMBEYA, il y a donc cette fois perte du débit dans le lit mineur au profit du bassin.

En valeur absolue, les minimums d'étiage à TILEMBEYA sont supérieurs à $30 \text{ m}^3/\text{s}$ depuis 1939.

Les étiages 1944 et 1945 semblent avoir eu une vigueur comparable à ceux de 1913-1914-1915 et 1916, nous pensons donc que le chiffre minimum de $30 \text{ m}^3/\text{s}$ est valable sensiblement pour la période 1908-1957.

III - MODULES -

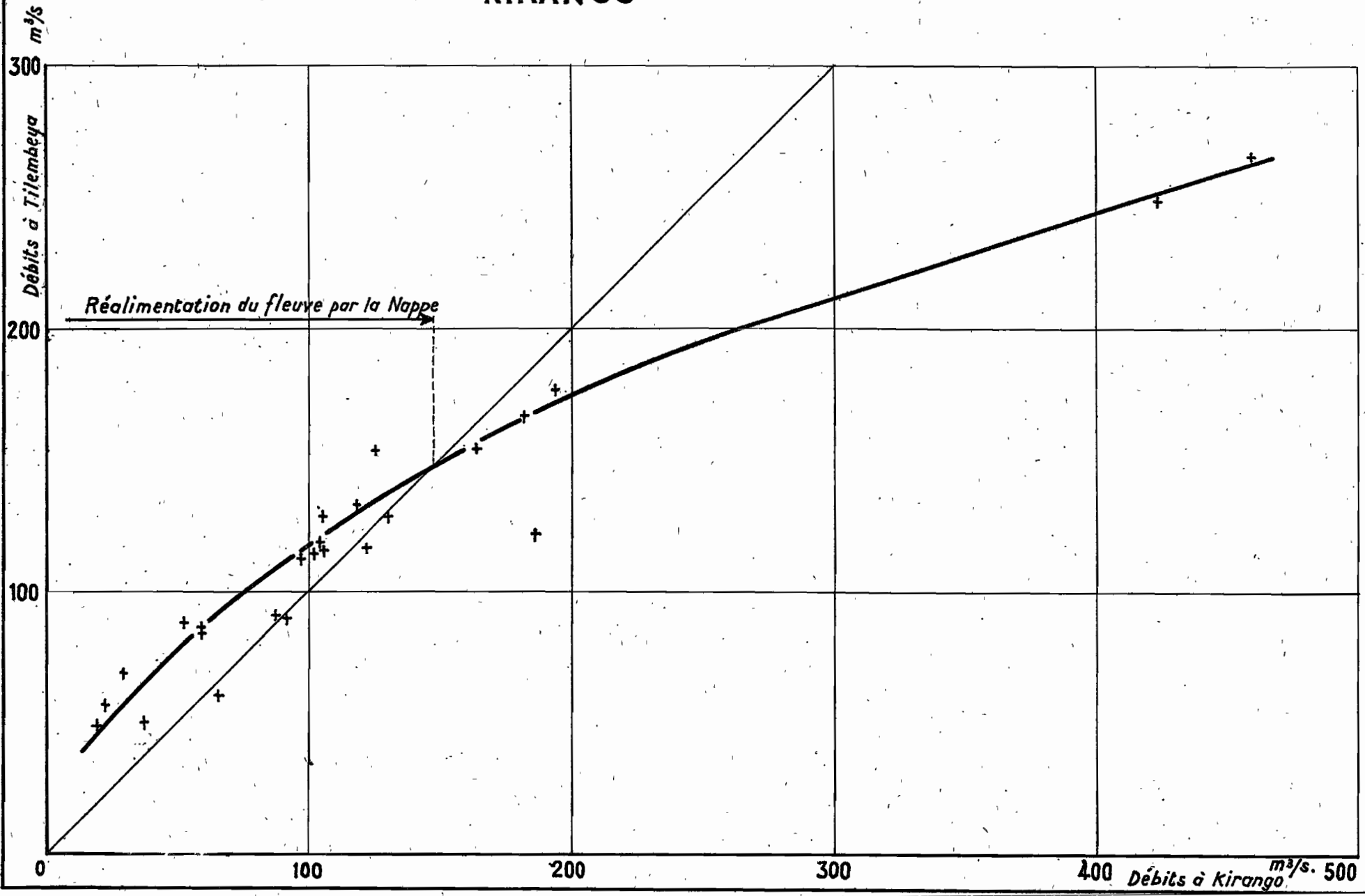
Nous utilisons les relevés de 1922-1929 revalorisés comme il a été indiqué au chapitre I, G de la 3ème partie (1er tome).

Pour les années 1940 à 1957, nous avons établi une correspondance entre les modules à TILEMBEYA et à KOULIKORO, pour le même cycle hydrologique, bien entendu; les points obtenus se rangent sans trop de dispersion sur une droite.

Indiquons d'ailleurs que pour certaines années nous avons dû reconstituer quelques relevés manquants :

Comparaison des débits moyens mensuels de basses eaux entre TILMBEYA et
KIRANGO

Gr. 9



- Année 1941-1942 -

Relevés manquants du 6 Octobre au 4 Novembre 1941 - Nous avons évalué assez facilement les débits de décrue - soit un débit moyen mensuel de 2 516 m³/s en Octobre et un module de 829 m³/s.

- Année 1949-1950 -

Relevés manquants de Janvier à Mai 1950.
Par comparaison avec d'autres décrues approchantes, nous avons admis les débits moyens mensuels suivants :

Janvier 1950	290 m ³ /s
Février 1950	150 -
Mars 1950	80 -
Avril 1950	55 -
Mai 1950	45 -
Module	848 m ³ /s

- Année 1950-1951 - (Même procédé d'estimation)

Relevés manquants : Avril et Mai 1951

Avril 1951	50 m ³ /s
Mai 1951	90 -
Module	957 m ³ /s

Les points représentatifs des années 1922-1929 reportés sur le graphique des modules TILÉMBEYA-KOULIKORO se placent très correctement par rapport à la droite définie ci-dessus (Graphique n° 10).

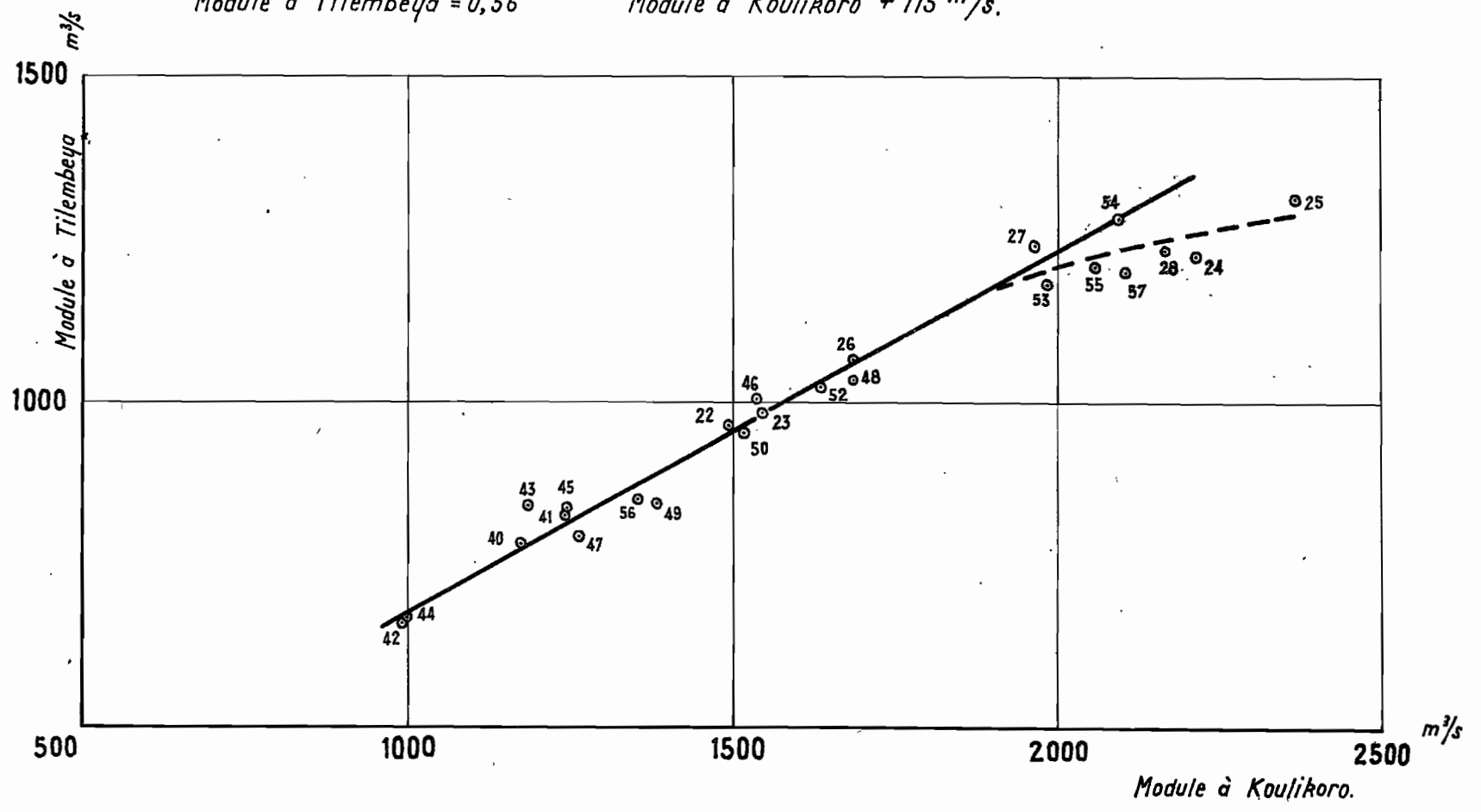
Nous pouvons donc admettre cette correspondance qui peut se mettre sous la forme :

$$\text{Module TILÉMBEYA} = 0,56 \text{ Module KOULIKORO} + 115 \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Correspondances des Modules à TILMBEYA et KOULIKORO

Module à Tilembeya = 0,56

Module à Koulikoro + 115 m³/s.



Cette relation n'est valable que pour des modules à KOULIKORO inférieure à 2 000 m³/s. Au-delà, la courbe s'infléchit avec une concavité tournée vers le bas, à cause du blocage des hautes eaux par les déversements latéraux (DIAKA et marigots rive gauche). Les points représentatifs des années 1924-1925-1928, douteux il est vrai, confirment néanmoins ce fléchissement de la courbe. Il est vraisemblable que pour des modules à KOULIKORO supérieurs à 2 300 m³/s, le module à TILEMBEYA devient limité supérieurement à une valeur voisine de 1 300 m³/s.

La comparaison des crues 1925-1926 et 1951-1952 montre que les très fortes poussées amont ne contribuent pas, au-delà d'une limite, à augmenter les modules à TILEMBEYA. Par exemple :

Station de KOULIKORO

Année	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	Module KOULIKORO
1925-1926	88	477	1595	4133	6859	8558	3921	1358	675	358	152	78	2 365
1951-1952	221	544	1583	3753	5349	5431	5433	1814	751	419	208	116	2 137

La différence seule entre les débits moyens mensuels des deux mois d'Octobre (8558 et 5431) représente un volume écoulé de 8,4 milliards de m³ équivalant à un module de 265 m³/s. Or, du fait de l'écrêtement des débits maximaux à TILEMBEYA, les forts débits d'Octobre 1925, n'ont pas contribué à augmenter, dans les mêmes proportions, les débits correspondants à TILEMBEYA. Il en résulte que les modules à TILEMBEYA, relatifs à ces deux crues, doivent être assez voisins l'un de l'autre. Nous avons admis 1 240 m³/s pour 1951-1952, année pour laquelle les relevés sont presque entièrement manquants.

Pour les années 1929-1930 à 1939-1940, ainsi que 1951-1952, nous avons déduit la valeur du module à TILEMBEYA de celle du module correspondant à KOULIKORO en s'appuyant sur la relation linéaire établie. L'allure générale des points sur lesquels la droite est ajustée montre que nous pouvons ainsi espérer une erreur moyenne inférieure à ± 5 %, ce qui est très acceptable.

Nous avons ainsi obtenu 36 valeurs des modules s'étendant sans discontinuité de 1922 à 1958 et nous allons établir les caractéristiques principales de la distribution réalisée par ces 36 valeurs. Voir Tableau n° 13.

Les modules varient entre $669 \text{ m}^3/\text{s}$ et $1\ 314 \text{ m}^3/\text{s}$
La valeur moyenne est de $1\ 016 \text{ m}^3/\text{s}$
La valeur médiane est de $1\ 014 \text{ m}^3/\text{s}$.

La logique voudrait que les modules de TILEMBEYA suivent une loi statistique de même forme que celle qui gouverne la répartition des modules à KOULIKORO, aucun élément étranger ne venant perturber le régime du NIGER entre ces 2 stations. Comme il s'agissait d'une loi de GAUSS pour KOULIKORO (Monographie du NIGER Supérieur - Tome II - Chapitre I), nous avons essayé d'ajuster cette loi aux 36 modules connus de TILEMBEYA.

En conséquence, nous avons étudié les différentes valeurs du module en fonction de la variable réduite t correspondant à la fréquence cumulée de ces modules (tables de la fonction intégrale de la loi de LAPLACE-GAUSS).

Rappelons que si la distribution était normale, les points s'aligneraient sur une droite (droite de HENRI).

Le graphique n° 11 représente cet essai ; les paramètres sont :

1 016 mm pour la moyenne,
180 mm pour l'écart-type.

Nous avons voulu vérifier cet ajustement par le test du χ^2 de PEARSON. Notre échantillon est séparé en 6 classes :

n étant le nombre expérimental de valeurs dans une classe.

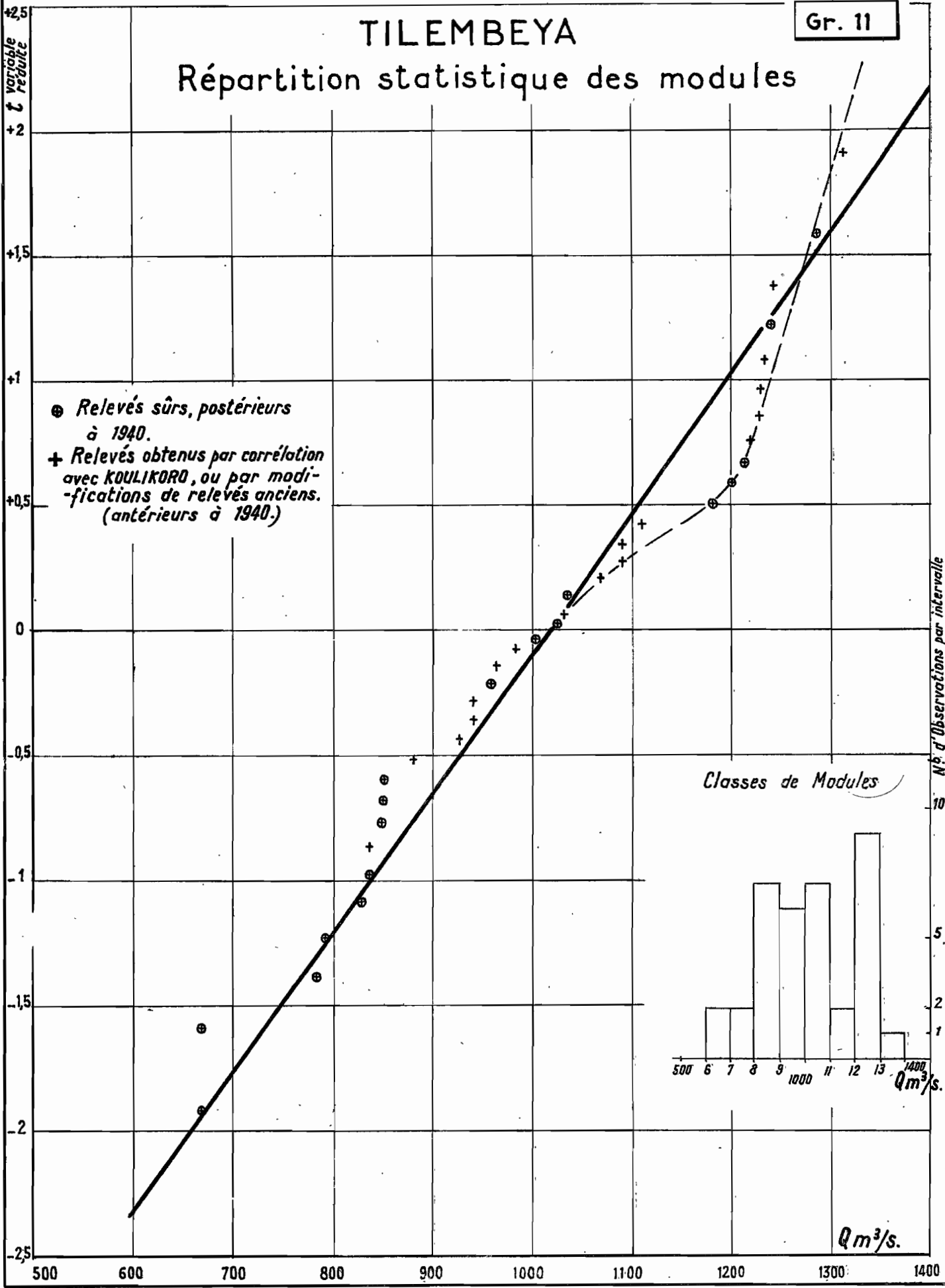
ν le nombre théorique de valeurs dans une classe selon la loi de GAUSS.

Le test est résumé dans le tableau ci-après.

TILEMBEYA

Gr. 11

Répartition statistique des modules



Bornes des classes	n	\bar{D}	$ n - \bar{D} $	$(n - \bar{D})^2$	$\frac{(n - \bar{D})^2}{\bar{D}}$
< 830	5	1,98	3,02	9,2	4,65
830 à 900	6	7,56	1,56	2,43	0,32
900 à 1000	6	8,46	2,46	6,05	0,71
1000 à 1100	7	6,48	0,52	0,27	0,04
1100 à 1230	7	7,34	0,34	0,116	0,01
> 1230	5	4,17	0,83	0,69	0,17
Total	36				5,90

Pour un $\chi^2 = 5,90$ et bénéficiant de 3 degrés de liberté, les tables nous assurent d'une probabilité d'être dépassé comprise entre 10 et 20 %.

La loi de GAUSS peut donc être considérée comme un schéma acceptable pour représenter les modules du NIGER à TILEMBEYA.

a) Modules inférieurs à la valeur médiane :

Nous ne constatons pas d'écarts systématiques par rapport à la droite D de GAUSS.

Le module correspondant à la fréquence 0,99 au dépassement (crue minimale centenaire) s'obtiendra en extrapolant la droite pour la valeur de t égale à - 2,33 soit 600 m³/s environ.

Pour le module décennal inférieur ($f = 0,90$), on trouve 786 m³/s. Cette valeur correspond sensiblement à celles observées au cours des années 1940-1941 et 1947-1948. Sur la période de 36 ans, on a enregistré 2 valeurs plus faibles et égales à 669 m³/s, en 1942-1943 et 1944-1945. Dans l'ajustement de GAUSS, ces modules bénéficieraient d'une fréquence de 0,973 ce qui équivaut presque à une récurrence cinquantenaire (0,98).

LE NIGER A TILÉMBEYA

Modules - Volumes écoulés - Cotes et débits maximaux

Années	Module m ³ /s	Volumes écoulés 10 ⁹ m ³	Cote maximale	Débit maximal m ³ /s
1922-1923	964	30,4	5,88	3 316
1923-1924	982	31	5,93	3 401
1924-1925	1227	38,7	5,96	3 452
1925-1926	1314	41,4	5,97	3 469
1926-1927	1068	33,7	5,90	3 350
1927-1928	1241	39,2	5,93	3 401
1928-1929	1233	38,9	5,95	3 435
1929-1930	1230	38,8		
1930-1931	1220	38,5		
1931-1932	1090	34,4		
1932-1933	1110	35		
1933-1934	1030	32,5		
1934-1935	940	29,7		
1935-1936	925	29,2		
1936-1937	1090	34,4		
1937-1938	835	26,4		
1938-1939	940	29,7		
1939-1940	880	27,8		
1940-1941	782	24,7	5,24	2 396
1941-1942	829	26,2	5,81	3 197
1942-1943	669	21,1	5,65	2 933
1943-1944	846	26,7	5,80	3 180
1944-1945	669	21,1	5,71	3 032
1945-1946	835	26,4	5,81	3 197
1946-1947	1005	31,7	5,86	3 282
1947-1948	791	25	5,88	3 316
1948-1949	1033	32,6	5,94	3 418
1949-1950	848	26,8	5,91	3 367
1950-1951	957	30,2	5,94	3 418
1951-1952	1240	39,2		
1952-1953	1023	32,3	5,90	3 350
1953-1954	1180	37,2	5,92	3 384
1954-1955	1285	40,5	5,93	3 401
1955-1956	1211	38,2	5,96	3 452
1956-1957	850	26,8	5,89	3 333
1957-1958	1200	37,9	5,94	3 418

Etude statistique des Modules
m³/s

Ordre	Fréquence au dépassement	Variable réduite	Module
1	0.972	- 1.91	669
2	0.944	1.59	669
3	0.917	1.385	782
4	0.889	1.225	791
5	0.861	1.08	829
6	0.833	0.965	835
7	0.805	0.86	835
8	0.778	0.76	846
9	0.750	0.675	848
10	0.722	0.59	850
11	0.694	0.51	880
12	0.666	0.43	925
13	0.639	0.355	940
14	0.611	0.28	940
15	0.583	0.21	957
16	0.555	0.14	964
17	0.528	0.07	982
18	0.514	- 0.035	1005
19	0.486	+ 0.035	1023
20	0.472	0.07	1030
21	0.445	0.14	1033
22	0.417	0.21	1068
23	0.389	0.28	1090
24	0.361	0.355	1090
25	0.334	0.43	1110
26	0.306	0.51	1180
27	0.278	0.59	1200
28	0.250	0.675	1211
29	0.222	0.76	1220
30	0.195	0.86	1227
31	0.167	0.975	1230
32	0.139	1.08	1233
33	0.111	1.225	1240
34	0.083	1.395	1241
35	0.056	1.59	1285
36	0.028	+ 1.91	1314

Valeur médiane 1014
Valeur moyenne 1016

Indiquons que le module le plus faible enregistré à KOULIKORO depuis 1908 est de $819 \text{ m}^3/\text{s}$ (année hydrologique 1913-1914), ce qui correspond, d'après la correspondance linéaire établie, à un module à TILÉMBEYA de $575 \text{ m}^3/\text{s}$ environ. Ce module est donc très proche de celui de la crue centenaire bien que légèrement inférieur.

b) Modules supérieurs au module médian :

La droite de GAUSS nous donne pour une fréquence centenaire ($f = 0,01$) un module de $1\,435 \text{ m}^3/\text{s}$. Si l'on regarde sur le graphique n° 11 la place qu'occuperait un tel module, vis-à-vis du module correspondant à KOULIKORO, on constate que cette valeur est excessive et qu'il semble peu vraisemblable que le module à TILÉMBEYA dépasse $1\,400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Répetons encore que la caractéristique du régime NIGER à cette station est essentiellement l'importance des déversements (y compris le prélèvement d' $1/3$ du volume écoulé par le DIAKA), lesquels écrêtent l'onde de crue. On peut donc envisager un "tassement" parallèle des modules relatifs aux fortes crues.

En portant ses regards sur le graphique n° 12, il semble à première vue qu'une telle hypothèse trouve un appui dans la position des points, représentant des modules supérieurs à la médiane, vis-à-vis de la droite de HENRI. En effet, ces points se placent bien sur une courbe qui, tournant sa concavité vers le haut, recoupe la droite de HENRI, avec une pente supérieure à la sienne.

On conçoit bien qu'un "tassement" supérieur des modules puisse se traduire pour ceux-ci par un abandon de la droite de HENRI, à partir d'une certaine valeur (supérieure à la moyenne). Ces modules devraient alors se placer théoriquement sur une courbe tangente à l'origine à la droite de HENRI et à pente supérieure.

Or, la courbe observée sur le graphique s'infléchit d'abord en-dessous de la droite, ce qui est anormal et contraire à l'hypothèse. On doit imputer cette anomalie à l'échantillon, insuffisant pour représenter valablement la population mère infinie des modules à TILÉMBEYA, tout au moins dans le cas particulier évoqué ci-dessus.

En théorie, il reste possible d'admettre deux lois pour représenter les modules classés, une loi normale pour les modules faibles et moyens peu influencés par les déversements et une loi inconnue pour les forts modules pour lesquels cette influence des débordements devient prépondérante.

En pratique, notre échantillon est trop petit pour essayer une telle analyse. Nous admettrons donc que la valeur de $1\,435\text{ m}^3/\text{s}$ représente une limite supérieure du module de fréquence centenaire 0,01.

La prolongation sur le graphique n° 12 de la courbe expérimentale passant par les points d'observations, jusqu'à l'ordonnée $t = 2,33$ fournit, elle, un module de $1\,335\text{ m}^3/\text{s}$. C'est entre ces deux chiffres ($1\,335$ et $1\,435\text{ m}^3/\text{s}$) que doit vraisemblablement se placer le module centenaire exact, vers $1\,375\text{ m}^3/\text{s}$ par exemple.

Nous avons voulu nous étendre en détail sur cette question parce que nous retrouverons le même phénomène, encore plus accusé à MOPTI et à DIRE, de répartition un peu anormale des modules (ou crues) d'années très abondantes.

Pour en terminer avec TILÉMBÉYA, disons que le module décennal fort (0,10) vaut, suivant la loi normale, $1\,246\text{ m}^3/\text{s}$. Un tel module a presque été atteint deux fois : en 1927-1928 et en 1951-1952. On trouve, sur les 36 ans d'observations, deux modules plus élevés : $1\,285\text{ m}^3/\text{s}$ en 1954-1955 et $1\,314\text{ m}^3/\text{s}$ en 1925-1926.

L'ajustement de GAUSS leur accorde des fréquences au dépassement de 0,068 et 0,049, très proches de la récurrence de 20 ans (0,05).

L'irrégularité interannuelle peut-être représentée de deux façons :

a) A l'aide du coefficient de variation $C_v = \frac{\sigma}{\bar{Q}}$

rapport entre l'écart-type et la moyenne de l'échantillon des modules considérés. Ce coefficient vaut 0,177 pour TILÉMBÉYA. Il est plus faible que celui de KOULIKORO (égal à 0,237) ce qui peut s'expliquer par l'autorégularisation du régime dû aux débordements.

- b) En utilisant le rapport K_3 entre les modules des deux déciles extrêmes. Pour TILÉMBEYA,
 $K_3 = \frac{1246}{786} = 1,58$ coefficient qui est, pour les mêmes raisons évidemment, inférieur à celui de KOULIKORO (égal à 1,89).

IV - DEBITS MOYENS MENSUELS

Voir tableau n° 14 des débits moyens mensuels 1923-29, 1939-51, 1952-57.

Tableau n° 15 des débits moyens mensuels classés avec fréquences cumulées au dépassement.

Tableau n° 16 des débits moyens mensuels calculés pour des fréquences cumulées au dépassement de 0,05 - 0,10 - 0,25 - 0,50 - 0,90 - 0,95.

a) Valeurs moyennes des débits moyens mensuels

La moyenne la plus faible a lieu en Mai ($88 \text{ m}^3/\text{s}$), la plus forte en Octobre ($3\ 032 \text{ m}^3/\text{s}$).

De Juillet à Décembre, la crue et la décrue moyenne sont sensiblement symétriques.

La décrue moyenne (Novembre à Mars) suit approximativement une loi de tarissement exponentielle (droite en coordonnées semi-logarithmiques), de forme $Q = Q_0 e^{-0,22 t}$, dont le coefficient $\alpha = 0,22$ est tout à fait comparable à ceux des stations du NIGER Supérieur.

Les valeurs moyennes sont légèrement supérieures aux valeurs médianes sauf en ce qui concerne les mois de hautes eaux (Septembre, Octobre et Novembre), on retrouve là l'influence de la limitation supérieure du débit de crue maximal.

b) Irrégularité des débits moyens mensuels

Nous avons calculé, pour chaque mois, le rapport à la moyenne de l'écart compris entre les débits moyens mensuels correspondant aux fréquences au dépassement $f = 0,05$ et $0,95$.

Ce rapport est minimal en Septembre (0,40) et maximal en Juin (1,72) ; la variation est assez régulière d'un bout à l'autre de l'année. L'irrégularité mensuelle est donc, en gros, inversement proportionnelle à la moyenne du mois (1).

c) Courbes de fréquences des débits moyens mensuels :

Chaque courbe de ce réseau n'a pas de signification en elle-même. La courbe $f = 0,50$ est effectivement la courbe médiane, mais la probabilité, pour avoir une année composée de mois médians, est évidemment très faible.

Il faut considérer ce réseau, mois par mois, il permet ainsi de classer une année donnée d'après les valeurs de ses débits moyens (Graphique n° 12).

V - VOLUMES ECOULES -

En partant de la relation entre les modules à KOULIKORO et TILEMBEYA, il est facile d'établir une relation entre les volumes écoulés :

$$V_{\text{TILEMBEYA}} = 0,56 V_{\text{KOULIKORO}} + 3,6 \text{ (en milliards de m}^3\text{)}$$

Il est bien entendu qu'on doit lui appliquer les mêmes restrictions d'utilisation.

Entre les volumes écoulés à KE-MACINA et TILEMBEYA, il semble exister également une correspondance simple. Il s'agit d'une loi linéaire, tout au moins pour les 6 années dont nous possédons les relevés à KE-MACINA, et qui peut se mettre sous la forme :

$$V_T = 0,64 V_{KM} + 2,2 \text{ (10}^9 \text{ m}^3\text{)}$$

La quasi-totalité de ces pertes (soit 33 % environ du volume écoulé à KE-MACINA), représente en fait le prélèvement du DIAKA.

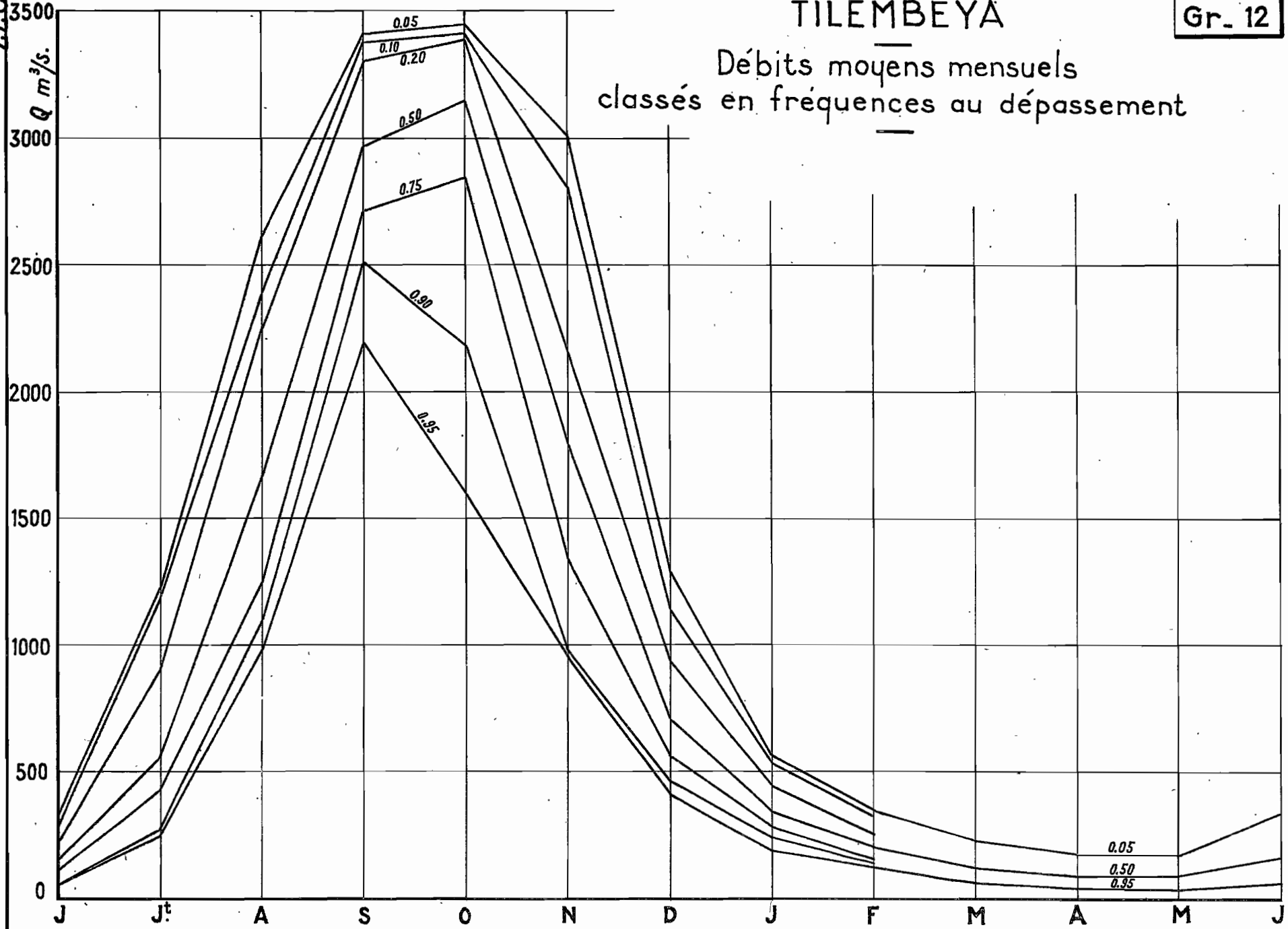
(1) Les fortes valeurs du rapport défini ci-dessus pendant la période de basses eaux sont dues au fait que depuis la mise en eau du barrage de SANSANDING, les débits de Mars à Juin ont été affaiblis dans de notables proportions. Ceci étant indépendant de l'irrégularité de l'arrivée de la crue amont.

1610277

TILEMBEYA

Gr. 12

Débits moyens mensuels
classés en fréquences au dépassement



VI - REMARQUES sur la PERIODE d'OBSERVATIONS -

L'étude statistique des modules porte sur la période de 36 ans 1922-1957 ; nous aurions pu calculer les modules de 1907 à 1921 d'après la relation linéaire liant ces valeurs à celles de KOULIKORO, d'autant plus facilement qu'aucune de ces années n'est assez abondante pour que la relation ne se vérifie plus. Nous aurions eu ainsi un échantillon de 51 modules homogène avec celui de KOULIKORO et de toutes les stations du NIGER Supérieur et du BANI.

Mais nous verrons qu'à MOPTI et DIRE, il est impossible de dépasser la période 1922-1957, car il n'y a de corrélation étroite ni avec TILEMBEYA ni avec KOULIKORO, aussi avons-nous dû adopter cette période réduite de 36 ans comme base d'études pour le NIGER Lacustre.

Pour cette période réduite de 36 ans, le module moyen à KOULIKORO vaut $1641 \text{ m}^3/\text{s}$, contre $1545 \text{ m}^3/\text{s}$ sur 51 ans, ce qui revient à dire que l'hydraulicité de la période, égale à 1065 , est légèrement excédentaire. Cet écart systématique doit être présent à l'esprit quand on veut comparer les données du NIGER Supérieur à celles de la Cuvette Lacustre.

Pour TILEMBEYA, par exemple, le module moyen de $1016 \text{ m}^3/\text{s}$ n'est plus que de $968 \text{ m}^3/\text{s}$ sur les 51 ans de 1907-1957 (d'après le calcul des modules manquants).

L'ajustement d'une loi normale se fait avec un écart-type de $189 \text{ m}^3/\text{s}$. Si on recalculé les valeurs exceptionnelles, on les trouve nettement diminuées à cause du poids des années 1907-1921 peu abondantes :

Module centenaire	(0,01)	:	$1408 \text{ m}^3/\text{s}$	
"	décennal	(0,10)	:	1210 "
"	décennal	(0,90)	:	726 "
"	centenaire	(0,99)	:	528 "

Ces valeurs sont en harmonie avec celles de KOULIKORO. En outre, il est intéressant de signaler que le module centenaire estimé à $1408 \text{ m}^3/\text{s}$ paraît beaucoup plus raisonnable que celui de $1435 \text{ m}^3/\text{s}$, fruit de l'étude sur 36 ans.

Il nous faut en conclure que pour MOPTI et DIRE, l'étude statistique portant obligatoirement sur 36 ans, les valeurs extrêmes calculées seront, par conséquent, toutes surestimées, comme nous le verrons d'ailleurs. Cette double analyse du phénomène pour les modules de TILEMBEYA nous fournit un argument supplémentaire pour affirmer cette surestimation.

TABLEAU N° 14

T I L E M B E Y A

Débits moyens mensuels (en m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume 10 ⁹ m ³
1922-1923	120	390	1136	2670	3272	2051	881	430	224	120	107	129	964	30,4
1923-1924	154	591	1694	2955	2942	1814	910	345	185	73	38	37	982	31
1924-1925	62	857	2631	3406	3403	2171	982	422	247	198	154	130	1227	38,7
1925-1926	(200)	1039	2264	3343	3443	2896	1142	569	356	209	144	118	1314	41,4
1926-1927	285	1212	2220	3141	2870	1354	717	401	241	137	79	96	1068	33,7
1927-1928	181	865	1860	3093	3380	3031	1152	533	324	186	107	(170)	1241	39,2
1928-1929	304	679	2369	3406	3420	2306	946	513	341	230	178	(150)	1233	38,9
1939-1940								382	239	142	98	83		
1940-1941	121	499	1450	2129	2274	1454	583	319	211	135	93	81	782	24,7
1941-1942	169	545	1208	2800	2516	1260	565	311	201	123	96	124	829	26,2
1942-1943	223	428	1246	2504	1493	981	498	261	160	99	64	61	669	21,1
1943-1944	149	424	1065	2817	2841	1610	570	270	158	92	61	58	846	26,7
1944-1945	88	287	962	2518	2132	1008	446	266	137	82	52	35	669	21,1
1945-1946	101	247	1455	2773	2877	1407	501	247	148	82	58	89	835	26,4
1946-1947	191	527	1536	2957	3251	2039	715	347	213	127	66	55	1005	31,7
1947-1948	57	459	1479	2720	2905	973	411	189	122	71	46	34	791	25
1948-1949	154	899	2030	3319	3042	1530	592	300	195	108	98	81	1033	32,6
1949-1950	134	264	1634	3288	2634	1056	512	(290)	(150)	(00)	(55)	(45)	848	26,8
1950-1951	60	381	1400	2997	3396	1933	603	301	172	60	(50)	(90)	957	30,2
1951-1952														
1952-1953	116	563	1783	2933	3233	1855	755	378	213	133	88	69	1023	32,3
1953-1954	248	1225	2333	3335	3270	1802	812	426	241	154	129	115	1180	37,2
1954-1955	343	1008	2424	3309	3254	2371	1317	558	312	177	154	128	1285	40,5
1955-1956	265	1164	2246	3273	3389	2106	949	474	260	167	119	84	1211	38,2
1956-1957	107	501	1235	2685	3031	1371	582	309	149	86	57	48	850	26,8
1957-1958	112	692	2094	3246	3411	2694	1062	454	269	113	91	115	1200	37,9

TABLEAU N° 15

T I L E M B E Y A

Debits moyens mensuels classés (m³/s)

24 Années (1922-1929 - 1940-1951 - 1952-1958)

Ordre	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Fréquence cumulée	dépassement
1	57	247	962	2129	1493	973	411	189	122	60	38	34	0.958	
2	60	264	1065	2504	2132	981	446	247	137	71	46	35	0.917	
3	82	287	1136	2518	2274	1008	498	261	146	73	50	37	0.875	
4	88	381	1208	2670	2516	1056	501	266	149	80	52	45	0.833	
5	101	390	1235	2685	2634	1260	512	270	150	82	55	48	0.791	
6	107	424	1248	2720	2841	1354	565	290	158	82	57	55	0.750	
7	112	428	1400	2773	2870	1371	570	300	160	86	58	58	0.708	
8	116	459	1450	2800	2877	1407	582	301	172	92	61	61	0.666	
9	120	499	1455	2817	2905	1454	583	309	185	99	64	69	0.624	
10	121	501	1479	2933	2942	1530	592	311	195	108	66	81	0.541	
11	134	527	1536	2955	3031	1610	600	319	201	113	79	81	0.583	
12	149	545	1634	2957	3042	1802	715	345	211	120	88	83	0.520	
13	154	563	1694	2997	3251	1814	717	347	213	123	91	84	0.480	
14	154	591	1783	3093	3254	1855	755	378	213	127	93	89	0.459	
15	169	679	1860	3141	3270	1933	812	401	224	133	96	90	0.417	
16	181	692	2030	3246	3272	2039	881	422	241	135	98	96	0.376	
17	191	857	2094	3273	3323	2051	910	426	241	137	107	115	0.334	
18	200	865	2220	3288	3380	2106	946	430	247	154	107	115	0.292	
19	223	899	2246	3309	3389	2171	949	454	260	167	119	118	0.250	
20	248	1008	2264	3319	3396	2306	982	474	269	177	129	128	0.209	
21	265	1039	2333	3335	3403	2371	1062	513	312	186	144	129	0.167	
22	285	1164	2369	3343	3411	2694	1142	533	324	198	154	130	0.125	
23	304	1212	2424	3406	3420	2896	1152	558	341	209	154	150	0.083	
24	343	1225	2631	3406	3443	3031	1317	569	356	230	178	170	0.042	
Moyennes	164	656	1740	2984	3032	1795	758	371	218	126	91	88		

TABLEAU N° 16

T I L E M B E Y A

Débits moyens mensuels (m³/s) - Fréquence au dépassement

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Fréquences
	339	1225	2605	3406	3443	3015	1300	568	355	227	175	168	0.05
	296	1197	2395	3380	3415	2815	1150	540	333	204	154	140	0.10
	223	899	2246	3309	3389	2171	949	454	260	167	119	118	0.25
	152	554	1664	2977	3146	1808	716	346	212	121	90	84	0.50
	107	424	1248	2720	2841	1354	565	290	158	82	57	55	0.75
	60	271	1090	2515	2190	990	465	254	143	72	47	36	0.90
	57	249	980	2200	1600	975	415	198	123	61	40	34	0.95
Ecart absolu (0,95-0,05)	282	976	1625	1206	1843	2040	885	370	232	166	135	134	
Ecart relatifs (à la moyenne)	1,72	1,49	0,93	0,40	0,61	1,13	1,17	1,00	1,06	1,32	1,48	1,52	

NIGER A TILEMBEYA

Périodes de 1922 à 1929 - 1939 à 1951 et 1952 à 1958

Cote du zéro de l'échelle: 266,82 m (I.G.N.)

Débits d'étiages absolus

Année	Date	Cote brute en m	Débit en m ³ /s	Cote nivelée en mètres
1923	27 Mai	0,54	87	267,36
1924	14 et 15 Mai	0,07	35	266,89
1926	27 Mai	0,69	113	267,51
1927	22 au 29 Avril	0,42	72	267,24
1940	17 et 18, 21 au 24 Mai	0,48	80	267,30
1941	14 Mai	0,43	73	267,25
1942	16 au 24 Avril	0,48	80	267,30
1943	20 au 25 Mai	0,26	52	267,08
1944	7 Mai	0,24	50	267,06
1945	17, 21 et 24 Mai	0,03	32	266,85
1946	30 Avril	0,22	47	267,04
1947	10 et 11 Mai	0,19	44	267,01
1948	24 à 26 Mai	- 0,01	30	266,81
1949	25 Mai	0,39	68	267,21
1953	7 Mai	0,25	51	267,07
1954	8 et 9 Mai	0,52	85	267,34
1955	13 au 15 Mai	0,57	91	267,39
1956	18 Mai	0,35	63	267,17
1957	1er au 4 Juin	0,17	41	266,99
1958	17 Mai	0,47	79	267,29

Dates limites : 16 Avril - 4 Juin

Débits limites : 30 et 113 m³/s

NIGER A TILEMBEYA

Crues annuelles

Année	Date	Débit m ³ /s	Cote brute en mètres	Cote nivelée en mètres
1922	25 au 27 Octobre	3316	5,88	272,70
1923	29 Septembre au 4 Octobre, et 7 Octobre	3401	5,93	272,75
1924	17 au 19 Septembre	3452	5,96	272,78
1925	25 Octobre au 1 Novembre	3469	5,97	272,79
1926	26 Septembre au 3 Octobre	3350	5,90	272,72
1927	19 au 30 Octobre	3401	5,93	272,75
1928	6 au 20 Octobre	3435	5,95	272,77
1940	23 Octobre	2396	5,24	272,06
1941	27 Septembre au 2 Octobre	3197	5,81	272,63
1942	19 au 21 Septembre	2933	5,65	272,47
1943	9 au 12 Octobre	3180	5,80	272,62
1944	28 Septembre	3032	5,71	272,53
1945	6 au 9 Octobre	3197	5,81	272,63
1946	14 au 22 Octobre	3282	5,86	272,68
1947	8, 11 et 12 Octobre	3316	5,88	272,70
1948	5 au 13 Octobre	3418	5,94	272,76
1949	23 Septembre au 3 Octobre	3367	5,91	272,73
1950	8 au 16 Octobre	3418	5,94	272,76
1952	12 au 23 Octobre	3350	5,90	272,72
1953	1er au 20 Octobre	3384	5,92	272,74
1954	12 Octobre	3401	5,93	272,75
1955	12 au 19 Octobre	3452	5,96	272,78
1956	4 et 7 au 12 Octobre	3333	5,89	272,71
1957	9 Octobre au 2 Novembre	3418	5,94	272,76

Dates limites : 17 Septembre et 2 Novembre

Débits limites : 2396 et 3469 m³/s

NIGER A TILEMBEYA

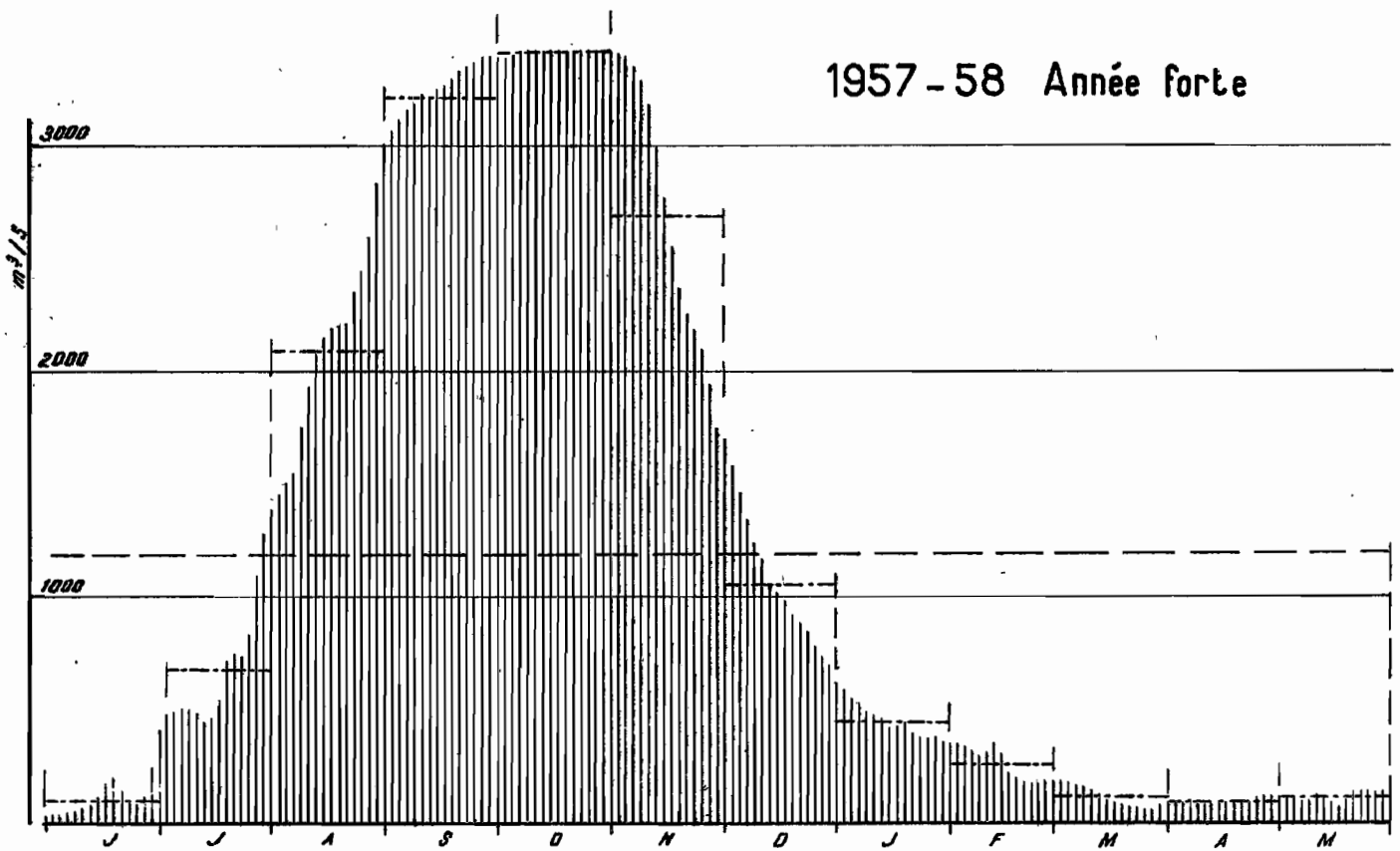
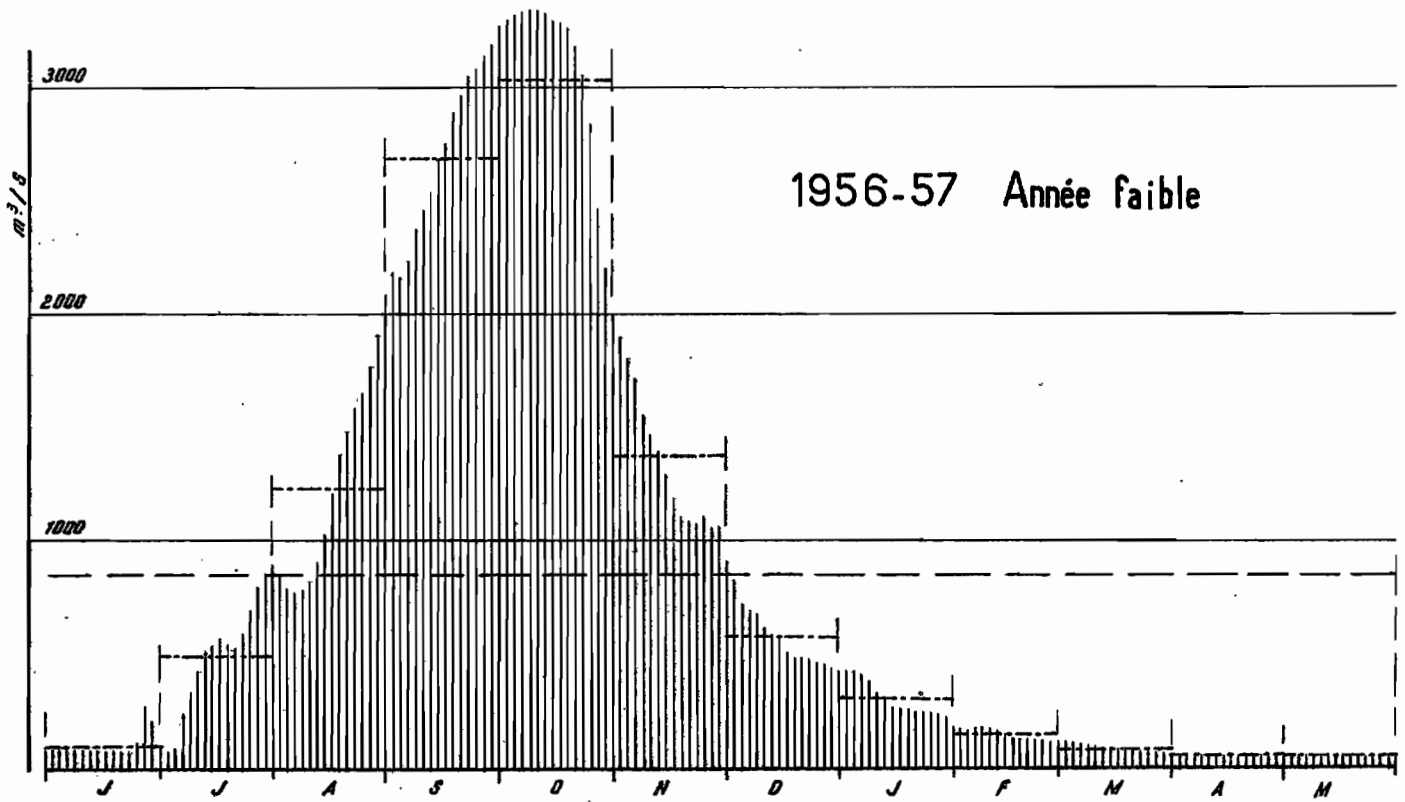
Débits caractéristiques (m³/s)

Années	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1922-1923			399	1532	3299
1923-1924	(35)	(90)	389	1889	3384
1924-1925	127	175	497	2336	3435
1925-1926	117		738	2522	3452
1926-1927	73	155	552	1764	3350
1927-1928		170	597	2540	3401
1928-1929		237	532	2352	3435
1939-1940	82				
1940-1941	80	129	378	1366	2328
1941-1942	81	152	357	1262	3132
1942-1943	55	119	285	960	2757
1943-1944	52	109	295	1389	3131
1944-1945	33	82	253	1030	2949
1945-1946	57	99	229	1279	3164
1946-1947	48	135	371	1625	3282
1947-1948	32	86	298	1125	3282
1948-1949	73	121	434	1698	3401
1949-1950				1140	3367
1950-1951		(80)	285	1539	3418
1952-1953	56	121	378	1737	3350
1953-1954	88	160	610	2088	3384
1954-1955	107	201	651	2450	3384
1955-1956	75	185	643	2162	3435
1956-1957	46	85	378	1210	3316
1957-1958	73	121	490	2255	3418

=====

LE NIGER A TILEMBEYA

Gr. 13



NIG 10.278

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE J.-H. MCHLXI

DES: F. COUPRIE

VISA:

TUBE N°:

A1

C H A P I T R E V

ETUDE DU REGIME DU DIAKA A KARA

Le DIAKA est un effluent prélevant une partie du débit du NIGER à DIAFARABE. Il fonctionne comme un déversoir naturel dont le seuil est constitué par un système de bancs de sable très étendu barrant l'entrée du marigot.

Son débit à la station de KARA peut s'annuler pendant plusieurs semaines, si l'étiage du NIGER est suffisamment rigoureux.

Les déversements sur la rive gauche du NIGER, en bloquant les cotes maximales, limitent les débits maximaux du DIAKA.

Le régime du DIAKA à KARA et celui du NIGER à TILEMBEYA sont identiques. Nous nous contenterons donc seulement de présenter les valeurs principales de ce régime.

I - ETIAGES -

Nous avons vu que le débit d'étiage peut devenir très faible ou même s'annuler. Cette carence peut durer plus de deux mois.

L'étiage se situe en Avril-Mai.

Même pour les années où le débit d'étiage du NIGER est particulièrement abondant, le minimum absolu à KARA descend au-dessous de $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (Mai 1955).

Nous avons noté dans les "données hydrologiques" (1), lors de l'établissement de la courbe de tarage de cette station, que les faibles débits, inférieurs à $20 \text{ m}^3/\text{s}$, sont estimés par relation avec les débits du NIGER à TILÉMBÉYA. Ceci est particulièrement vrai, en ce qui concerne les années antérieures à la crue 1952-1953, années pour lesquelles les débits à KARA ont été entièrement déduits des hauteurs à TILÉMBÉYA, puisque l'on a admis l'identité des hauteurs aux deux échelles.

II - CRUES -

Comme pour la station de TILÉMBÉYA, les crues ont lieu entre le 15 Septembre et le 15 Octobre.

Elles sont bloquées supérieurement aux environs d'un débit de pleine rive du DIAKA de $1\ 700 \text{ m}^3/\text{s}$.

En année abondante, nous trouvons un palier pendant lequel le débit varie peu, pouvant durer plusieurs semaines.

III - MODULES -

Les modules varient de $328 \text{ m}^3/\text{s}$ à $648 \text{ m}^3/\text{s}$ (périodes de 1940 à 1951 et 1952 à 1958). La moyenne est de $470 \text{ m}^3/\text{s}$. L'écart relatif entre les modules extrêmes (rapporté à la moyenne) est de 0,68.

Il existe une corrélation étroite entre les modules à KARA et les modules correspondants à TILÉMBÉYA. La relation est linéaire et peut s'exprimer ainsi :

$$\text{Module}_{\text{KARA}} = 0,50 \quad \text{Module}_{\text{TILÉMBÉYA}} \quad (\text{Graphique 14})$$

Sur la période 1922-1957, le module moyen à KARA est estimable par conséquent à $508 \text{ m}^3/\text{s}$, et seulement à $484 \text{ m}^3/\text{s}$ sur la période 1907-1957.

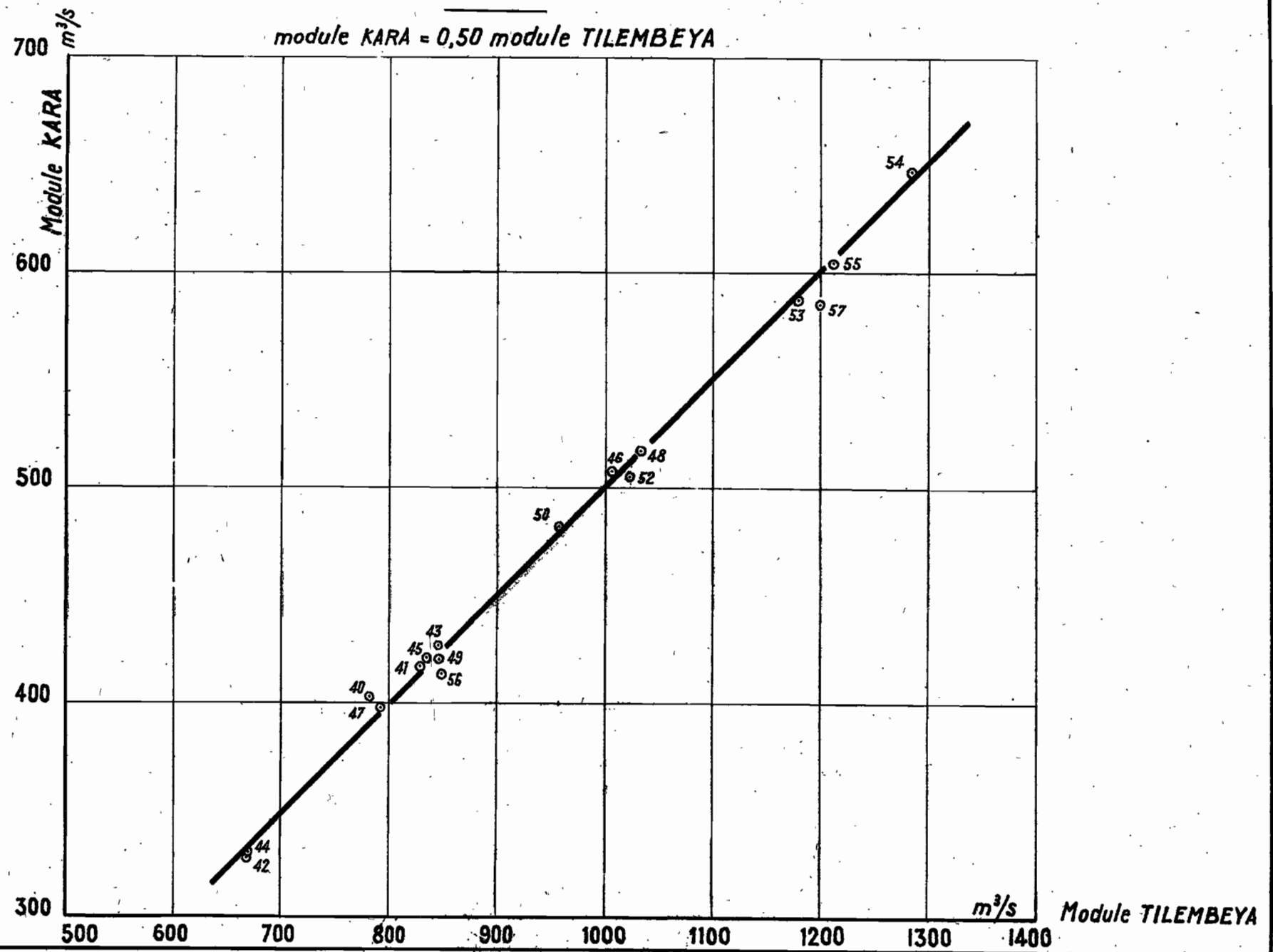
Nous retiendrons que les volumes dérivés par le DIAKA sont pratiquement égaux à la moitié des volumes écoulés par le NIGER à TILÉMBÉYA.

(1) Cf. 3ème partie - Chapitre II - B - du 1er Tome

Corrélation entre les modules à KARA et TILEMBEYA

Gr_14

NIG 10.279



Donc, le DIAKA prélève le tiers des volumes écoulés par le NIGER en amont de la confluence.

IV - DEBITS MOYENS MENSUELS - (Tableau n° 20)

La moyenne la plus élevée a lieu en Septembre ($1\ 558\ m^3/s$). Le mois d'Octobre est presque aussi fort ($1\ 524\ m^3/s$). Crue et décrue au-dessus de $300\ m^3/s$ sont presque symétriques. Les basses eaux ont lieu en Mars, Avril et Mai.

Les écarts relatifs entre chiffres extrêmes sont minimaux en Septembre et Octobre, c'est-à-dire pendant la durée des très hautes eaux. L'écart relatif mensuel augmente régulièrement de part et d'autre de cette période. Les chiffres sont très forts en basses eaux, mais n'ont pas grande valeur du fait que les débits moyens d'Avril et Mai (beaucoup plus rarement ceux de Mars et Juin) peuvent s'annuler.

V - PERTES EN VOLUMES ENTRE KOULIKORO ET TILEMBEYA AMONT -

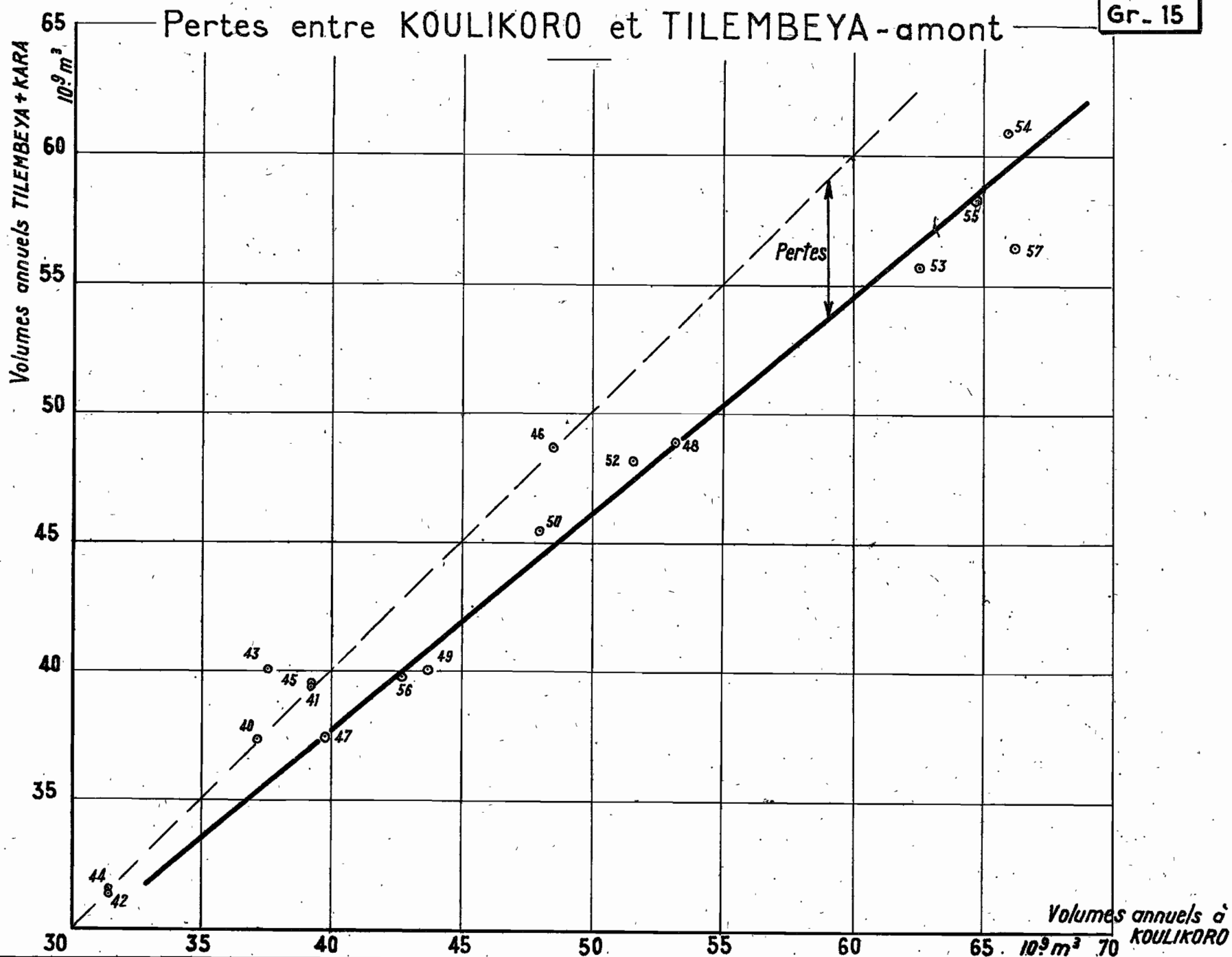
Nous comparons les volumes écoulés à KOULIKORO avec la somme des volumes écoulés à TILEMBEYA d'une part et à KARA d'autre part, durant les cycles hydrologiques correspondants. Nous essayons ainsi de faire le bilan du NIGER pour les 350 kilomètres de son cours depuis KOULIKORO. Dans ce bief, commencent les débordements du delta central proprement dit, mais à côté d'apports du bassin intermédiaire non négligeables, surtout en amont de KIRANGO, il faut tenir compte des prélèvements de l'Office du NIGER.

Le tableau n° 21, rassemble les données de cette comparaison.

Si, dans les grandes lignes, la correspondance est satisfaisante, dans le détail les points apparaissent assez dispersés (Graphique n° 15).

Les points représentatifs des années 1940 à 1946 se placent nettement au-dessus de la courbe moyenne, puisque les volumes calculés pour TILEMBEYA amont égalent ou excèdent ceux écoulés à KOULIKORO. Le fait peut s'expliquer en partie par l'absence, pour ces années, de volumes dérivés dans les canaux de l'Office du NIGER ($0,8$ milliard de m^3 environ). En outre, l'année 1943 a bénéficié dans la zone du bassin intermédiaire d'une pluviométrie nettement excédent-

NIG. 10.280



taire (à MARKALA 977 mm contre 641 en moyenne) ; ce qui peut justifier que ce soit la seule année nettement excédentaire à TILEDIBEYA amont.

Un autre argument pourrait s'appuyer sur le fait que les relevés antérieurs à 1946 proviennent de l'échelle A dont le calage par rapport aux échelles B (1947-1949) et actuelle (1950-1958) n'est peut-être pas aussi bien connu qu'on le pense (Cf. Chapitre I - G - de la 3ème partie, 1er Tome).

Nous avons finalement adopté une droite qui prête à beaucoup de critiques :

1°) Les points 1940-1943-1945 et 1946 sont trop nettement décalés vers le haut, même en tenant compte des prélèvements de l'Office du NIGER.

2°) Il existe une forte dispersion difficilement explicable entre les années 1954 et 1957.

Nous retiendrons seulement la droite, ainsi tracée et qui ne tient compte que des relevés postérieurs à 1947, afin de donner des valeurs approximatives aux pertes en volumes dans le tronçon considéré, KOULIKORO - TILEDIBEYA amont.

Volumes écoulés à KOULIKORO:	Pertes approximatives :
30 milliards de m ³	0,7 milliard de m ³
40 - - -	2 - - -
50 - - -	4 - - -
60 - - -	5,5 - - -

Le terme de "pertes" est en fait impropre car ces volumes comprennent :

1°) des volumes dérivés par débordements qui peuvent se retrouver en partie dans l'alimentation de la cuvette lacustre.

2°) des volumes écoulés par contournement des stations de mesures (bras latéraux et écoulement lent dans les plaines d'inondation) (cas de TILIMBEYA et KARA).

3°) des volumes prélevés par l'Office du NIGER.

4°) des volumes perdus par infiltration non récupérés par drainage dans les zones inondées.

5°) des volumes effectivement perdus par évaporation et intervenant dans la croissance des végétaux.

En outre, un bilan exact exigerait de tenir compte de l'apport du bassin intermédiaire difficilement évaluable. Indiquons seulement, ainsi que nous l'avons vu au chapitre II, relatif à KIRANGO, que les apports naturels entre KOULIKORO et cette station sont du même ordre de grandeur que les prélèvements effectués par l'Office du NIGER.

La mise en évidence de ces anomalies permet de confirmer la sous-estimation des modules de KIRANGO et KE-MACINA. Sur la période 1907-1957, le module moyen, en amont du DIAKA, est égal à $968 + 484$ soit $1452 \text{ m}^3/\text{s}$. C'est entre ce chiffre et $1545 \text{ m}^3/\text{s}$, module correspondant à KOULIKORO, que doivent se placer les modules moyens à KIRANGO et KE-MACINA. Par exemple : 1520 et $1490 \text{ m}^3/\text{s}$ environ nous semblent des valeurs tout à fait vraisemblables, elles sont nettement plus élevées que celles obtenues par traduction des débits : 1346 et $1360 \text{ m}^3/\text{s}$, preuve d'une sous-estimation de ceux-ci.

TABLEAU N° 20

DEBITS MOYENS MENSUELS en m³/s du DIAKA à KARA

Années	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume
													m ³ /s	écoulé 10 ⁹ m ³
1939-1940								138	64	19	5	1		
1940-1941	13	199	795	1246	1331	803	243	107	54	17	4	0	403	12,7
1941-1942	34	223	637	1543	1407	725	234	104	48	13	4	14	417	13,2
1942-1943	60	166	661	1425	835	486	188	79	27	3	0	0	328	10,3
1943-1944	24	159	554	1552	1558	913	240	83	25	4	0	0	426	13,4
1944-1945	5	90	484	1412	1210	501	170	66	17	1	0	0	330	10,4
1945-1946	7	71	798	1521	1575	768	199	72	21	2	0	3	421	13,3
1946-1947	49	216	846	1615	1709	1139	317	122	55	14	1	0	508	16
1947-1948	1	182	818	1497	1565	483	153	42	13	2	0	0	397	12,1
1948-1949	29	429	1151	1732	1629	857	223	81	32	4	5	0	517	16,3
1949-1950	26	86	909	1722	1446	529	206	(95)	(20)	(0)	(0)	(0)	421	13,3
1950-1951	0	151	771	1621	1758	1079	254	99	34	0	0	0	482	15,2
1952-1953	17	252	1006	1540	1667	1001	334	142	59	15	3	1	505	15,9
1953-1954	87	657	1279	1666	1640	982	382	175	84	28	22	12	588	18,5
1954-1955	139	529	1342	1661	1642	1277	687	233	121	50	35	23	648	20,4
1955-1956	101	621	1242	1651	1686	1144	453	191	91	41	13	4	605	19,1
1956-1957	12	208	650	1443	1551	707	233	100	22	3	0	0	413	13
1957-1958	17	309	1154	1637	1696	1405	503	170	79	12	2	10	585	18,5
Moyenne	37	267	888	1558	1524	871	295	117	48	13	5	4	470	
Maximums	139	657	1342	1732	1758	1405	687	233	121	50	35	23	648	
Minimums	0	71	484	1246	835	483	153	42	13	0	0	0	328	
Ecart : Mx - Mn	139	586	858	486	923	922	534	191	108	50	35	23	320	
Ecart relatif : $\frac{Mx - Mn}{moyenne}$	3,76	2,20	0,97	0,31	0,60	1,06	1,81	1,63	2,25	3,85	7	5,75	0,68	

PERTES entre KOULIKORO et TILEMBEYA AMONT

(en milliards de m³)

Années	Volumes écoulés annuels à				Pertes
	KOULIKORO	TILEMBEYA	KARA	TILEMBEYA + KARA	
1940-1941:	37,1	24,7	12,7	37,4	
1941-1942:	39,2	26,2	13,2	39,4	
1942-1943:	31,4	21,1	10,3	31,4	
1943-1944:	37,5	26,7	13,4	40,1	
1944-1945:	31,4	21,1	10,4	31,5	
1945-1946:	39,2	26,4	13,3	39,7	
1946-1947:	48,5	31,7	16	47,7	0,8
1947-1948:	39,8	25	12,5	37,5	2,3
1948-1949:	53,2	32,6	16,3	48,9	4,3
1949-1950:	43,7	26,8	13,3	40,1	3,6
1950-1951:	48	30,2	15,2	45,4	2,6
1952-1953:	51,6	32,3	15,9	48,2	3,4
1953-1954:	62,6	37,2	18,5	55,7	6,9
1954-1955:	65,9	40,5	20,4	60,9	5
1955-1956:	64,7	38,2	19,1	57,3	7,4
1956-1957:	42,7	26,8	13	39,8	2,9
1957-1958:	66,2	37,9	18,5	56,4	9,8

DIAKA A KARA

Période de 1940 à 1958

Zéro de l'échelle: 267,00 m (I.G.N.)

Débits d'étiages absolus

Années	Dates	Débit m ³ /s	Cote brute en m	Cote nivelée en m
1940	4 au 9 et 14 au 26 Mai	0	0,50	267,50
1941	28 Avril au 16 Mai, 19 au 30 Mai	0	0,49	267,49
1942	11 au 24 Avril	0	0,51	267,51
1943	28 Mars au 28 Avril, 1 au 4 Juin	0	0,33	267,33
1944	20 Mars au 12 Juin	0	0,23	267,23
1945	12 Mars au 9 Juin	0	0,13	267,13
1946	16 Mars au 5 Mai, 19, 21, 24 au 27 Mai	0	0,22	267,22
1947	7 Avril au 29 Juin	0	0,24	267,24
1948	5 Mars au 12 Juin	0	0,11	267,11
1949	19 Mars au 3 Avril, 10 Avril au 2 Juin, 13 Juin au 11 Juillet	0	0,39	267,39
1950	? jusqu'au 3 Juillet	0		
1951	A partir du 6 Mars	0		
1952	Jusqu'au 20 Mai, et du 24 au 30 Mai	0		
1953	12 Avril au 21 Mai, 31 Mai au 11 Juin	0	0,33	267,33
1954	17 et 18 Avril, 8 et 9 Mai	2	0,65	267,65
1955	13 Mai	7	0,75	267,75
1956	12 au 25 Mai, 12 au 15 et 18 au 22 Juin	0	0,53	267,53
1957	17 Mars au 13 Juin	0	0,29	267,29
1958	18 Mars au 11 Avril, 13 au 22 Avril, 7, 16 et 17 Mai	0	0,40	267,40

Dates extrêmes : 5 Mars - 11 Juillet

Cotes extrêmes : 0,11 m 0,75 m

TABLEAU N° 23

DIAKA A KARA

- 68 -

Crues annuelles

Années	Dates	Débit m ³ /s	Cote brute en m	Cote nivelée en m
1940	20 au 23 Septembre	1371	5,18	272,18
1941	27 Septembre au 2 Octobre	1691	5,81	272,81
1942	19 au 21 Septembre	1603	5,65	272,65
1943	10 au 12 Octobre	1685	5,80	272,80
1944	28 Septembre	1636	5,71	272,71
1945	6 au 9 Octobre	1691	5,81	272,81
1946	13 au 22 Octobre	1720	5,86	272,86
1947	11 et 12 Octobre	1731	5,88	272,88
1948	5 au 13 Octobre	1766	5,94	272,94
1949	23 Septembre au 4 Octobre	1748	5,91	272,91
1950	8 au 16 Octobre	1766	5,94	272,94
1952	16 au 22 Octobre	1680	5,79	272,79
1953	5 au 10 Octobre	1685	5,80	272,80
1954	28 Septembre au 10 Octobre	1691	5,81	272,81
1955	12 au 20 Octobre	1708	5,84	272,84
1956	5 au 12 Octobre	1663	5,76	272,76
1957	8 Octobre au 2 Novembre	1697	5,82	272,82

Dates extrêmes : 19 Septembre - 2 Novembre

Crues extrêmes : 1371 - 1766 m³/s

TABLEAU N° 24

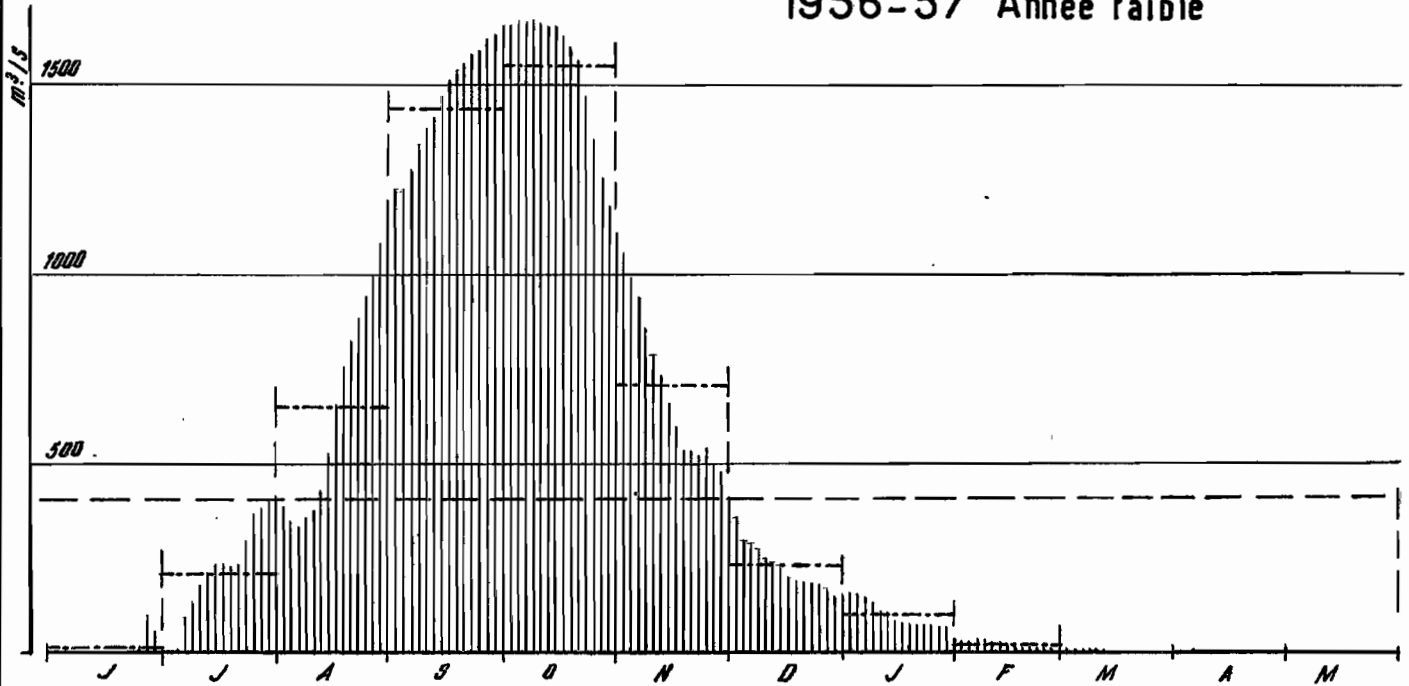
DIAKA A KARA

Débits caractéristiques en m³/s

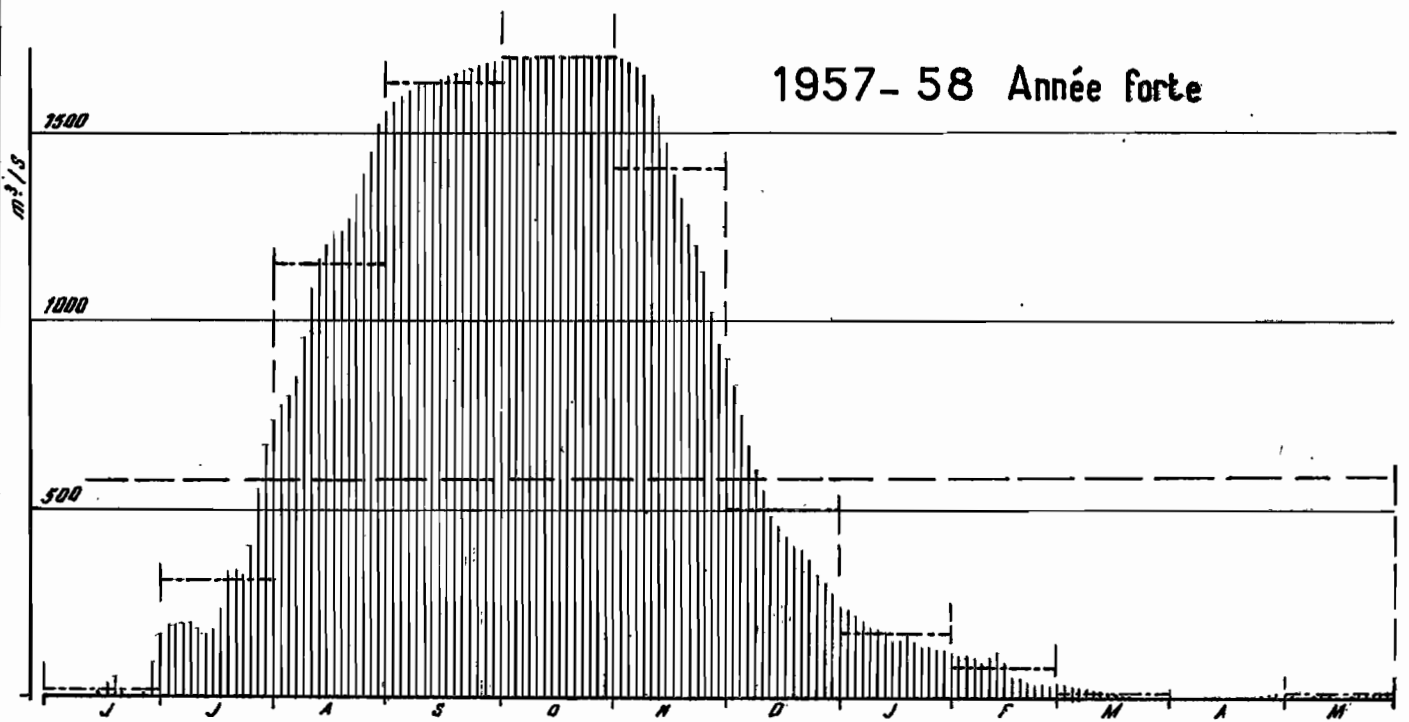
Années	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1939-1940	0				
1940-1941	0	13	133	752	1362
1941-1942	0	20	129	676	1685
1942-1943	0	11	91	442	1545
1943-1944	0	8	95	769	1669
1944-1945	0	0	76	496	1608
1945-1946	0	6	64	689	1680
1946-1947	0	15	133	931	1720
1947-1948	0	0	64	560	1720
1948-1949	0	7	140	978	1760
1949-1950	0	(0)		588	1748
1950-1951	0	0	91	876	1766
1952-1953	0	12	144	973	1674
1953-1954	7	33	257	1155	1680
1954-1955	31	52	290	1385	1691
1955-1956	13	51	280	1223	1702
1956-1957	0	3	132	624	1658
1957-1958	0	6	188	1263	1697

LE DIAKA A KARA

1956-57 Année faible



1957-58 Année forte



NIG 10 281

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:	LE: 1-11-1906 L X 1	DES: J-P Huchet	VISA:	TUBE N°:	A 1
-----	---------------------	-----------------	-------	----------	-----

CH A P I T R E V I

ETUDE DU REGIME A MOPTI

I - GENERALITES -

Nous disposons, nous l'avons vu, de trois séries de relevés :

1°) 1922-1930 - Les relevés de basses eaux manquent absolument. Il est impossible d'apprécier les débits moyens mensuels pour les mois de Juin et Mars, Avril, Mai de l'année suivante. Une partie des hautes eaux manquent en 1922 et 1929.

2°) 1933-1937 - Pratiquement, rien du cycle 1933-1934. Une bonne partie des basses eaux manquent pour les 3 cycles suivants.

3°) 1943-1957 - Les relevés sont à peu près complets, sauf en ce qui concerne les hautes et moyennes eaux du cycle 1949-1950.

Soit en tout 21 cycles exploitables et 13 seulement pour les études de basses eaux. C'est évidemment fort peu, d'autant plus que les 21 années citées comprennent deux périodes, à forte hydraulité : 1923-1929 et 1950-1958.

FACTEURS PRINCIPAUX du REGIME à MOPTI -

Les débits, à l'aval de MOPTI, résultent de la combinaison des apports du NIGER amont et du BANI.

Nous avons vu que les apports du NIGER sont, en fortes crues, écrêtés par l'effluence du DIAKA et les déversements sur la rive gauche (marigots de NOUHOUN, OURO-MODI, SAHONA) de telle manière que le débit véhiculé par le NIGER jusqu'à MOPTI se trouve limité supérieurement quelle que soit l'ampleur de la crue au-dessus d'une certaine valeur, qui correspond sensiblement au franchissement de la cote 6,00 m à KOULIKORO. C'est donc un véritable palier qui se transporte à MOPTI et y constitue, dans le cas d'une forte crue, la base de l'hydrogramme.

La conjugaison des apports respectifs du NIGER et du BANI régit le mouvement des eaux à MOPTI :

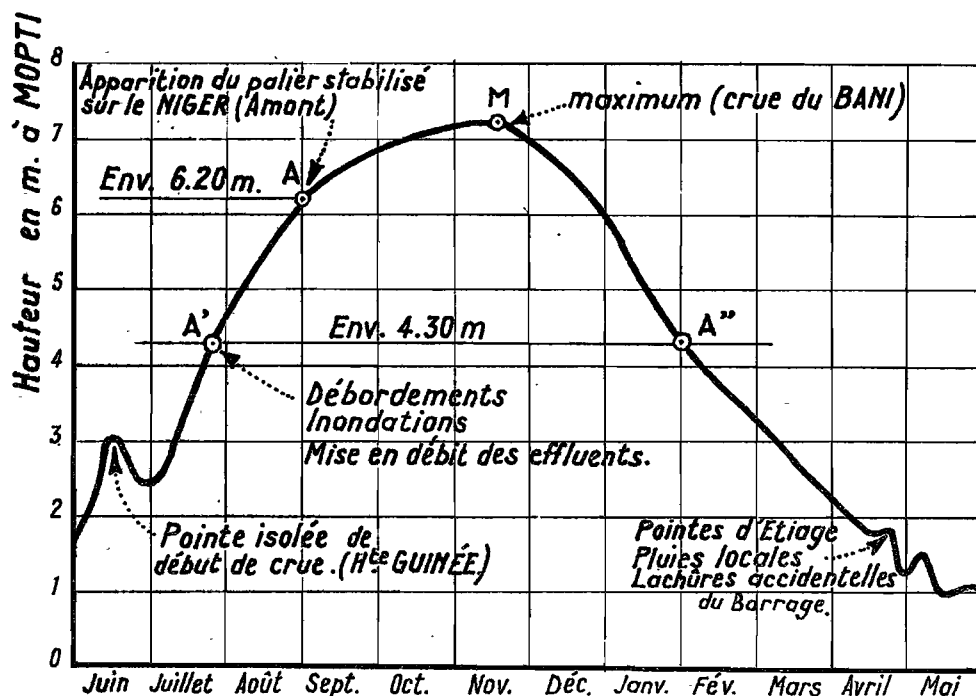
$$Q_{\text{Aval MOPTI}} = Q_{\text{NIGER}} + Q_{\text{BANI}}$$

En début de crue, les deux apports s'ajoutant, le niveau s'élève très rapidement à la station de MOPTI, plus rapidement même qu'à KOULIKORO, malgré l'amortissement naturel de l'onde de crue. Les pointes accessoires de début de crue (pluies précoces sur la Haute GUINEE) venant de l'amont sont très estompées en-dessous de la cote 3,00 m et disparaissent presque complètement en hautes eaux. Puis, si la poussée est assez forte, le débit d'apport du NIGER devenant pratiquement constant, on voit apparaître sur le limnigramme de MOPTI un point anguleux caractéristique indiquant un changement brutal dans le gradient de la montée des eaux. On l'observe généralement vers la cote 4,30 m ; il provient sans doute de l'influence dans le lit amont de l'envahissement des zones d'inondation et peut-être des débordements.

Par la suite, ce sont les apports du BANI qui constituent le sommet de la crue à MOPTI jusqu'à ce que les apports du NIGER diminuent aussi brusquement, entraînant rapidement la décrue à MOPTI. Pour une cote proche de 4,30 m, on retrouve un second point anguleux marquant un tarissement plus lent (Graphique n° 17).

STATION DE MOPTI.

Limnigramme type (année abondante.)



AA'A". Points anguleux marquant des accidents caractéristiques de la crue et de la décrue.

M. De part et d'autre de M, la décrue est plus brutale que la crue. (Baisse des eaux rapide à TILMBEYA.)

Lorsque la crue du NIGER est faible, le palier n'est pas atteint et, seule, intervient la combinaison des deux ondes de crues dont le décalage constitue souvent le facteur principal influant sur la cote maximale atteinte à MOPTI.

En basses eaux, le niveau est irrégulier à cause des premières pluies locales et des lâchures brutales effectuées à MARKALA.

II - ETUDES DES CRUES -

La période d'apparition des maximums s'étend entre le 15 Octobre et la fin Novembre, sauf en ce qui concerne l'année 1951 dont la crue à KOULIKORO fut franchement exceptionnelle (maximum en Novembre, débit moyen de Décembre supérieur au double de la normale).

La dominante semble se situer dans la première décade de Novembre.

Les crues faibles sont toujours précoces (2ème quinzaine d'Octobre), les crues fortes, en général, tardives (Graphique n° 118).

Les fortes crues sont aplaties d'abord à cause de la stabilisation des apports du NIGER et ensuite du fait de l'amortissement considérable de la crue du BANI (vastes débordements en aval de BENENY-KEGNY), mais souvent la décrue, une fois amorcée, prend rapidement de l'ampleur.

Au contraire, les très faibles crues peuvent être pointues, l'atténuation en étant beaucoup moins active.

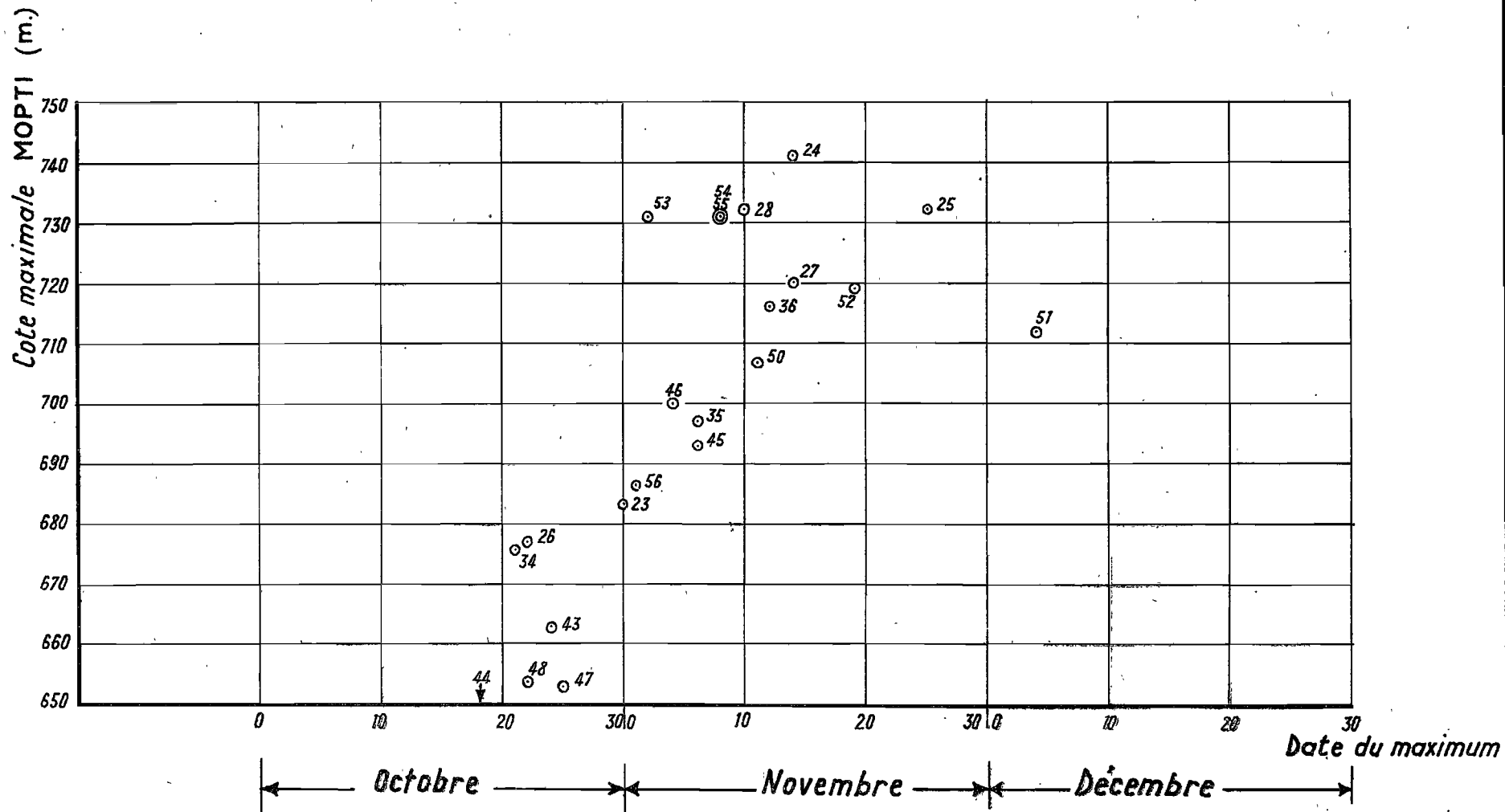
Les 23 débits maximaux journaliers de crue connus s'étendent entre 2 400 m³/s (1944) et 3 080 m³/s (1924).

Moyenne des débits maximaux de crue pour la période 1923-1929 : 2 918 m³/s.

Moyenne des débits maximaux de crue pour la période 1950-1956 : 2 935 m³/s.

Moyenne de l'ensemble des observations (23 années) : 2 836 m³/s.

Cote maximale MOPTI en fonction de la date



Les données ne sont pas assez nombreuses, l'échantillonnage trop mal réparti (prédominance des années abondantes) pour espérer pouvoir se livrer à une étude statistique des crues.

Il ne peut pas exister une corrélation serrée entre les modules à KOULIKORO et les modules à MOPTI, puisque l'hydraulicité du NIGER et du BANI peuvent ne pas être rigoureusement semblables ; néanmoins, on retrouve une allure croissante dans la direction du nuage de points. Les modules à MOPTI croissent environ deux fois moins vite que les modules à KOULIKORO (Graphique n° 19). On constate en outre que la relation entre les cotes maximales de crue et les modules à MOPTI n'est pas trop mauvaise (Graphique n° 20).

Il ressort, de ces deux corrélations, qu'un module à KOULIKORO de 2500 m³/s, soit environ 80 milliards de m³, risquerait d'entraîner un module à MOPTI de 1550 m³/s, correspondant à une cote maximale voisine de 7,55 m. Mais nous devons tenir compte qu'une telle cote à MOPTI pourrait être atteinte avec un module, à KOULIKORO, réellement inférieur (2150 m³/s par exemple), si le hasard voulait que la crue du BANI fut avancée et coïncide plus ou moins exactement avec celle du NIGER.

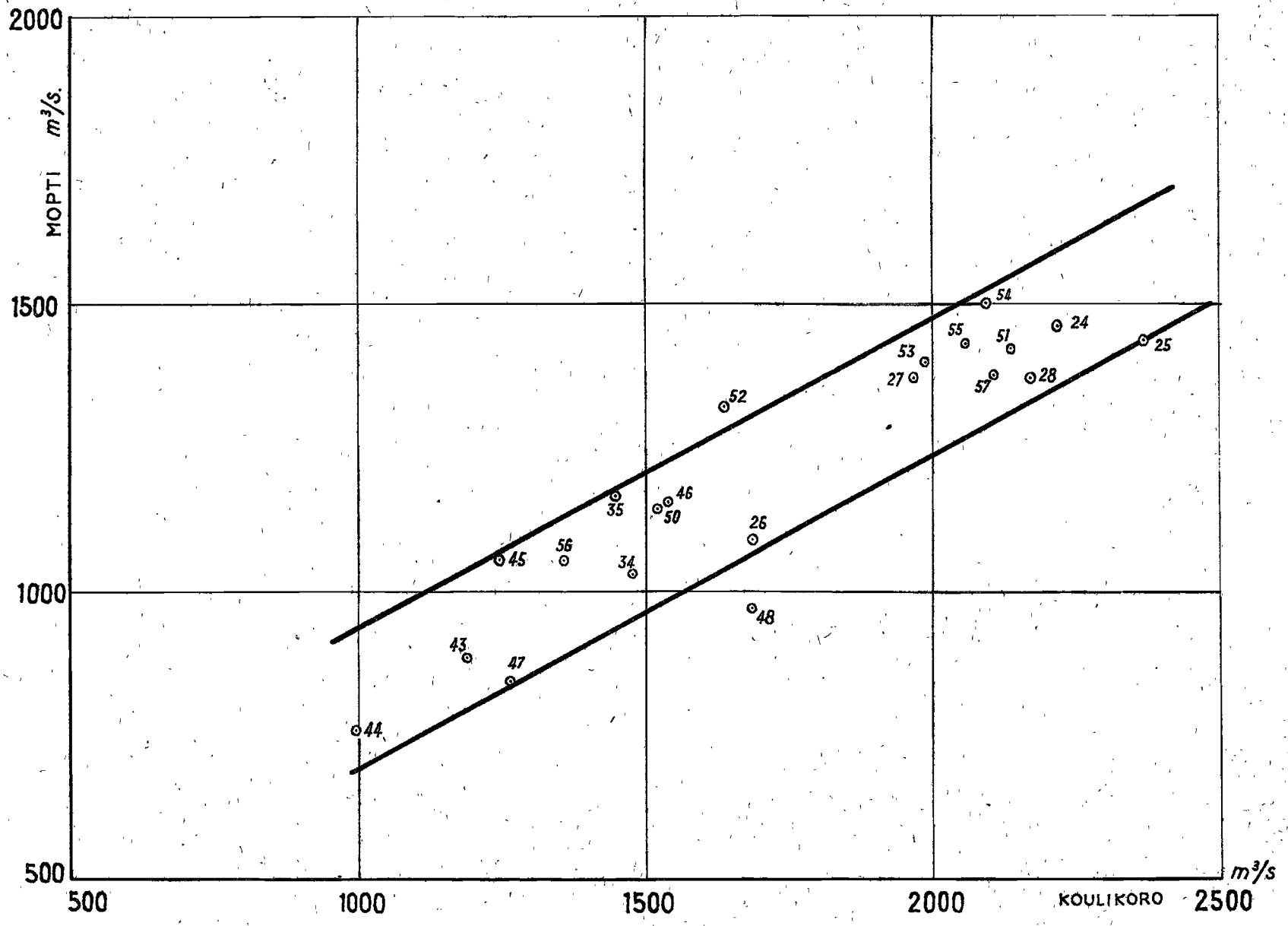
Nous pensons donc, sans rien pouvoir affirmer, que cette valeur de 7,55 m doit représenter sensiblement une crue de fréquence centenaire atteinte vraisemblablement lors des années abondantes de 1890-1896. Nous retrouverons plus loin, déduit de la répartition statistique des modules, un chiffre du même ordre de grandeur. Enfin, le fait qu'il y ait une assez bonne corrélation entre la cote maximale atteinte et le module du cycle correspondant montre la bonne régularité du régime et la conservation dans le temps des formes fondamentales du limnigramme.

III - ETIAGES -

Les débits d'étiage au-dessous de la cote 1,00 m (80 m³/s) ont été extrapolés puisqu'il n'a pas été possible, depuis 1951, d'effectuer des jaugeages correspondant à des cotes plus basses ; l'extrapolation ayant porté jusqu'à un débit de 40 m³/s pour l'année 1945, il y a donc lieu de considérer ces valeurs comme très approximatives et vraies à 10 ou 20 % seulement.

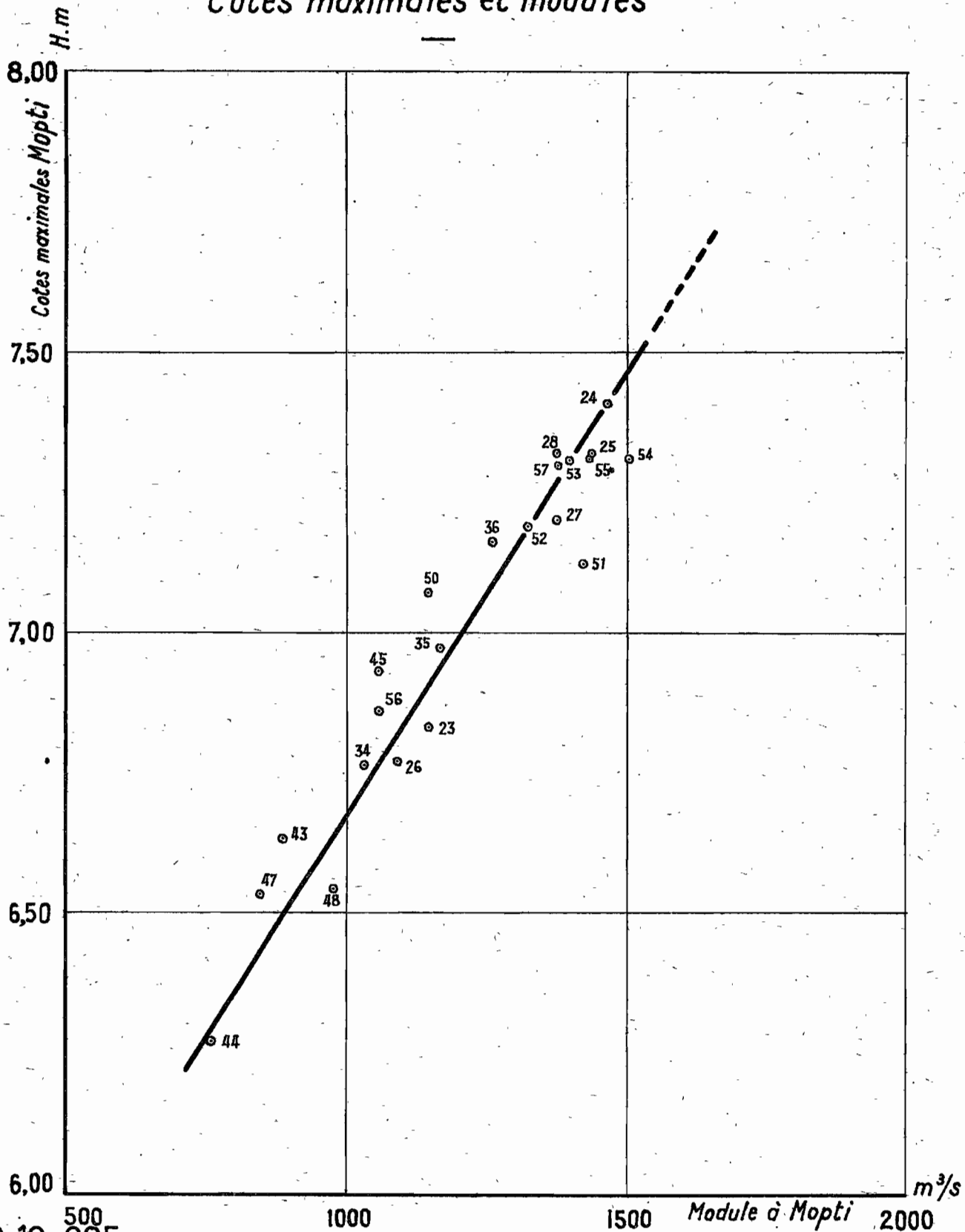
Modules à MOPTI en fonction des modules à KOULIKORO

NIG.10.284



Le NIGER à MOPTI

Cotes maximales et modules



Les relevés d'étiage complets que nous possédons intéressent la période de 1944 à 1957.

Le minimum absolu a lieu entre le 8 Mai et le 30 Juin, dates extrêmes, avec une prédominance pour la période du 20 Mai au 10 Juin. Cette date dépend de l'arrivée des crues du Haut NIGER et du Haut BANI.

COMPARAISON des DEBITS d'ETIAGE à KOULIKORO et MOPTI -
(Tableau n° 25)

Les minimums absolus sont presque toujours supérieurs à MOPTI, l'écart est surtout très marqué pour les faibles étiages à KOULIKORO (du simple au double). Au contraire, pour les forts étiages amont, la valeur minimale du débit à MOPTI est sensiblement la même qu'à KOULIKORO.

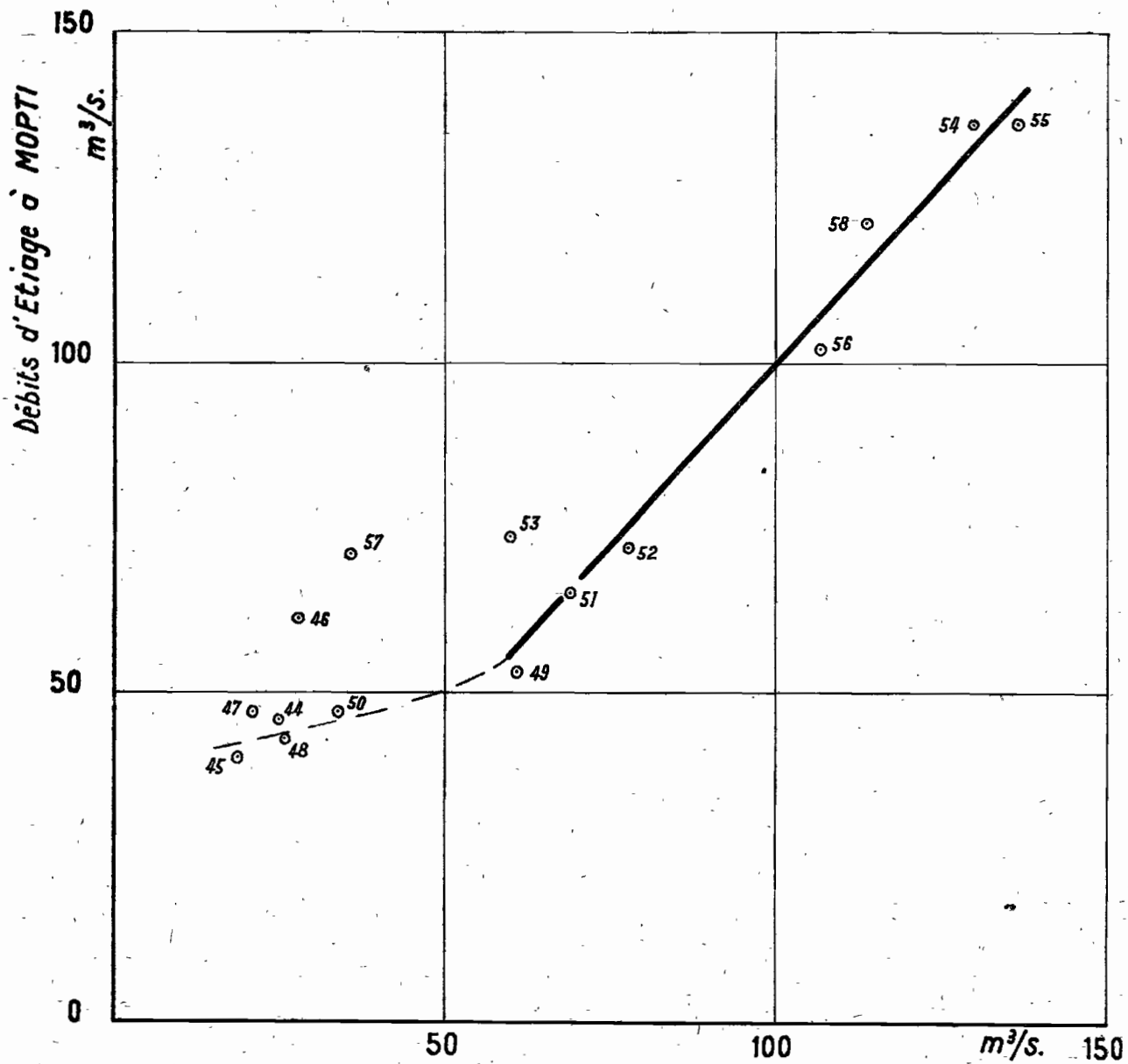
Ceci montre qu'à MOPTI la position du niveau des eaux d'étiage dans le lit mineur, par rapport au niveau de la nappe d'alimentation, présente une grosse importance ; les échanges entre cette nappe et le lit mineur sont actifs.

En cas d'étiage très rigoureux en amont de MOPTI, les apports de la nappe pendant le tarissement sont la cause d'une suralimentation maintenant le débit à MOPTI à une valeur supérieure au débit amont (KOULIKORO + DOUNA). Le graphique n° 21 montre bien qu'au dessus de 60 m³/s, on a une bonne relation linéaire entre les débits d'étiage à MOPTI et KOULIKORO. En dessous de 60 m³/s, la droite s'infléchit. Il semble que la suralimentation due à la nappe empêche l'étiage absolu à MOPTI de descendre en dessous de 40 m³/s.

Au contraire, en cas d'étiage abondant, le niveau dans le lit mineur doit être trop élevé pour que la nappe puisse l'alimenter. Il peut même y avoir perte, correspondant en débit à l'apport du BANI, puisque les étiages de MOPTI et KOULIKORO sont de même grandeur. Il y a donc régularisation naturelle du débit d'étiage.

L'existence du barrage de MARKALA, ainsi que les prélèvements de l'Office du NIGER pendant la période des basses eaux (maintien en eau des canaux, alimentation des nappes de puisage des villages, de cultures etc...) interdit toute étude de corrélation entre les époques d'étiage absolu à KOULIKORO et MOPTI.

Correspondance entre les Etiages absolus à KOULIKORO et MOPTI



Débits d'Etiage à KOULIKORO

Les étiages du BANI à DOUNA sont plus sévères que ceux du NIGER, plus tardifs aussi car les premières pluies de l'hivernage apparaissent plus vite sur le Haut Bassin Guinéen du NIGER.

Au mois d'Avril, les débits moyens mensuels sont nettement plus faibles à KOULIKORO qu'à MOPTI où l'étiage absolu est en moyenne retardé de 3 à 6 semaines.

En Mai, sauf pour les années de crue précoce, où la montée des eaux s'amorce franchement, les débits moyens des deux stations sont sensiblement du même ordre de grandeur. En Juin, les débits moyens à KOULIKORO l'emportent nettement, la montée des eaux y étant très rapide, (Graphique n° 22).

IV - DEBITS MOYENS MENSUELS ET MODULES - (Tableau n° 26)

Nous avons calculé les débits moyens mensuels bruts uniquement pour la série des années complètes et de celles pour lesquelles manquaient uniquement les basses eaux, recalculées comme nous l'expliquons plus loin.

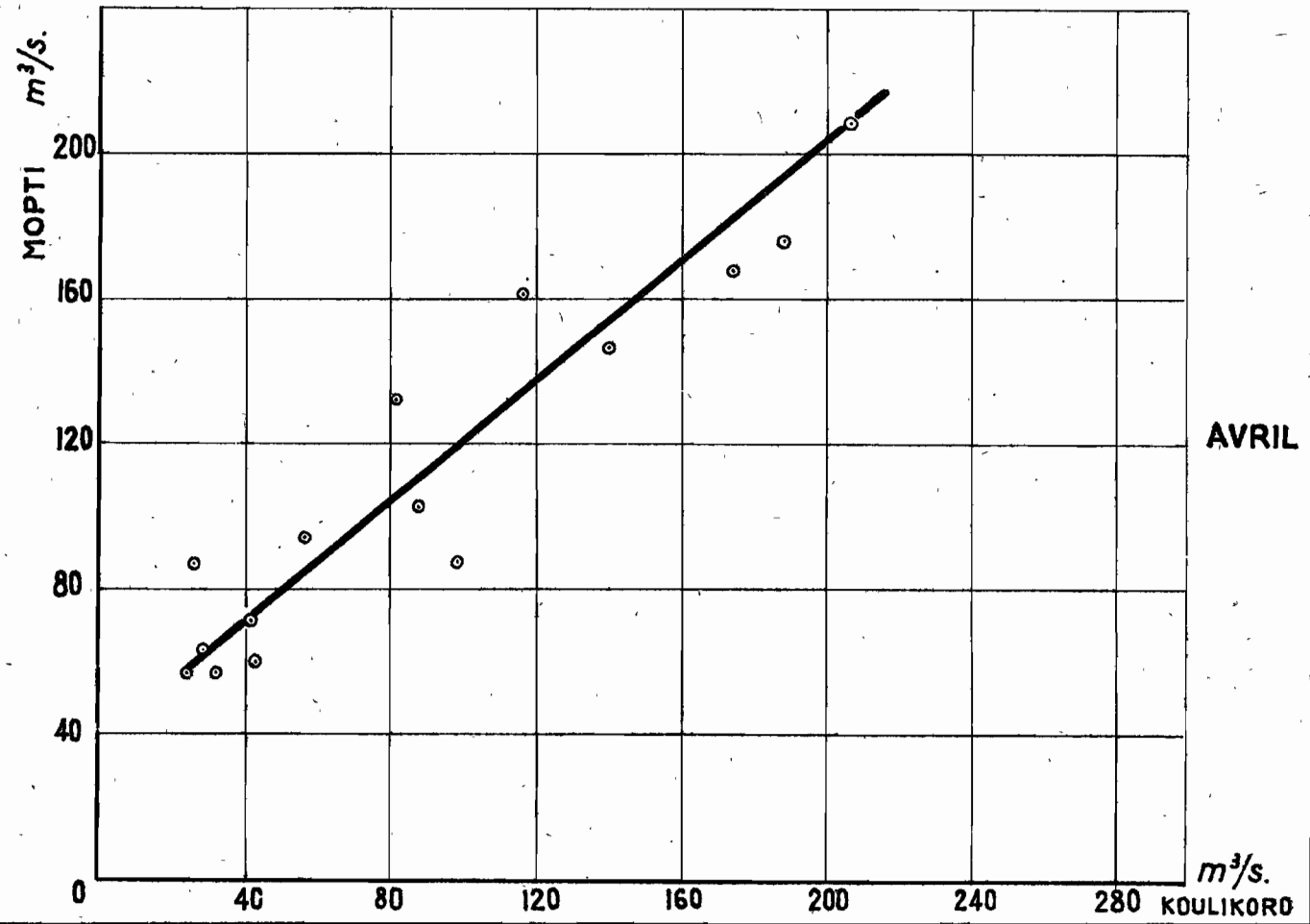
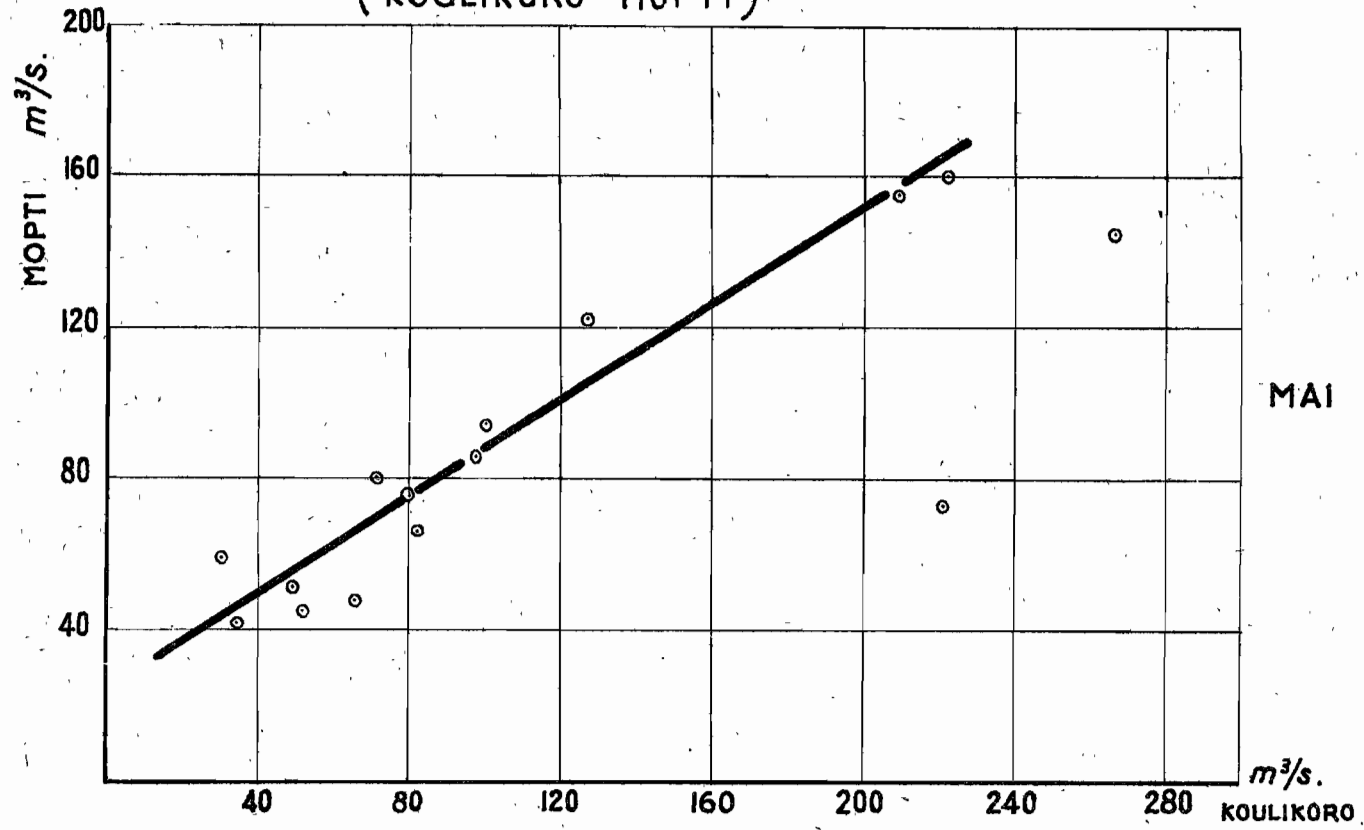
Les mois de Septembre, Octobre et Novembre sont les mois de très hautes eaux, leurs valeurs de débits moyens sont très voisines ; le maximum se produit généralement en Octobre. La décrue est plus lente que la crue, la moyenne de Décembre est supérieure à celle d'Août mais les débits moyens de ces 2 mois sont nettement inférieurs à ceux des trois mois de crue.

En Janvier et Février, la décrue s'accélère rapidement (1 085 et 430 m³/s), mais le débit de Janvier reste bien supérieur à celui de Juillet (651 m³/s).

La crue moyenne à MOPTI est donc régulière, abondante, légèrement dissymétrique en faveur de la décrue - 4 mois sont supérieurs à 2 000 m³/s, 6 mois supérieurs à 1 000 m³/s, 4 mois seulement inférieurs à 200 m³/s.

L'étude des modules à MOPTI sera assez imprécise, du fait que nous possédons peu d'années présentant des relevés complets.

Correspondance entre les débits moyens mensuels (KOULIKORO - MOPTI)



Nous avons dû, afin de combler les lacunes, soit calculer le module en estimant les débits moyens mensuels manquants, soit le déduire globalement de corrélation diverses avec les autres stations principales amont ou aval.

1°) Années complètes -

De 1944 à 1949 et 1950 à 1957 soit 12 ans.

Remarque : le mois d'Octobre 1946 manque, il a été estimé sans grosse erreur à 2 810 m³/s (débit moyen).

2°) Années incomplètes -

1923 à 1928
1934-1935 et 1935-1936
1943-1944

soit 8 années

Les mois manquants sont les mois de basses eaux. Dans ces cas, nous avons calculé la somme des débits moyens connus pendant les 7 mois de crue (Juillet à Janvier). Le rapport de cette somme au module a été déterminé pour les années dont nous possédons des relevés complets; par comparaison, nous avons déduit les modules des années incomplètes. De plus, après estimation convenable des débits moyens manquants par comparaison avec d'autres années connues au cours desquelles la décrue avait même allure, la valeur du module a été de nouveau calculée avant d'être définitivement adoptée. Nous donnons là, évidemment, des valeurs arrondies à 10 m³/s près (Tableau n° 27).

3°) Années sans observations - (tout au moins en crue)

1929-1934
1936-1943
1949-1950
soit 13 années

Nous avons utilisé les diverses correspondances établies précédemment entre les modules des stations suivantes :

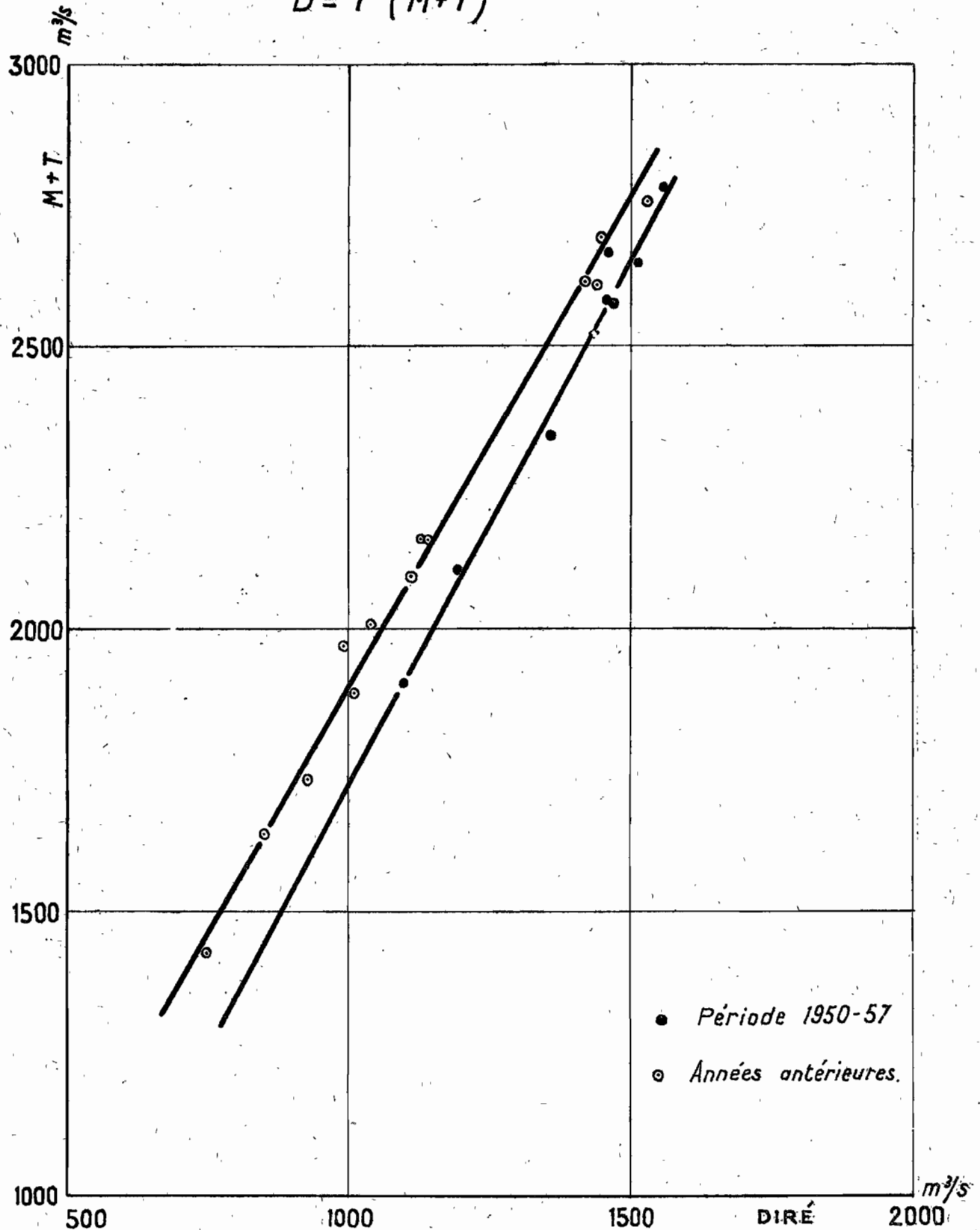
MOPTI et KOULIKORO
MOPTI et DIRE
DIRE et 2 M + T
DIRE et M + T

M étant le module à MOPTI
T - - - - TILEMBEYA.

Relation entre les modules à DIRÉ et ceux de MOPTI et TILEMBEYA

Gr. 24

$$D = f(M+T)$$



Ces 3 dernières relations sont examinées en détail dans le chapitre suivant relatif au régime à DIRE.

Chaque correspondance permet de localiser la valeur du module dans un intervalle, la valeur adoptée dépend de la comparaison des intervalles. En général, il n'y a pas incompatibilité entre les différents intervalles trouvés, l'intervalle résiduel est très réduit et nous avons sensiblement adopté la moyenne de ces deux limites (tableau n° 28).

Nous avons ainsi réuni 35 valeurs de modules sans interruption de 1923 à 1957. Il est intéressant d'étudier leur distribution statistique (tableau n° 29).

Les modules varient de 760 à 1 515 m³/s
La valeur médiane est de 1 145 m³/s
La valeur moyenne est de 1 155 m³/s (légèrement supérieure).

Les valeurs des modules ont été classées dans le sens croissant. Les fréquences cumulées ont été définies comme suit :

Valeur minimale : 760 fréquences cumulées 1/35
" maximale : 1515 " " 34/35

Et ainsi de suite en partant des extrêmes dans le sens croissant d'un côté, décroissant de l'autre. On prend un intervalle moitié (1/70) entre les rangs 17 et 18 d'une part, 18 et 19 d'autre part. Cet inconvénient est mineur puisque la répartition des valeurs des modules nous intéresse moins que les possibilités d'extrapolation aux limites, donc que la valeur correcte des fréquences à ces limites.

Les fréquences cumulées permettent de passer aux valeurs de la variable réduite : $t = \frac{x - m}{\sigma}$

m = valeur moyenne

σ = écart type

d'après une table de la fonction intégrale de la loi de LAPLACE-GAUSS.

Les points obtenus ont été reportés sur un graphique en coordonnées cartésiennes (Graphique n° 23).

La distribution semble bien suivre une loi normale de GAUSS. Nous nous en sommes assurés en appliquant à la série des 35 valeurs classées le test du χ^2 de PEARSON. Ce test est très satisfaisant puisqu'on obtient un $\chi^2 = 2,248$ pour 3 degrés de liberté (6 classes, 2 paramètres) ; sa probabilité de dépassement est entre 50 et 70 % ; on peut donc considérer l'ajustement gaussique comme étant tout à fait valable.

Le calcul du module centenaire inférieur, correspondant à une fréquence au dépassement de 0,99 ($t = 2,33$), est obtenu à l'aide de l'écart-type de la série observée : 220 m³/s et de la moyenne (1 155 m³/s).

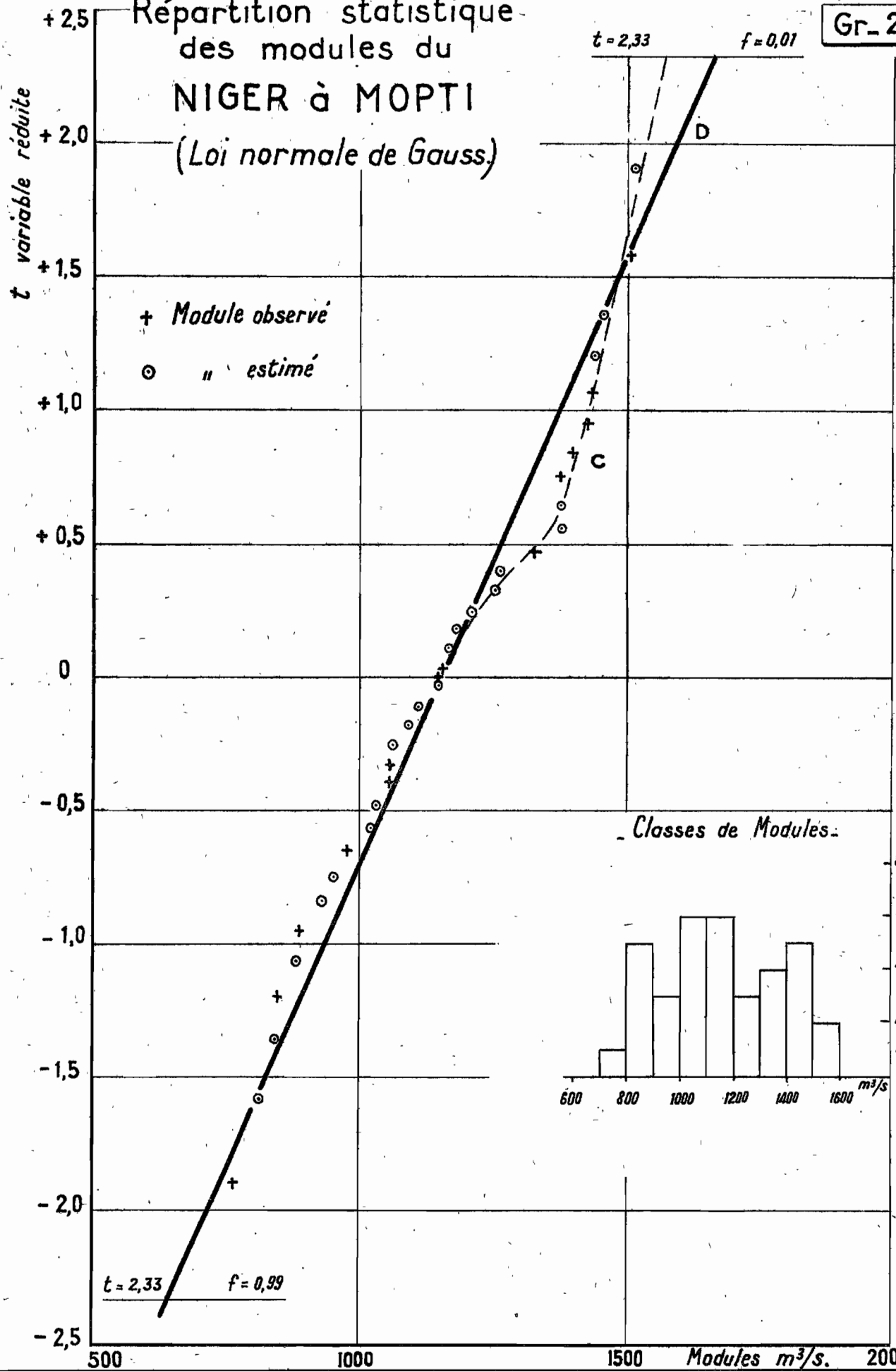
On trouve 643 m³/s, valeur nettement inférieure à la 35 ème de la série : 760 m³/s en 1944-1945. Notons que l'ajustement gaussique alloue à ce dernier module observé une fréquence au dépassement de 0,964 ce qui équivaut à peine à une récurrence d'apparition de 1 sur 20 ans.

Le module centenaire supérieur ($f = 0,01$) vaut lui 1 667 m³/s, valeur qui dépasse aussi de beaucoup la lère de la série : 1 515 m³/s valeur estimée pour 1929-1930. Pour ce plus fort module des 35 ans, on trouve une fréquence au dépassement de 0,051 qui est sensiblement équivalente à celle de 1944-1945 pour les faibles valeurs, donc elle aussi dotée d'une récurrence de 1 an sur 20.

Bien qu'imparfaite, la relation entre les cotes maximales et les modules à MOPTI (Graphique n° 20) permet d'évaluer pour le module centenaire de 1 667 m³/s la cote atteinte à 7,70 m. Cette valeur nous semble excessive et assez peu vraisemblable. En fait, sur le graphique précité, la droite n'est prolongée pour les forts modules que parce que la crue de 1924 eut un maximum de 7,41 m. Or cette valeur n'est pas très sûre. On constate d'ailleurs qu'entre 7,30 m et 7,32 m sont littéralement bloquées les 6 autres fortes crues : 1925, 1928, 1953, 1954, 1955 et 1957. Il n'est pas inconcevable qu'une telle cote ou une cote très voisine, puisse correspondre aussi à un module de 1 667 m³/s. L'importance croissante des débordements en fonction justement de celle de la crue rend plausible une telle hypothèse.

Notons, en outre, que comme à TILMBEYA et à DIRE, on enregistre dans la répartition statistique des modules une même anomalie (graphique n° 23), à savoir que les modules supérieurs à la moyenne s'écartent en ordre de la droite D de HENRI pour suivre la courbe C. L'explication est, là

Répartition statistique des modules du NIGER à MOPTI (Loi normale de Gauss)



aussi à rechercher du côté des débordements et de leur influence sur l'écrêtement des crues, donc sur la possibilité d'un "tassement" des forts modules.

En accordant une signification physique à la courbe C, elle conduirait à un module centenaire de 1 575 m³/s seulement auquel correspondrait une cote maximale de 7,58 m plus plausible, a priori. N'oublions pas, par ailleurs, que selon toute vraisemblance, le rapport entre débit maximum et module ne doit pas rester constant pour les très fortes crues, il tend à devenir plus faible.

Bien que cette seconde interprétation (courbe C) semble plus logique d'un point de vue hydrologique, il ne faut pas pour cela rejeter la première (droite D).

Pour revenir à des données physiques plus précises, nous savons que les crues fortes à MOPTI sont surtout conditionnées par l'apport de la poussée du BANI. Or, cet affluent subit effectivement une atténuation du débit maximal de DOUNA à SOFARA ; mais ses débordements sur la rive droite en amont de MOPTI sont très réduits (massif de BANDIAGARA) et sur sa rive gauche ses eaux rencontrent, sur les zones d'inondation, celles du NIGER, il est donc possible que le gradient de l'atténuation diminue dans de notables proportions entre SOFARA et MOPTI.

A notre avis, tant qu'il ne sera pas possible de mieux définir le mécanisme des crues exceptionnelles à MOPTI, il paraît sage de se méfier et de considérer que si la cote de 7,58 m est la plus vraisemblable, celle de 7,70 m doit rester présente à l'esprit comme une limite supérieure que le fleuve n'est pas incapable d'atteindre (environ 3 200 m³/s).

Cette remarque est importante au moment où l'extension de la ville de MOPTI impose de gros travaux de remblaiement et d'assainissement. Il est indispensable que les urbanistes connaissent des 2 cotes et l'importance à leur attribuer : 268,18 m et 268,30 m dans le nivellement général.

En matière de débit, nous dirons que le module à MOPTI a une limite supérieure égale à 1 667 m³/s pour la fréquence centenaire (0,01) et doit plus vraisemblablement se situer entre ce chiffre et celui de 1 575 m³/s, vers 1 600 m³/s, par exemple.

Pour clore ce chapitre, mentionnons les valeurs calculées suivant la loi normale pour les modules des déciles :

- Décile supérieur ($f = 0,10$) : $1\,437\text{ m}^3/\text{s}$ module dépassé 4 fois durant la période d'observations de 35 ans, et égalé sensiblement par ceux des années 1925-1926 et 1955-1956.
- Décile inférieur ($f = 0,90$) : $873\text{ m}^3/\text{s}$, module lui aussi dépassé 4 fois, et égalé lors de l'année 1941-1942.

L'irrégularité interannuelle, mise en relief sous la forme du rapport de ces 2 modules, vaut $K_3 = 1,64$ valeur du même ordre de grandeur que celle de TILEMBEYA (1,58).

Pour l'excédent, on pourrait incriminer la combinaison des hydraulicités du NIGER et du BANI, pas toujours identiques, qui constitue de ce fait, une source d'irrégularité supplémentaire.

Le coefficient de variation $C_v = \frac{\sigma}{\bar{q}}$ vaut

0,191 chiffre légèrement supérieur à celui de TILEMBEYA (0,177).

Il n'est pas possible de connaître rigoureusement le module moyen du NIGER à MOPTI pour la période 1907-1957, car si les hydraulicités de cette station et de KOULIKORO varient dans le même sens, l'influence du BANI perturbe la relation et ne permet une estimation du module à MOPTI qu'à $\pm 10\%$ à partir de celui de KOULIKORO.

En appliquant brutalement la correction d'hydraulicité observée à KOULIKORO entre les périodes 1923-1957 et 1907-1957, on peut donner 1 085 m^3/s comme ordre de grandeur du module moyen à MOPTI entre 1907 et 1957.

TABLEAU N° 25

COMPARAISON des DEBITS de BASSES EAUX à KOULIKORO et MOPTI (m³/s)

Année	Avril		Mai		Juin		Minimum absolu		Date du minimum absolu		
	KOULI-KORO	MOPTI	KOULI-KORO	MOPTI	KOULI-KORO	MOPTI	KOULI-KORO	MOPTI	KOULIKORO	MOPTI	DOUNA
1944	28	66	49	52	111	61	25	46	25 Avril	8-9 Juin	
1945	23	58	34	43	117	70	19	40	2 Mai	24-31 Mai	
1946	41	72	79	77	287	167	28	61	7 Avril	1er Mai	
1947	25	88	30	60	165	55	21	47	18 Avril	11 Juin	
1948	31	58	51	46	322	100	26	43	13 Avril	29 Mai	
1949	98	88	82	67	122	98	61	53	7 Mai	29 Juin	
1950	42	61	65	49	128	51	34	47	17 Avril	fin Mai	
1951	87	103	221	73	544	309	69	65	25 Avril	24 Mai	8-17 Juin
1952	116	162	100	95	186	117	78	72	29 Avril	31 Mai	6/9 et 13/18-C
1953	81	133	97	87	560	240	60	74	22 Avril	19-20 Mai	5-8 Mai
1954	188	176	208	156	642	346	130	136	5 Avril	12 Mai	21 Mai
1955	207	208	222	161	677	290	137	136	2 Mai	15-16 Mai	22 Mai
1956	174	168	127	123	198	128	107	102	3 Juin	18-19 Mai	25-31 Mai
1957	56	95	71	81	323	130	36	71	23 Avril	4-5 Juin	23 Mai
1958	140	147	267	144	824	360	114	121	29/3 ou 4 Avril	19 Mai	13-16 Mai

TABLEAU N° 26

DEBITS MOYENS MENSUELS DU NIGER A MOPTI AVAL (en m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume (10 ⁹ m ³)
1922-1923	180	401	1198	2512	2917									
1923-1924	(245)	589	1763	2519	2742	2569	1952	779	(320)	(140)	(70)	(50)	(1145)	36,1
1924-1925	(350)	935	2243	2817	3024	3024	2546	1484	529	(270)	(160)	(100)	(1465)	46,2
1925-1926	(260)	745	1828	2694	2962	3007	2677	1813	722	(285)	(120)	(80)	(1440)	45,4
1926-1927	(280)	1112	1994	2542	2649	2241	1274	510	(230)	(100)	(70)	(65)	(1090)	34,4
1927-1928	(100)	839	1775	2623	2919	2905	2557	1690	571	(230)	(130)	(90)	(1375)	43,4
1928-1929	(270)	(715)	1729	2698	2985	2952	2543	1505	607	(280)	(140)	(100)	(1375)	43,4
1929-1930		1386	2325	2781									(1515)	47,7
1930-1931													(1250)	39,4
1931-1932													(1110)	35
1932-1933													(1180)	37,2
1933-1934								1200					(1210)	38,2
1934-1935		(470)	1586	2491	2625	2436	1580	594					(1030)	32,5
1935-1936	71	461	1680	2607	2793	2645	2122	998	263	154	(95)	(70)	(1165)	36,8
1936-1937	281	898	2025	2755	2907	2822							(1260)	39,8
1937-1938													(950)	30
1938-1939													(1060)	33,4
1939-1940													(1020)	32,2
1940-1941													(840)	26,5
1941-1942													(880)	27,8
1942-1943													(810)	25,5
1943-1944	(80)	377	1042	2295	2576	2265	1237	389	181	103	66	52	889	28
1944-1945	61	237	862	2076	2346	1991	900	293	151	87	58	43	760	24

TABLEAU N° 26 (Suite)

DEBITS MOYENS MENSUELS DU NIGER A MOPTI AVAL (en m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	Module	Volume (10 ⁹ m ³)
1945-1946	70	207	1397	2508	2771	2647	1932	622	262	125	72	77	1053	33,3
1946-1947	167	477	1573	2531	(2810)	2702	2053	839	320	159	88	60	1153	36,4
1947-1948	55	350	1295	2145	2498	2170	990	279	143	94	58	46	845	26,6
1948-1949	100	720	1684	2403	2520	2189	1194	391	195	111	88	67	976	30,8
1949-1950	98							362	187	107	61	49	(930)	36,1
1950-1951	51	304	1433	2507	2840	2769	2167	993	343	171	103	73	1145	29,4
1951-1952	309	646	1692	2506	2824	2898	2718	1997	888	336	162	95	1425	45
1952-1953	117	491	1876	2620	2890	2901	2484	1467	526	234	133	87	1324	41,8
1953-1954	240	1185	2113	2746	2983	2842	2289	1242	506	238	176	155	1400	44,2
1954-1955	346	1000	2153	2750	2980	2919	2585	1767	750	328	208	161	1501	47,4
1955-1956	290	1158	2093	2758	2976	2903	2418	1435	552	284	168	123	1432	45,2
1956-1957	128	445	1340	2383	2722	2535	1796	707	278	155	95	81	1051	33,2
1957-1958	130	681	1895	2625	2911	2962	2555	1585	687	270	147	144	1379	43,5
Moyenne brute sur la période d'observation (1)	177	651	1689	2541	2796	2668	2047	1085	430	198	115	87	1209	

N.B. - Les débits entre parenthèses sont des estimations.

(1) 1923-1924 à 1928-1929, 1935-1936, 1943-1944 à 1948-1949 et 1950-1951 à 1957-1958.

TABLEAU N° 27

LE NIGER A MOPTI

Estimation des Modules (Années incomplètes en basses eaux)

Années	Total des débits moyens des 7 mois de crue m ³ /s	Rapport 7 mois: Module adopté	Module adopté m ³ /s	Rapport 7 mois: Module exact	Module exact m ³ /s
1923-1924	12 913	11,3	1 145		
1924-1925	16 073	10,95	1 465		
1925-1926	15 726	10,95	1 440		
1926-1927	12 322	11,3	1 090		
1927-1928	15 308	11,1	1 375		
1928-1929	15 127	11	1 375		
1934-1935	11 782	11,4	1 030		
1935-1936	13 306	11,4	1 165		
1943-1944	10 181			11,45	889
1944-1945	8 705			11,45	760
1945-1946	12 084			11,45	1 053
1946-1947	12 985			11,25	1 153
1947-1948	9 727			11,5	845
1948-1949	11 101			11,4	976
1950-1951	13 013			11,4	1 145
1951-1952	15 281			10,75	1 425
1952-1953	14 729			11,1	1 324
1953-1954	15 400			11	1 400
1954-1955	16 154			10,75	1 501
1955-1956	15 741			11	1 432
1956-1957	11 928			11,35	1 051
1957-1958	15 214			11,05	1 379

TABLEAU N° 28

LE NIGER A MOPTI

Estimation des Modules (Années à relevés manquants ou très incomplets) en m³/s

Années	Module : KOULIKORO	Module : TILEMBEYA	MOPTI : d'après : Module : KOULIKORO : DIRE	MOPTI : d'après : Module : DIRE	MOPTI : d'après : D = (2M+T)	MOPTI : d'après : D = (M+T)	MOPTI : Module : adopté
1929-1930	2074	1230	1270/1510	1554	1460/1560	1515/1600	1515
1930-1931	2035	1220	1260/1490	1323	1230/1360	1190/1290	1250
1931-1932	1738	1090	1100/1340	1180	1090/1230	1055/1155	1110
1932-1933	1776	1110	1110/1360	1248	1150/1290	1135/1235	1180
1933-1934	1631	1030	1040/1280	1239	1140/1280	1160/1260	1210
1936-1937	1736	1090	1100/1340	1297	1200/1335	1215/1315	1260
1937-1938	1283	835	850/1090	956	890/1020	867/972	950
1938-1939	1476	940	950/1190	1085	1000/1140	995/1100	1060
1939-1940	1362	880	890/1130	1042	970/1100	970/1075	1020
1940-1941	1175	782	790/1030	860	800/940	759/869	840
1941-1942	1242	829	820/1060	909	840/980	805/915	880
1942-1943	996	669	680/930	794	740/880	735/835	810
1949-1950	1383	848	900/1140	950	870/1020	851/956	930

=====

Etude Statistique des Modules (m³/s)

Ordre	Fréquence au dépassement	Variable réduite	Modules Classés
1	0,0286	+ 1,90	1515
2	0,0572	+ 1,58	1501
3	0,0868	+ 1,36	1465
4	0,1144	+ 1,205	1440
5	0,1430	+ 1,065	1432
6	0,1716	+ 0,95	1425
7	0,2002	+ 0,84	1400
8	0,2288	+ 0,745	1379
9	0,2574	+ 0,65	1375
10	0,2860	+ 0,565	1375
11	0,3146	+ 0,48	1324
12	0,3432	+ 0,40	1260
13	0,3718	+ 0,325	1250
14	0,4004	+ 0,255	1210
15	0,4290	+ 0,18	1180
16	0,4576	+ 0,11	1165
17	0,4862	+ 0,035	1153
18	0,5005	0,00	1145
19	0,5148	- 0,035	1145
20	0,5434	- 0,11	1110
21	0,5720	- 0,18	1090
22	0,6006	- 0,255	1060
23	0,6292	- 0,325	1053
24	0,6578	- 0,40	1051
25	0,6864	- 0,48	1030
26	0,7150	- 0,565	1020
27	0,7436	- 0,65	976
28	0,7722	- 0,745	950
29	0,8008	- 0,84	930
30	0,8294	- 0,95	889
31	0,8580	- 1,065	880
32	0,8866	- 1,205	845
33	0,9152	- 1,36	840
34	0,9438	- 1,58	810
35	0,9724	- 1,90	760

Valeur moyenne : 1 155 m³/s
 Valeur médiane : 1 145 m³/s

TABLEAU N° 30

NIGER A MOPTI

- 87 -

Période 1944 à 1958 et 1935

Zéro de l'échelle = 260,60 m (I.G.N.)

Débits d'étiage absolus

Années	Date	Débit m ³ /s	Cote brute en m	Cote nivelée en m
1935	1er au 12 Juin	58	0,71	261,31
1944	8,9 12 et 13 Juin	46	0,52	261,12
1945	24 Mai au 1er Juin	40	0,40	261,00
1946	1er Mai	61	0,75	261,35
1947	11 Juin	47	0,55	261,15
1948	29 Mai	43	0,47	261,07
1949	29 Juin	53	0,64	261,24
1950	20 Mai au 5 Juin	47	0,54	261,14
1951	24 Mai	65	0,80	261,40
1952	31 Mai	72	0,88	261,48
1953	19 et 20 Mai	74	0,91	261,51
1954	12 Mai	136	1,43	262,03
1955	15 et 16 Mai	136	1,42	262,02
1956	18 et 19 Mai	102	1,19	261,79
1957	4 et 5 Juin	71	0,87	261,47
1958	19 Mai	121	1,32	261,92

Dates extrêmes : 8 Mai - 29 Juin

Débits extrêmes : 40 - 136 m³/s

NIGER A MOPTI

Périodes 1923-1928, 1934-1936, 1943-1958

Orues annuelles

Année	Date du débit maximal	Débit : m ³ /s	Hauteur maximale		
			brute : m	nivelée : m	Date
1923	18 et 19 Octobre	2733	6,83	267,43	26/10 au 7/11
1924	3 au 6 Novembre	3080	7,41	268,01	11 au 18/11
1925	14 au 22 Novembre	3025	7,32	267,92	23 au 27/11
1926	17 Octobre	2691	6,77	267,37	21 au 24/11
1927	2 et 3 Novembre	2954	7,20	267,80	7 au 22/11
1928	27 au 31 Octobre	3025	7,32	267,92	5 au 15/11
1934	10 et 11 Octobre	2687	6,76	267,36	17 au 28/11
1935	18 et 19 Octobre	2813	6,97	267,57	6/11
1936	27 et 28 Octobre	2930	7,16	267,76	3 au 19/11
1943	16 au 18 Octobre	2605	6,63	267,23	24 et 27/11
1944	10 au 12 Octobre	2400	6,28	266,87	19 au 21/11
1945	23 au 28 Octobre	2787	6,93	267,53	6 et 7/11
1947	19 au 21 Octobre	2541	6,53	267,13	26 et 26/10
1948	9 au 11 Octobre	2545	6,54	267,14	19 au 26/10
1950	30 et 31 Octobre	2874	7,07	267,67	11 et 12/11
1951	11 au 18 Novembre	2903	7,12	267,72	3 au 6/12
1952	4 au 6 Novembre	2947	7,19	267,79	18 au 20/11
1953	23 Octobre	3019	7,31	267,91	31/10 au 3/11
1954	30 Octobre	3019	7,31	267,91	4 au 11/11
1955	30 Octobre	3019	7,31	267,91	6 au 9/11
1956	21 Octobre	2748	6,86	267,46	29/10 au 4/11
1957	12 Novembre	3011	7,30	267,90	17 et 18/11
1958	30 Octobre	2874	7,07	267,67	1 au 3/11

Dates extrêmes : 9 Octobre - 22 Novembre
 Débits extrêmes : 2400 - 3080 m³/s

N.B. - Les dates d'apparition des cotes et des débits maximaux diffèrent quelque peu (courbe d'étalonnage à 2 branches, sans point de rebroussement supérieur).

NIGER A MOPTI

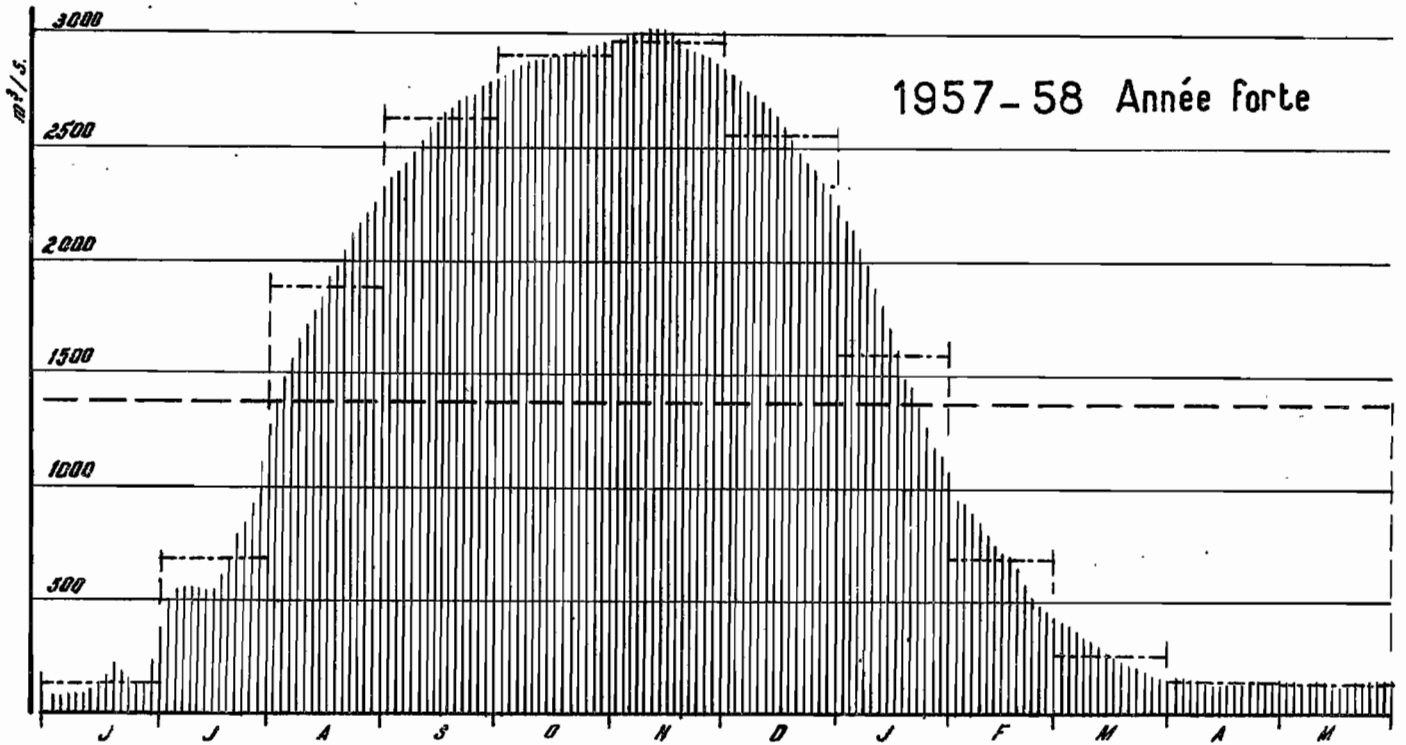
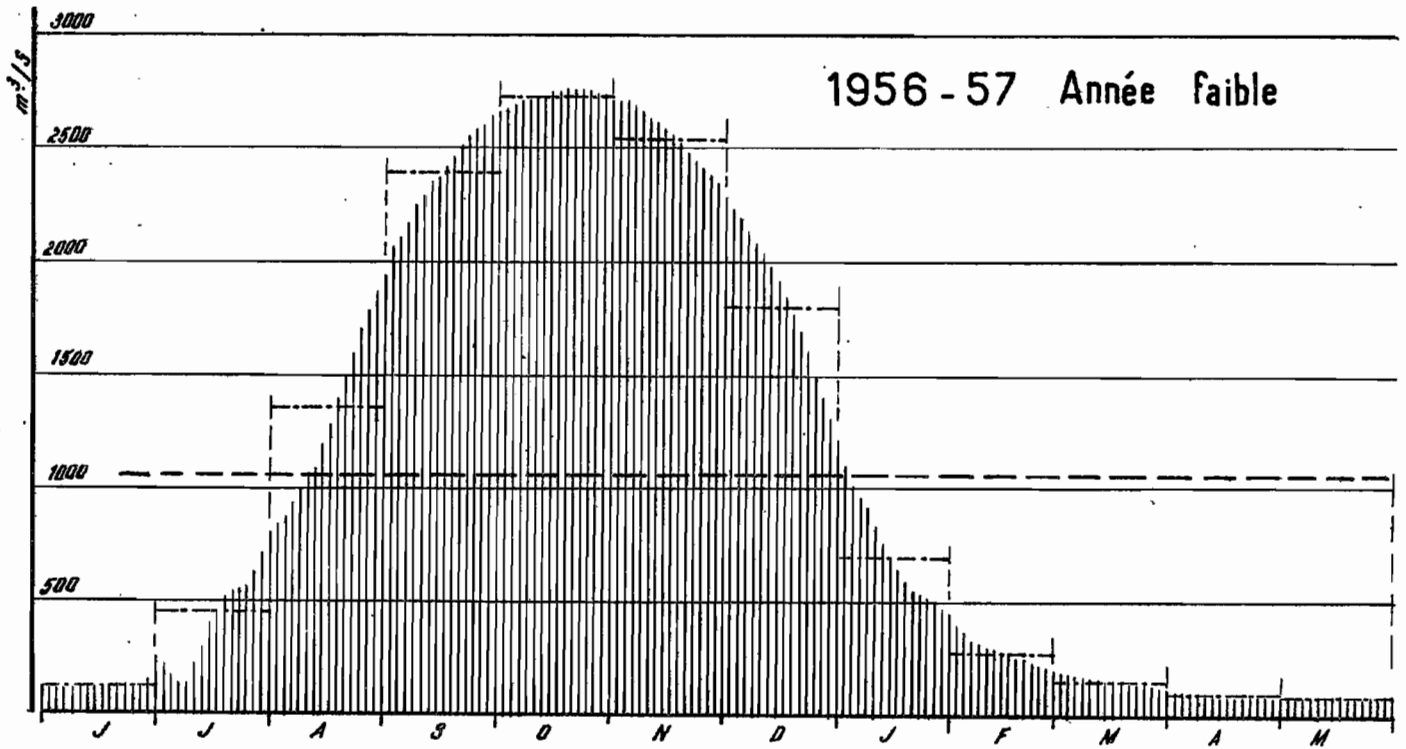
Périodes 1923-1929, 1934-1937, 1943-1958

Débits caractéristiques en m³/s

Années	DCE	DC9	DC6	DC3	DCC
1923-1924			633	2358	2726
1924-1925			1162	2738	3074
1925-1926		(264)	1100	2685	3021
1926-1927			681	2166	2679
1927-1928			1225	2612	2951
1928-1929			912	2655	3021
1934-1935			476	2218	2676
1935-1936		100	663	2426	2800
1936-1937				2544	2925
1943-1944	(51)		386	1902	2596
1944	42	75	266	1602	2392
1945	65	93	380	2298	2786
1946	59	154	608	2370	(2800)
1947	46	67	305	1794	2533
1948	60	112	453	1965	2540
1949-1950	47				
1950-1951	68	109	638	2400	2870
1951-1952	92	314	1300	2629	2902
1952-1953	78	171	936	2590	2944
1953-1954	143	218	1237	2590	3014
1954-1955	149	310	1422	2706	3013
1955-1956	108	276	1275	2642	3011
1956-1957	79	124	553	2166	2742
1957-1958	136	169	1110	2631	3002

LE NIGER A MOPTI

Gr. 25



NIG 10.290

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: J. H. N. N. N. N. N.

DES: F. COUPY 15

VISA:

TUBE N°:

A1

C H A P I T R E VII

ETUDE du REGIME de la STATION de DIRE

I - GENERALITES -

La station de DIRE se trouve sensiblement à la sortie de la cuvette lacustre. Néanmoins, des pertes importantes se produisent à l'aval, surtout sur la rive gauche avec les effluents de KONDI et TASSAKANT. Ces marigots alimentent les groupes des lacs TELE, FAGUIBINE, KAMANGO et GOUBER. Les pertes entraînées par cette alimentation sans retour possible au fleuve varient de 0,16 à 3,4 milliards de m³, suivant l'importance de la crue.

En outre, la station de DIRE est contournée sur la rive droite par le marigot de SALAKOTRA, mais il semble, d'après des jaugeages effectués par la M.E.A.N. en 1956 à CHIRFIGA, que les débits restitués par ce marigot au NIGER à KOURA sont très faibles. D'autre part, toujours sur la rive droite, à l'aval de KOURA, il est possible qu'un émissaire dérive de l'eau vers le groupe de lacs GAROU et DO. Le volume est impossible actuellement à évaluer, mais il est extrêmement faible comparé à celui déversé par la rive gauche.

Du fait de l'insuffisance de la station de TOSSAYE, en observations et en jaugeages, nous considérerons la station de DIRE comme caractérisant le régime à l'aval immédiat de la cuvette.

Résumons les facteurs principaux du régime à DIRE :

a) Les variations du plan d'eau sont liées au remplissage et à la vidange de l'énorme capacité de la cuvette amont. Il en découle une extrême régularité de la forme générale du limnigramme annuel, se rapprochant d'une sinusoïde.

b) La décrue rapide de l'amont, associée à l'extrême faiblesse des débits d'amont en Février et Mars, époque à laquelle la cuvette est encore aux 2/3 pleine, diminuent considérablement la pente superficielle. En Mars - Avril, à DIRE, les vitesses d'écoulement ne sont pas mesurables.

La variation relative de la pente superficielle est grande au cours d'un cycle hydrologique. Elle est minimale en Avril (presque nulle) et maximale en Octobre - Novembre (voisine de 1,0 cm par km).

c) Les pertes dans la cuvette lacustre par effluence, déversements et évaporation, proportionnelles à l'abondance de la crue, limitent supérieurement la cote maximale atteinte à DIRE.

d) A l'inverse des crues, les étiages sont très irréguliers d'une année à l'autre, à cause de l'incertitude de l'arrivée de la crue amont qui arrête brutalement le tarissement.

Indiquons rapidement les facteurs secondaires :

1) La réduction du débit moyen annuel consécutive aux pertes par évaporation dans la cuvette. Ces pertes sont énormes, mais leur influence sur les variations de débits est secondaire car leur action est très régulière d'une année à l'autre (stabilité des conditions climatiques).

2) En décrue, les restitutions au lit principal par voie superficielle ou souterraine sont suffisantes pour retarder le tarissement et lui donner une loi de décrue linéaire.

3) Les petites crues amont du début d'hivernage, les lâchures irrégulières du barrage de MARKALA, à l'arrivée de la crue, se retrouvent parfois à DIRE très atténuées avant la remontée franche des eaux.

Nota : Le cycle hydrologique à DIRE s'étendra de début Juillet à fin Juin.

II - ETUDE des ETIAGES à DIRE -

La détermination des débits d'étiage est souvent imprécise à cause de la difficulté d'effectuer des mesures de fin de décrue à DIRE (vitesses d'écoulement trop faibles).

La décrue étant assez rapide, la sévérité de l'étiage dépend du retard de la crue amont : 2 ou 3 semaines de retard suffisent pour que les cotes minimales à DIRE diminuent de près de 0,50 m. Inversement, une décrue assez tardive ou même normale, suivie d'une arrivée précoce de la crue amont, peut suffire pour maintenir les cotes d'étiage 0,40 m au-dessus de l'étiage normal.

Conséquence immédiate : impossibilité de prévoir longtemps à l'avance les cotes d'étiage.

L'étiage absolu a lieu en moyenne entre le 10 et le 20 Juin (17 cas sur 34 années d'observations). La dispersion de part et d'autre de ces dates n'est pas très grande :

1942 : 8 Mai

1950 : 13 Juillet

Tous les étiages ont donc lieu dans une période s'étendant du 8 Mai au 13 Juillet, soit sensiblement sur 2 mois (Graphique n° 26). La dispersion est plus grande sur les valeurs des cotes d'étiage absolu atteintes. Nous ne possédons pas les étiages négatifs (cas des années 1944 - 1945 et 1948), mais nous pouvons estimer le minimum atteint à - 0,15 m ou - 0,20 m. L'étiage maximal a eu lieu en 1955 avec 1,44 m. L'irrégularité des valeurs de l'étiage absolu est donc du même ordre de grandeur que celle correspondant aux stations amont de la cuvette : KOULIKORO par exemple. Bien entendu, plus l'étiage est tardif, plus il est rigoureux, en règle générale.

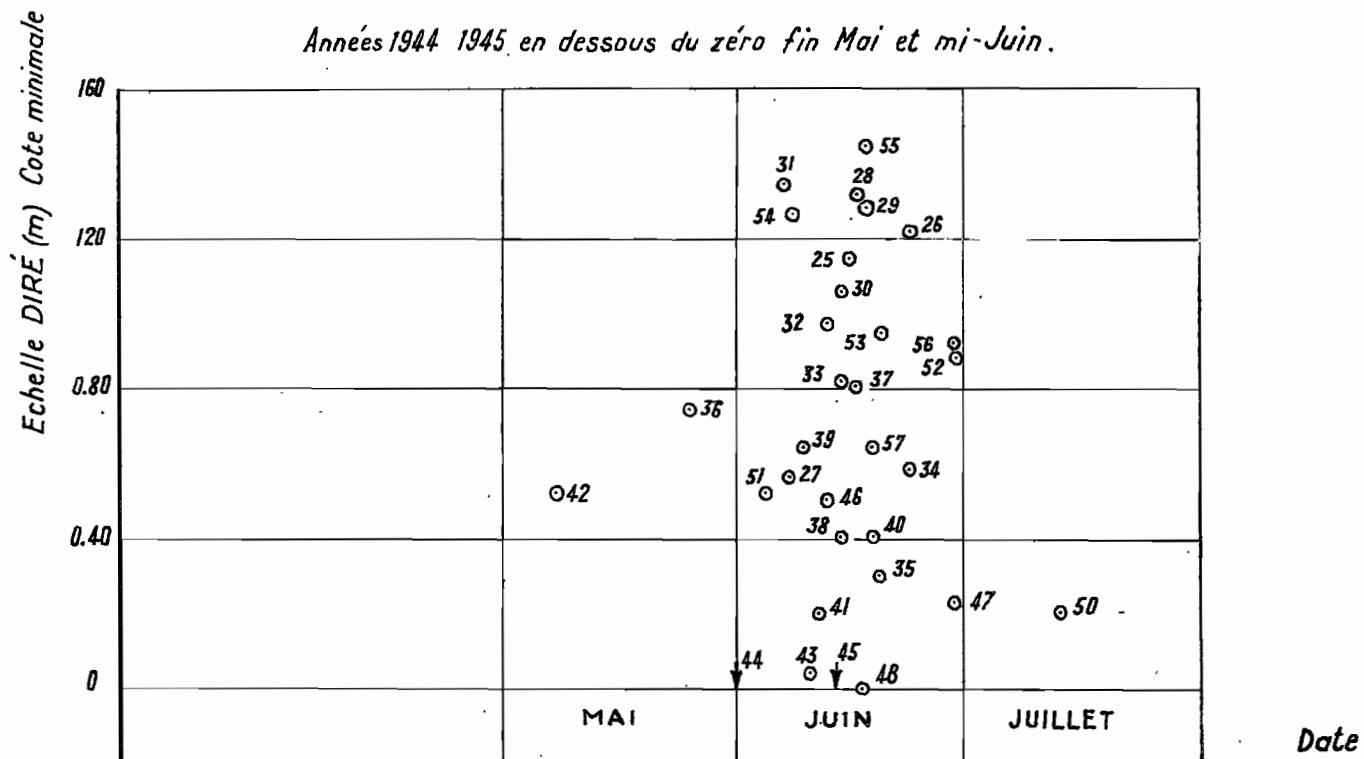
Evaluer ces débits d'étiage absolu est très difficile. Si le plus fort (1955) vaut 143 m³/s, il y a 19 années sur 34 au cours desquelles l'étiage est inférieur à 0,80 m (pour lequel le débit estimé est de 57 m³/s) et correspond à des cotes trop basses pour que des jaugeages puissent être effectués.

On notera avec intérêt qu'hormis 1927 et 1957, ces faibles étiages ont trait à la période de 17 années allant de 1934 à 1951, sauf 1949 non observé.

Malgré une forte atténuation, on retrouve parfois pendant la période d'étiage quelques petites remontées dues soit aux pluies locales de début d'hivernage, soit aux lâchures amont de MARKALA, dont la propagation dans le lit mineur du fleuve est rapide.

Etiages à DIRÉ

(Date / Hauteur.)

Années 1944 1945 en dessous du zéro fin Mai et mi-Juin.

III - ETUDE des CRUES (Voir graphique n° 27)

La crue à DIRE est très aplatie. Il est fréquent que, pendant une quinzaine de jours, la cote se maintienne, à 2 ou 3 centimètres près, au voisinage du maximum. La crue est d'autant plus aplatie qu'elle est forte. C'est évident, si l'on considère que les volumes emmagasinés et restitués ou non, sont d'autant plus élevés que les cotes atteintes sont elles-mêmes élevées.

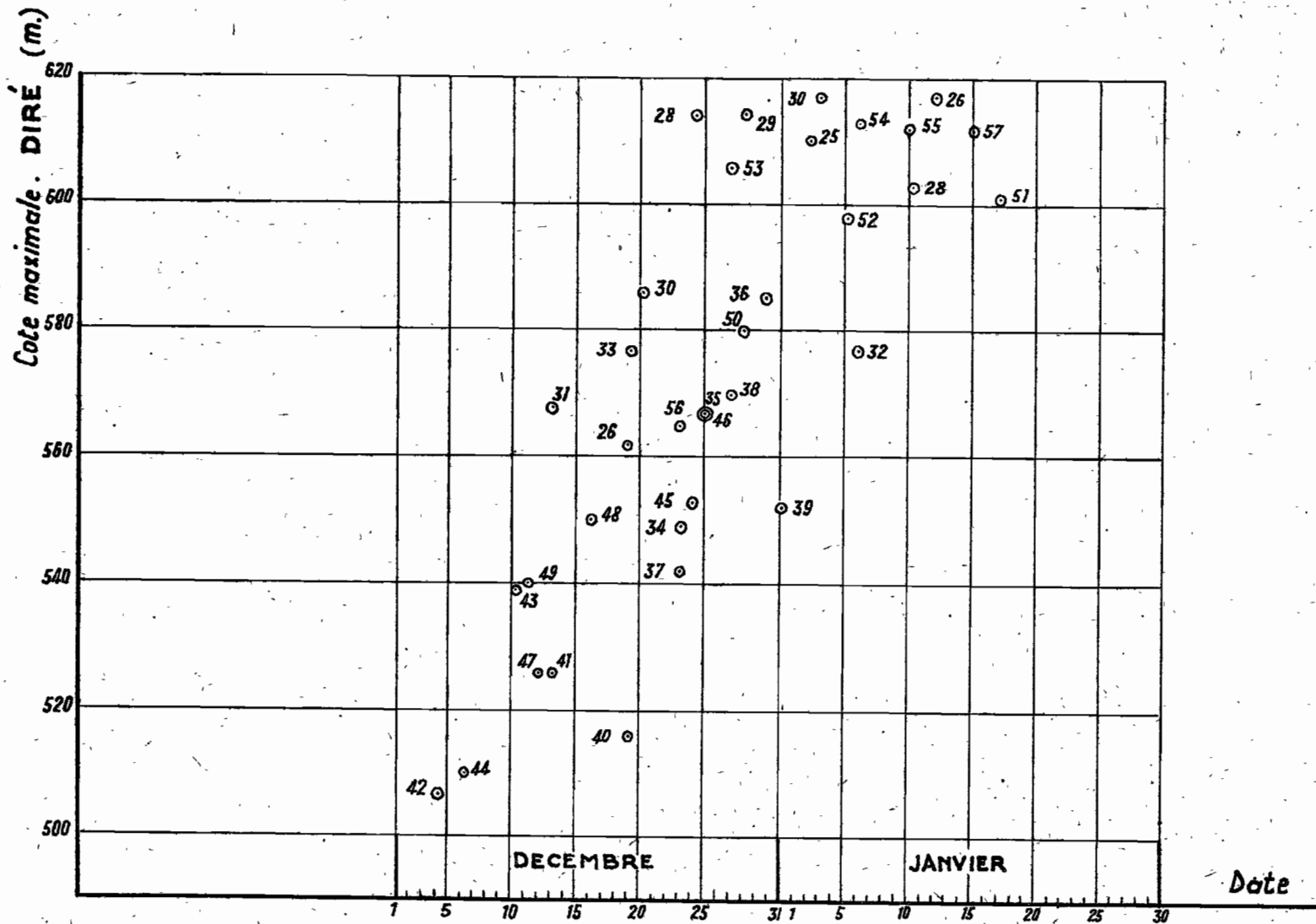
Sur 34 années observées, plus de la moitié des années présentent une date de crue maximale située entre le 18 et le 31 Décembre. De part et d'autre de cette quinzaine favorisée, la dispersion est sensiblement symétrique : 8 années entre le 1er et le 17 Janvier - 8 années entre le 4 et le 18 Décembre. Les dates extrêmes observées sont le 4 Décembre (1942) et le 17 Janvier (1952). La possibilité pour que la date du maximum tombe en dehors de cette période est faible : de l'ordre de 1/50.

Les crues précoces sont faibles, les crues tardives sont fortes, c'est une règle qui paraît absolue. On ne trouve pas, en Janvier, une crue inférieure à 5,75 m ; de même, avant le 18 Décembre, on ne trouve pas de crue supérieure à cette même valeur. Il y a donc une relation vague mais réelle entre la cote maximale de la crue et sa date. Cette relation est due au fait qu'une onde de crue de faible abondance se propage plus vite qu'une onde de gros volume. Il est évident que plus les débordements sont importants, plus les échanges entre le lit et les zones inondées sont lents. Il en est de même lors des restitutions. Ce facteur peut être important pour les prévisions. On pourra se souvenir qu'une très petite crue a beaucoup de chance de passer à DIRE, dans la première quinzaine de Décembre. L'incertitude est un peu plus grande en ce qui concerne les fortes crues mais elles ont lieu, presque toujours, après le 25 Décembre et le plus souvent dans la première décade de Janvier.

Nous avons, dans les Tableaux n° 33 et 33 bis, classé les 34 débits maximaux de crue et les 34 modules par ordre décroissant en indiquant pour chaque valeur la fréquence au dépassement (1/34, 2/34, 3/34, etc....) calculée ainsi jusqu'au rang 16 : 16/34. Nous avons donné les fréquences 33 et 35/68 aux valeurs de rang 17 et 18 puis repris des fréquences symétriques à partir du rang 19 : 19/34, etc...

Etude des crues à DIRÉ

Hauteur / date.



LE NIGER A DIRE

Modules et débits maximaux annuels (m³/s)

Année	Module	Débits maximaux annuels
1924-1925	1448	2625
1925-1926	1527	2677
1926-1927	1127	2279
1927-1928	1414	2572
1928-1929	1435	2655
1929-1930	1554	2677
1930-1931	1323	2447
1931-1932	1180	2321
1932-1933	1248	2384
1933-1934	1239	2384
1934-1935	990	2199
1935-1936	1105	2314
1936-1937	1297	2440
1937-1938	956	2157
1938-1939	1085	2335
1939-1940	1042	2217
1940-1941	860	2001
1941-1942	909	2061
1942-1943	794	1947
1943-1944	929	2139
1944-1945	744	1965
1945-1946	1009	2223
1946-1947	1137	2314
1947-1948	843	2061
1948-1949	1035	2205
1949-1950	950	2145
1950-1951	1190	2405
1951-1952	1460	2557
1952-1953	1356	2535
1953-1954	1466	2595
1954-1955	1559	2647
1955-1956	1510	2640
1956-1957	1095	2300
1957-1958	1475	2632

LE NIGER A DIRE

Modules et débits maximaux classés

Etude statistique

34 années (1924-1958)

Ordre	Fréquence cumulée au dépassement	Variable réduite	Module	Débit max.
1	0.0294	+ 1,89	1559	2677
2	0.0588	+ 1,565	1554	2677
3	0.0882	+ 1,35	1527	2655
4	0.1176	+ 1,19	1510	2647
5	0.1470	+ 1,05	1475	2640
6	0.1764	+ 0,93	1466	2632
7	0.2060	+ 0,82	1460	2625
8	0.2354	0,72	1448	2595
9	0.2648	0,63	1435	2572
10	0.2942	0,54	1414	2557
11	0.3236	0,46	1356	2535
12	0.3530	0,38	1323	2447
13	0.3824	0,30	1297	2440
14	0.4118	0,22	1248	2405
15	0.4412	0,15	1239	2384
16	0.4706	0,075	1190	2384
17	0.4853	0,004	1180	2335
18	0.5147	- 0,004	1137	2321
19	0.5294	- 0,075	1127	2314
20	0.5588	- 0,15	1105	2314
21	0.5882	0,22	1095	2300
22	0.6176	0,30	1085	2279
23	0.6470	0,38	1042	2223
24	0.6764	0,46	1035	2217
25	0.7060	0,54	1009	2205
26	0.7354	0,63	990	2199
27	0.7648	0,72	956	2157
28	0.7942	0,82	950	2145
29	0.8236	0,93	929	2139
30	0.8530	1,05	909	2061
31	0.8824	1,19	860	2061
32	0.9118	1,35	843	2001
33	0.9412	1,565	794	1965
34	0.9706	1,89	744	1947
	Valeur moyenne		1185	2355
	Valeur médiane		1158	2328

Cette méthode de classement a l'inconvénient de fausser l'écart de fréquence entre les rangs 16 et 19, mais elle a l'avantage d'être symétrique aux limites supérieures et inférieures. L'inconvénient est faible car nous verrons que la valeur médiane est très voisine de la valeur moyenne, en outre, les crues moyennes nous intéressent peu.

Pour chaque valeur de la fréquence cumulée au dépassement, nous avons indiqué celle de la variable réduite en utilisant la table numérique de la fonction intégrale de la loi de LAPLACE - GAUSS :

$$\text{la variable réduite } t = \frac{x - m}{\sigma} \quad \text{avec :}$$

x = valeur du phénomène étudié (ici le débit maximal)

m = moyenne arithmétique des valeurs (Loi de GAUSS)

σ = écart type

les valeurs de t sont positives ou négatives de part et d'autre de la valeur médiane de x .

Etudions les caractéristiques principales de cette distribution de 34 valeurs de la variable :

1) La valeur médiane (intermédiaire entre les 17^e et 18^e rangs), 2328 m³/s, est voisine de la valeur moyenne, 2355 m³/s, quoique légèrement inférieure, ce qui laisse présager d'une légère dissymétrie de la distribution en faveur des fortes crues.

2) Nombre de crues observées par classe :

> 2600	-	7
2500 à 2600	-	4
2400 à 2500	-	3
2300 à 2400	-	7
2200 à 2300	-	4
2100 à 2200	-	4
2000 à 2100	-	3
1900 à 2000	-	2

Total... 34 observations

Nous constatons que la distribution donnée présente deux modes (ou dominantes) distincts approximativement pour les valeurs $2350 \text{ m}^3/\text{s}$ et $2645 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le mode $2645 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond aux débits de très fortes crues.

Prise dans son ensemble, cette distribution semble s'éloigner d'une distribution normale de LAPLACE - GAUSS. Il faut cependant considérer, en pratique, le phénomène observé.

Pour les très faibles crues, le facteur atténuation de l'onde de crue joue peu (nous avons vu que les ondes faibles se propagent rapidement). Au contraire, pour les fortes crues, les surfaces inondées augmentent très rapidement, l'évaporation et le déversement atténuent la crue d'autant plus que cette dernière est puissante. Autrement dit, même si la distribution du phénomène "débit" était symétrique aux limites supérieure et inférieure, il ne pourrait en être ainsi pour les débits effectivement jaugés dans la partie du lit où l'écoulement est décelable. Il est donc parfaitement logique d'enregistrer un tassement des unités vers les valeurs fortes des débits de crue.

Cette action atténuante sur le débit de crue varie dans le même sens que le débit lui-même.

Arrivés à ce point de l'analyse hydrologique du problème, nous rejoignons ce qui a été dit au sujet des modules de TILIMBEYA et de MOPTI, à savoir que le nombre de valeurs influencées par les déversements est insuffisant au sein de l'échantillon pour permettre de rechercher une loi susceptible de s'ajuster correctement sur ces fortes crues.

En général, les débits maximaux subissent la loi de l'effet proportionnel et croissent plus vite qu'une loi normale ; c'est pourquoi l'ajustement s'effectue à l'aide d'une loi de GIBRAT - GAUSS, loi normale, dans laquelle le débit de crue est remplacé par son logarithme. Or, ici, à DIRE, c'est l'inverse qui se produit : les débits maximaux croissent moins vite que s'ils n'étaient pas influencés par les déversements. On ne peut donc pas parler d'une loi de GIBRAT. Il n'y a pas, à notre connaissance, de loi classique permettant d'ajuster un tel phénomène : croissance des débits maximaux plus faible que selon une loi normale pour les fortes valeurs. En conséquence, nous ne rechercherons pas une loi spécifique rendant compte de l'allure de cette distribution et nous aurons recours au procédé décrit ci-après pour l'estimation des crues exceptionnelles.

La régularité hydrologique du cycle annuel suggère une corrélation entre le module à DIRE et la cote maximale atteinte pendant la crue correspondante. On constate, sur le graphique n° 31, que la courbe obtenue présente une légère concavité tournée vers l'axe des modules, ceci montre qu'il y a une petite déformation du limnigramme annuel, les crues faibles étant plus pointues que les fortes crues. Il est même possible que la courbe s'affaisse, pour les forts modules, davantage que ne le représente le graphique.

Cette courbe a permis de reconstituer les modules des cycles 1943 - 1944 et 1948 - 1949, pour lesquels il nous manquait les observations de décrue.

Mais elle a un intérêt bien plus grand puisque l'on peut considérer qu'elle représente la loi de variation des débits maximaux de crue à DIRE. La précision de la relation est excellente ; il suffit de connaître la loi de répartition des modules pour pouvoir, à partir de cette corrélation, déterminer la loi de répartition des débits maximaux. Nous verrons plus loin que les modules suivent une loi normale de GAUSS, avec une légère restriction pour les très fortes valeurs, comme nous avons déjà eu l'occasion de le souligner en étudiant les régimes à TILEMBEYA et MOPTI.

Ainsi pourrions-nous estimer les débits maximaux de fréquences rares :

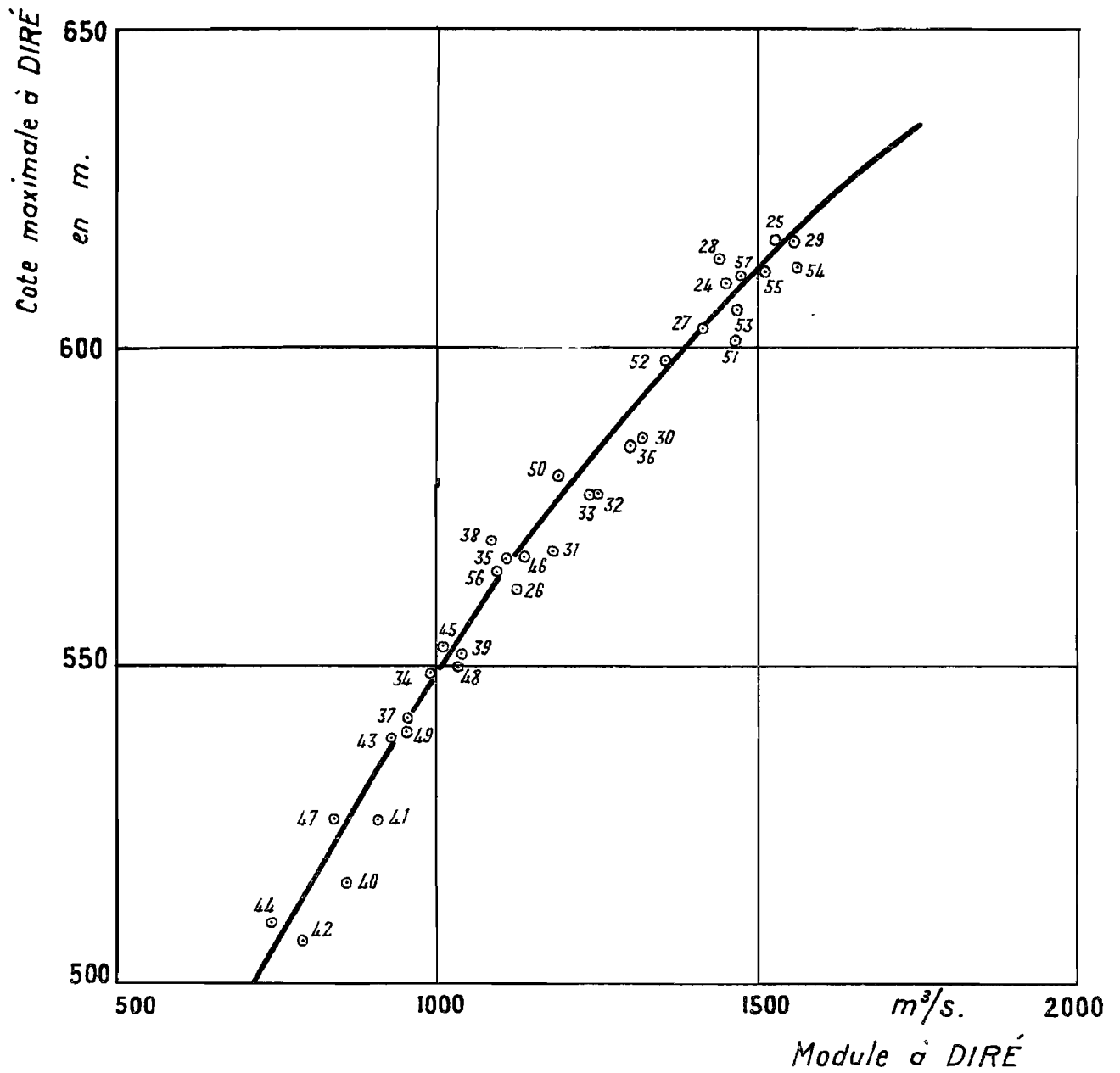
- d'ordre décennal, au module de $1640 \text{ m}^3/\text{s}$ correspond une cote de 6,12 m ou un débit de $2640 \text{ m}^3/\text{s}$; c'est à ce résultat qu'est arrivée la crue de 1955 - 1956, qui vient au 5ème rang de la série des 34 observations.
- d'ordre centenaire, le module de même fréquence s'inscrit dans la fourchette $1620-1750 \text{ m}^3/\text{s}$. A ces deux valeurs correspondent respectivement :

6,24 m et $2700 \text{ m}^3/\text{s}$

6,35 m et $2875 \text{ m}^3/\text{s}$

Nous verrons que le chiffre de $1750 \text{ m}^3/\text{s}$, pour le module centenaire, est donné par excès et qu'il vaut mieux prendre en considération la borne inférieure de la fourchette. Cependant, il est bon de signaler que c'est certainement une crue d'ordre centenaire qui eut lieu durant la période à forte hydraulicité s'étendant de 1875 à 1895. M. REFFAY cite dans son étude, à ce propos, le chiffre de 6,35 m à DIRE, extrait d'une évaluation de l'Office du NIGER. Les éléments de cette évaluation ne sont pas reportés dans le

Cote maximale en fonction du Module à DIRÉ



rapport et il est impossible d'en faire la critique. Bien que le chiffre nous paraisse un peu trop fort, compte tenu du tassement des valeurs extrêmes, nous devons reconnaître qu'il rejoint celui de l'estimation gaussique.

La cote la plus élevée de la période d'observations de 34 ans est celle de 6,17 m obtenue en 1925-1926 et 1929-1930, à laquelle correspond un débit de 2677 m³/s.

Nous concluons en disant que la borne inférieure de la fourchette, soit 2700 m³/s, doit représenter correctement le débit maximal de crue centenaire. Le chiffre de 2875 m³/s obtenue à l'aide de la borne supérieure de la même fourchette est certainement excessif et il est peu vraisemblable qu'il puisse être atteint, même pour de plus faibles fréquences.

Il est difficile d'être plus précis sur cette question car, en plus des motifs inhérents à la méthode d'approche, nous avons trois autres raisons d'être circonspects :

1) Existence de trois points douteux déterminant malheureusement les trois débits les plus forts enregistrés dans la série, ceux qui sont issus des observations de la période 1925-1930, observations douteuses puisque les relevés bruts, manifestement faux, ont dû être ajustés avant le calcul des débits (Voir 1er Tome, IIIème partie, Chapitre I).

2) Indécision de la courbe d'étalonnage pour les fortes valeurs de Q due à l'effet de variation de pente relative (raccordement avec la partie descendante de la courbe correspondante à la décrue).

3) Erreurs d'étalonnage d'environ 3 % du débit mesuré.

Nous verrons plus loin, en étudiant les corrélations entre les modules à DIRE et les modules correspondants à MOPTI et KOULIKORO, que le chiffre avancé pour le débit maximal centenaire se retrouve sensiblement par des moyens différents.

Remarque importante :

L'atténuation considérable des cotes extrêmes à DIRE est due, pour une très large part, aux déversements latéraux alimentant les lacs situés très en contrebas par rapport au lit majeur du fleuve. Les débits d'effluence sont réglés par des seuils sableux au moins au droit immédiat des zones de prélèvements ; les débits de déversement sont eux-mêmes liés aux cotes des bourrelets de rive et à leur extension

longitudinale. Absolument rien ne permet d'affirmer que ces seuils et ces bourrelets sont stables, bien au contraire, il est probable que ces seuils subissent une évolution cyclique en relation avec les périodes de faible et de forte abondance.

A priori, il serait logique de penser que ces seuils de contrôle sont soumis à un auto-creusement dû au débit même qu'ils dérivent, les pentes transversales étant fortes, on pourrait en déduire une déperdition croissante des débits du lit majeur au profit des lacs. Mais si l'on se rapporte aux chroniques et rapports anciens (rapports militaires de 1893 - creusement et continuation à mains d'hommes au 14^{ème} siècle par SONI ALI du canal naturel formant exutoire vers l'Est du Lac FAGUIBINE), il semble, au contraire, que les régions inondées situées en contrebas du lit vont en s'asséchant inexorablement.

De cette apparente contradiction, la seule explication possible réside dans l'affaissement de niveau du lit du fleuve, découlant naturellement du creusement du seuil rocheux au droit du défilé de TOSSAYE, à l'aval de la cuvette lacustre. Le débit du débouché de ce défilé croît assez rapidement et le chenal du fleuve se recreuse à mesure, d'abord dans le sillon dunaire Ouest-Est entre TOMBOUCTOU et TOSSAYE et, ensuite, dans ses propres dépôts lacustres, diminuant ainsi régulièrement la charge sur les seuils déversants.

M. PALAUSI, Géologue, a émis l'idée que cet abaissement du niveau de base en amont du seuil est responsable de la mise à jour des passages rocheux de TONDIFARMA et de DJINDJIN sur le marigot de TASSAKANT. Cette hypothèse est très séduisante. Deux effets s'ajoutent, le niveau de base du fleuve s'abaissant, la puissance érosive des chenaux dérivants diminue ainsi que, par voie de conséquence, les volumes dérivés. Rien ne peut donc empêcher l'assèchement progressif des zones latérales de la cuvette.

Une simple élévation de 0,50 m à 1 m du seuil actuel de TOSSAYE serait susceptible, en agissant sur la courbe de remous naturelle du NIGER, de modifier considérablement l'hydrologie de la région lacustre.

Ajoutons que l'envahissement éolien, non seulement de dépôts siliceux mais plutôt de particules très fines, suffit à obturer définitivement un chenal qui ne débite plus suffisamment (canal d'alimentation des DAOUNAS).

Ces régions, qu'on pourrait estimer complètement stabilisées sont, au contraire, en voie d'évolution hydrologique, et ce, à une échelle plus rapide que dans les régions tempérées.

IV - ETUDE des DEBITS MOYENS MENSUELS -

Le Tableau n° 34 nous fournit les débits moyens mensuels calculés pour les 34 années d'observations que nous possédons. Pour certains mois : Juillet - Avril - Mai - Juin, dont les relevés manquent pour quelques années, nous avons dû supputer les débits moyens mensuels correspondants. Par surcroît, l'incertitude des jaugeages de basses eaux en fait, pour ces périodes du cycle hydrologique, des données très approximatives.

Les moyennes calculées montrent que Décembre est, en général, le mois le plus fort et que le cycle est dissymétrique, la décrue étant plus brutale que la crue. Janvier est légèrement inférieur à Novembre, Février l'est plus nettement par rapport à Octobre, Mars est nettement inférieur à Septembre. La crue est très soutenue puisque les moyennes de Novembre, Décembre et Janvier diffèrent faiblement (2155 - 2294 - 2044 m³/s).

Pour chaque mois, les débits moyens ont été classés par fréquence au dépassement (Tableaux n° 35 et 36) puis reportés sur une graphique (n° 29 (1)) permettant de placer rapidement un cycle quelconque par rapport à ceux des années passées.

Il est facile de faire sur ce réseau de courbes les remarques suivantes :

1°) La dispersion des débits moyens mensuels est très nettement plus élevée à la décrue qu'à la crue (soit 1600 m³/s en décrue, contre seulement 600 m³/s en crue), remarque intéressante pour l'étude des aménagements agricoles de décrue.

2°) L'écart relatif mensuel (écart entre les valeurs extrêmes de fréquence : 0,05 et 0,95, rapporté à la moyenne du débit moyen mensuel), est maximal en Avril, Mai et Juin - Juillet, elle est minimale en Novembre. La variation de cet écart relatif d'un bout à l'autre de l'année est régulière.

3°) Les courbes présentent une pente égale en décrue. La loi de décrue est linéaire alors que les tarissements habituels sont exponentiels (influence des restitutions massives de la nappe des zones inondées et des lacs).

(1) Il n'y a pas de graphique n° 28.

TABLEAU N° 34

LE NIGER A DIRE
Débits moyens mensuels

(m³/s)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume en m ³
1924-25	255	1038	1891	2096	2397	2584	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.

TABIEAU N° 34 (Suite)

LE NIGER à DIRE
Débits moyens mensuels

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	module	Volume en 109 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	86	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	169	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	89	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.

TABLEAU N° 35

LE NIGER A DIRE

Débits moyens mensuels classés
34 années (1924-1958)

Ordre	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Fréquence cumulée dépassement
1	630	1338	1835	2144	2397	2621	2658	2335	1744	1048	431	214	0,029
2	593	1322	1796	2138	2393	2599	2614	2279	1717	1002	425	200	0,059
3	590	1319	1769	2114	2391	2589	2582	2242	1677	980	351	195	0,088
4	571	1236	1767	2102	2366	2584	2560	2240	1610	890	340	178	0,118
5	541	1113	1691	2096	2363	2570	2550	2213	1574	877	333	169	0,147
6	522	1063	1688	2076	2328	2557	2535	2161	1567	853	321	161	0,176
7	470	1053	1684	2070	2309	2551	2534	2149	1538	850	314	155	0,206
8	428	1039	1678	2034	2285	2519	2523	2135	1505	819	293	152	0,235
9	423	1038	1634	2022	2284	2483	2486	2106	1442	799	276	147	0,265
10	379	1032	1596	1962	2242	2474	2455	1985	1360	696	238	129	0,294
11	377	1021	1594	1957	2223	2430	2431	1981	1359	684	193	118	0,324
12	328	992	1588	1950	2218	2403	2284	1772	1167	572	179	98	0,353
13	302	975	1586	1949	2211	2401	2271	1756	1149	567	167	89	0,382
14	293	971	1586	1946	2201	2370	2263	1744	1138	552	164	86	0,412
15	273	921	1568	1945	2188	2362	2222	1684	1018	439	114	79	0,442
16	269	920	1540	1939	2185	2345	2130	1583	1002	372	106	77	0,471
17	255	880	1540	1933	2177	2305	2118	1541	910	326	87	73	0,485
18	188	864	1494	1877	2154	2292	2065	1464	868	314	85	64	0,515
19	186	802	1463	1870	2144	2281	2012	1421	833	302	85	56	0,529
20	177	786	1450	1864	2136	2276	2010	1404	805	295	80	56	0,559
21	175	736	1433	1856	2120	2272	1948	1384	802	281	73	50	0,588

TABIEAU N° 35 (Suite)

LE NIGER A DIRE

Débits moyens mensuels classés

34 années (1924-1958)

Ordre	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Fréquence cumulée dépassement
22	145	718	1410	1855	2119	2245	1931	1370	781	252	70	50	0,618
23	135	679	1375	1812	2101	2209	1926	1273	686	211	70	50	0,647
24	121	655	1326	1805	2074	2180	1767	1211	668	208	66	50	0,676
25	116	654	1312	1783	2044	2168	1755	1188	644	207	64	50	0,706
26	115	649	1309	1761	2041	2158	1690	1104	634	175	57	50	0,735
27	106	595	1291	1745	2025	2137	1550	1100	560	170	55	40	0,765
28	103	584	1284	1726	2003	2043	1510	1096	550	170	50	40	0,794
29	97	570	1277	1720	1997	2040	1499	912	530	153	50	40	0,824
30	90	561	1277	1712	1973	2001	1487	910	421	113	50	40	0,853
31	74	555	1268	1693	1940	1996	1457	890	367	80	50	35	0,882
32	58	535	1226	1676	1898	1958	1357	745	236	58	40	30	0,912
33	58	503	1176	1624	1870	1829	1184	624	197	56	35	30	0,941
34	52	368	1102	1605	1867	1739	1140	619	185	50	30	20	0,970
Moyenne brute sur la période	272	854	1489	1893	2155	2294	2044	1548	978	453	157	90	

TABLEAU N° 36

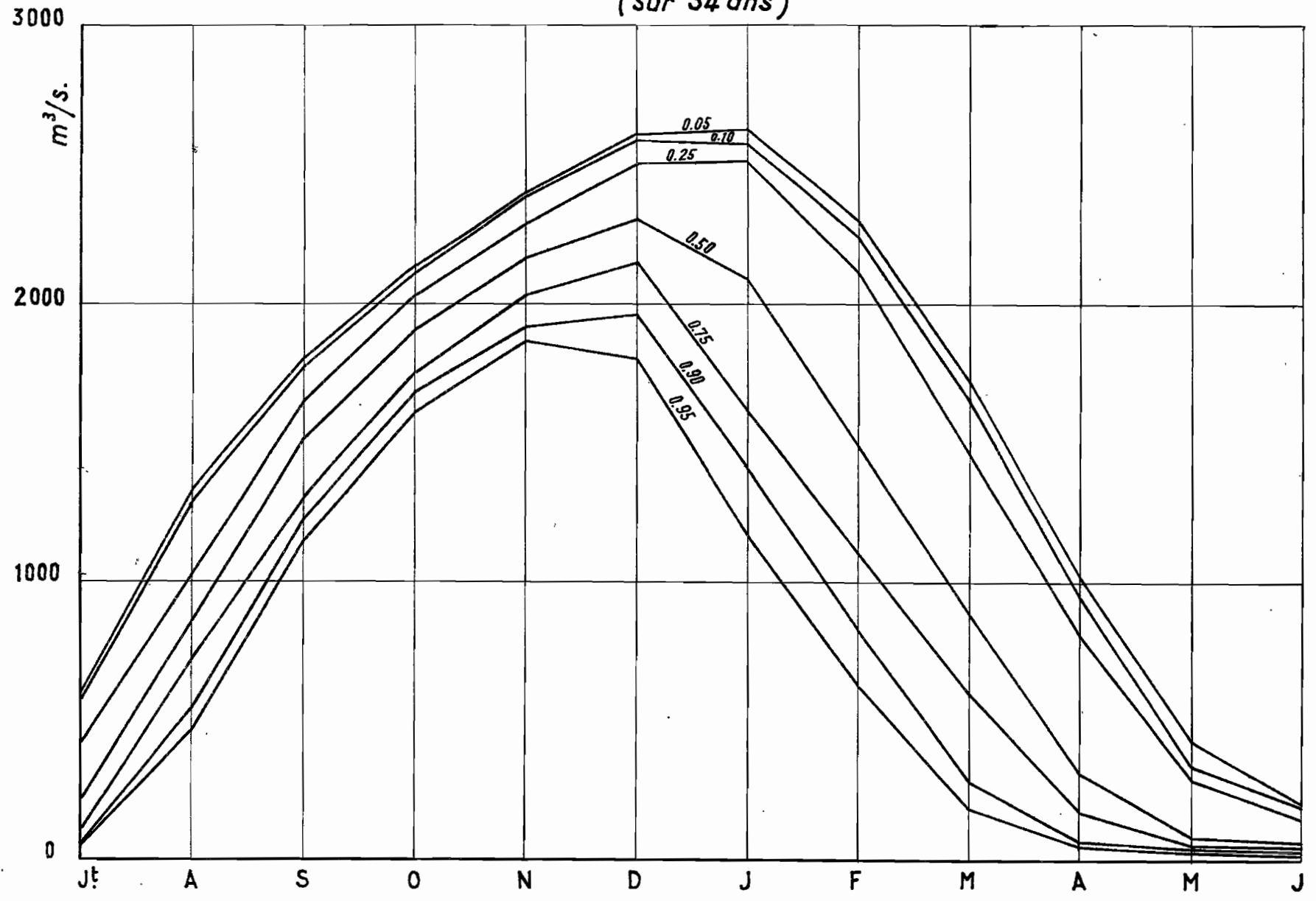
LE NIGER A DIRE
Débits moyens mensuels classés
Fréquence au dépassement

	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Fréquence
	600	1328	1810	2140	2394	2605	2625	2300	1725	1015	427	205	0,05
	585	1295	1768	2110	2385	2587	2575	2241	1650	950	345	190	0,10
	425	1038	1656	2028	2284	2500	2505	2120	1473	810	285	150	0,25
	215	872	1517	1905	2165	2300	2092	1500	890	320	86	67	0,50
	110	622	1300	1753	2033	2147	1620	1102	600	172	56	450	0,75
	60	550	1240	1685	1920	1970	1410	825	280	65	44	32	0,90
	55	470	1150	1615	1869	1800	1165	622	193	54	33	25	0,95
Ecart absolus	545	858	660	525	525	805	1460	1678	1532	961	394	180	
Ecart relatifs (à la moy)	2,54	0,98	0,43	0,27	0,24	0,35	0,70	1,12	1,72	3,0	4,6	2,71	

Le NIGER à DIRÉ

Débits moyens mensuels classés en fréquences au dépassement
(sur 34 ans)

NIG 10294



4°) Le déplacement de la position du débit moyen mensuel le plus élevé, en fonction de la puissance de la crue, est bien visible sur ce graphique : le mois de Décembre est presque toujours le mois le plus abondant ; seules exceptions : Novembre pour $f = 0,95$ et Janvier pour $f = 0,05$.

LOI de DECRUE - (Tableau n° 37)

Soit J, le jour où le débit journalier est maximal, nous avons retenu, pour chaque année, les débits journaliers correspondant aux jours J + 20, J + 40, J + 60, J + 80 et J + 100. Dans chaque intervalle de 20 jours, nous avons calculé la baisse de débit correspondante. On constate que :

1°) Entre J et J + 20, la baisse de débit est irrégulière, surtout à cause du fait que, pour une crue très aplatie, la date du maximum à choisir est un peu arbitraire, les crues faibles semblent accuser une baisse plus importante que les autres.

La moyenne des écarts est de 259 m³/s en 20 jours.

2°) Dans les intervalles suivants, les variations autour de la moyenne deviennent nettement plus faibles.

3°) La moyenne des écarts (377 - 379 - 381 m³/s), entre J + 20 et J + 100, conserve une stabilité remarquable, indiquant une loi de décrue linéaire pour cette période de 80 jours.

Nous pensons que les variations pour cet intervalle proviennent surtout de l'action de l'évaporation sur la cuvette dont les vents secs (harmattan) constituent le facteur dominant.

On peut donc retenir le chiffre moyen d'une décrue de 19 m³/s par jour, entre le vingtième et le centième jours après le passage du débit maximal.

FORME de la CRUE -

Considérons pour chaque crue le nombre N de jours pendant lesquels la cote à l'échelle dépasse la valeur ($H_{\text{maxi}} - 0,10 \text{ m}$) ; ce nombre varie de 31 (1943-1944) à 50 (1955-1956); mais, pour 21 crues sur 34, il est compris entre 41 et 47, ce qui confère à la crue une forme stable.

En gros, évidemment, les crues faibles sont moins aplaties que les crues fortes, mais la relation existant entre N et la hauteur maximale de la crue correspondante, n'est pas très étroite.

TABLEAU N° 37

LE NIGER A DIRE
 Etude de la décrue (en m³/s)

Année	Débit maximal	Ecart	Q à J + 20	Ecart	Q à J + 40	Ecart	Q à J + 60	Ecart	Q à J + 80	Ecart	Q à J + 100
1956-57	2300	312	1988	362	1626	384	1242	407	835	398	437
1955-56	2640	265	2375	347	2028	473	1555	415	1140	409	731
1954-55	2647	147	2500	292	2208	373	1835	392	1443	490	953
1953-54	2595	105	2490	312	2178	402	1776	447	1329	462	867
1952-53	2535	249	2286	353	1933	423	1510	430	1080	423	657
1951-52	2557	229	2328	305	2023	453	1570	470	1100	457	643
1950-51	2405	167	2238	384	1854	372	1482	529	953	450	503
1949-50	2145	313	1832	415	1417	262	1155	211	944	357	587
1948-49	2205										
1947-48	2061	313	1748	518	1230	379	851	414	437		
1946-47	2314	104	2210	447	1763	372	1391	460	931	449	482
1945-46	2223	215	2008	452	1456	366	1090	454	636	381	255
1944-45	1965	245	1720	530	1190	351	839	396	443	276	167
1943-44	2139	487	1652								
1942-43	1947	473	1474	344	1130	339	791	387	404	241	163
1941-42	2061	409	1652	462	1190	375	815	375	440	287	153
1940-41	2001	364	1637	437	1200	325	875	318	527	290	237
1939-40	2217	315	1902	433	1469	384	1085	394	691	351	340
1938-39	2335	310	2025	425	1600	395	1205	382	823	395	428
1937-38	2157	137	2020	490	1530	370	1160	389	171	325	446
1936-37	2440	200	2240	400	1840	384	1456	411	1015	418	597
1935-36	2314	254	2060	420	1640	404	1236	409	827	384	443

TABLEAU N° 37 (Suite)

LE NIGER A DIRE

Etude de la décrue (en m³/s)

Année	Débit maximal	Ecart	Q à J + 20	Ecart	Q à J + 40	Ecart	Q à J + 60	Ecart	Q à J + 80	Ecart	Q à J + 100
1934-35	2199	379	1820	371	1449	379	1070	363	707	260	347
1933-34	2384	141	2243	353	1890	365	1525	410	1115	380	735
1932-33	2384	338	2046	409	1637	422	1215	376	839	366	473
1931-32	2286	241	2045	375	1670	386	1284	381	903	370	533
1930-31	2447	43	2404	364	2040	347	1593	433	1260	385	875
1929-30	2632	318	2314	236	2078	328	1750	402	1348	308	1040
1928-29	2655	230	2425	125	2300	358	1942	395	1547	467	1080
1927-28	2572	216	2356	300	2056	403	1553	508	1145	390	755
1926-27	2279	362	1917	407	1510	390	1120	369	751	356	395
1925-26	2677	200	2477	411	2066	397	1669	484	1185	434	751
1924-25	2625	195	2430	200	2230	403	1827	518	1309	478	931
Moyennes		259		377		379		381		381	

En résumé, nous pouvons retenir que la cote à DIRE chaque année se maintient deux fois sur trois, au-dessus de H max. - 0,10 m, pendant au moins une période moyenne de 40 jours.

Il est très rare que cette période dépasse les limites 50 et 30 jours.

Pour les crues fortes (H max. supérieure à 6,00 m) N est compris entre 43 et 50.

Pour les crues faibles (H max. inférieure à 5,30 m) N est compris entre 30 et 40.

V - MODULES - (Tableaux n° 33 et 33 bis)

L'étude de la distribution statistique des modules à DIRE nous fournira quelques éléments intéressants.

Pour les 34 modules connus, les valeurs s'échelonnent entre 1559 m³/s et 744 m³/s. La dispersion est donc plus élevée que celle des débits maximaux annuels. C'est en général l'inverse qui se produit pour les régimes faiblement ou non régularisés. Ceci montre encore l'influence importante sur l'écrêtement des crues du facteur déversement, par rapport au facteur évaporation, ce dernier agissant plus directement sur le volume écoulé. Prenons, en effet, deux années supposées caractérisées par des débits maximaux égaux ; la régularisation par déversement est un phénomène physique simple, elle se produira donc sensiblement de la même manière dans les deux cas (nous supposons évidemment les volumes résiduels dans les lacs inférieurs sensiblement comparables) mais le facteur climatique agissant directement sur l'évaporation, toutes choses égales par ailleurs (surfaces ennoyées), amène un élément de dispersion supplémentaire que nous retrouverons dans la comparaison des volumes écoulés.

Un simple calcul approximatif montrera l'importance de l'évaporation sur la cuvette.

Admettons, en crue (Décembre ou Janvier), une surface inondée de 20 000 km² et une évaporation journalière moyenne de 10 mm, le volume évaporé journalièrement est de 200 millions de m³, ce qui représente un débit supérieur à 2 000 m³/s, du même ordre de grandeur que le débit de crue s'écoulant à DIRE.

Si le phénomène évaporation ne présentait pas une extrême régularité relative, interannuelle, due à des conditions climatiques très simple, la distribution des modules à DIRE apparaîtrait anarchique et imprévisible, sans corrélation nette avec les modules des stations amont.

La moyenne des modules est de 1185 m³/s, la valeur médiane des modules classés : 1158 m³/s, la moyenne l'emporte donc très légèrement.

Nous retrouvons dans cette distribution deux modes distincts, l'un vers 1100, l'autre vers 1450, c'est-à-dire vers les fortes valeurs.

Les motifs de cette particularité ont déjà été exposés en détail lors de l'étude des modules à TILÉMBÉYA et MOPTI.

Nous en savons déjà la conclusion :

- les modules suivent une loi normale de GAUSS, de façon très étroite pour les valeurs faibles et moyennes, d'une façon plus lâche pour les valeurs fortes qui, vraisemblablement, subissent un tassement et doivent être un peu inférieures aux estimations gaussiennes pour les très faibles fréquences.

Le test du χ^2 de PEARSON appliqué à notre échantillon de 34 modules est probant puisque pour 3 degrés de liberté, $\chi^2 = 6,57$, ce qui équivaut à une probabilité d'environ 5 à 10 %, tout à fait satisfaisante.

Nous pouvons calculer les modules exceptionnels à l'aide de la loi normale : moyenne de 1185 m³/s, écart-type de 243 m³/s.

On obtient les résultats consignés dans le tableau ci-dessous :

au dépassement	module m ³ /s
0,01	1750
0,10	1496
0,90	874
0,99	620

Le premier centile supérieur, 1750 m³/s, doit être considéré comme légèrement trop fort, nous l'avons déjà dit.

Sur le graphique n° 30, où sont présentés les modules observés en fonction de la variable réduite, on peut prolonger la droite passant par les valeurs fortes et atteindre la fréquence centenaire pour 1620 m³/s.

C'est très vraisemblablement entre ces deux chiffres que doit se placer le module réel de fréquence 0,01.

Nous caractériserons l'irrégularité interannuelle du régime à DIRE :

1) par le coefficient de variation $C_v = \frac{2,43}{1185} = 0,205$

2) par le rapport K_3 des déciles extrêmes $\frac{1496}{874} = 1,71$

Ces chiffres sont du même ordre de grandeur, quoique légèrement supérieurs à ceux de MOPTI (valant 0,191 et 1,64 respectivement).

VI - ESSAIS de CORRELATION ENTRE les MODULES à DIRE et les MODULES des STATIONS AMONT (Tableau n° 38) -

Nous savons que la crue à DIRE dépend du flux de débit vers la cuvette lacustre en provenance, d'une part, du DIAKA et des déversements rive gauche en amont de MOPTI, et, d'autre part, de la combinaison NIGER - BANI, à l'aval de MOPTI.

Les apports de la première catégorie sont conditionnés par la crue du NIGER amont, à KOULIKORO par exemple.

Par ailleurs, ces deux alimentations sont sensiblement égales en volume, avec toutefois un léger écart en faveur des volumes écoulés à l'aval de MOPTI.

Il est donc logique de tenter une corrélation entre les modules à DIRE et la somme des modules respectivement à KOULIKORO et MOPTI (graphique n° 32) $D = f(M + K)$.

Une telle corrélation ne tient pas compte du décalage possible entre les deux flux de débits dont dépend certainement l'importance des pertes au franchissement de la cuvette.

Le NIGER à DIRÉ

Répartition statistique des Modules (Période 1924-58 -34ans.)

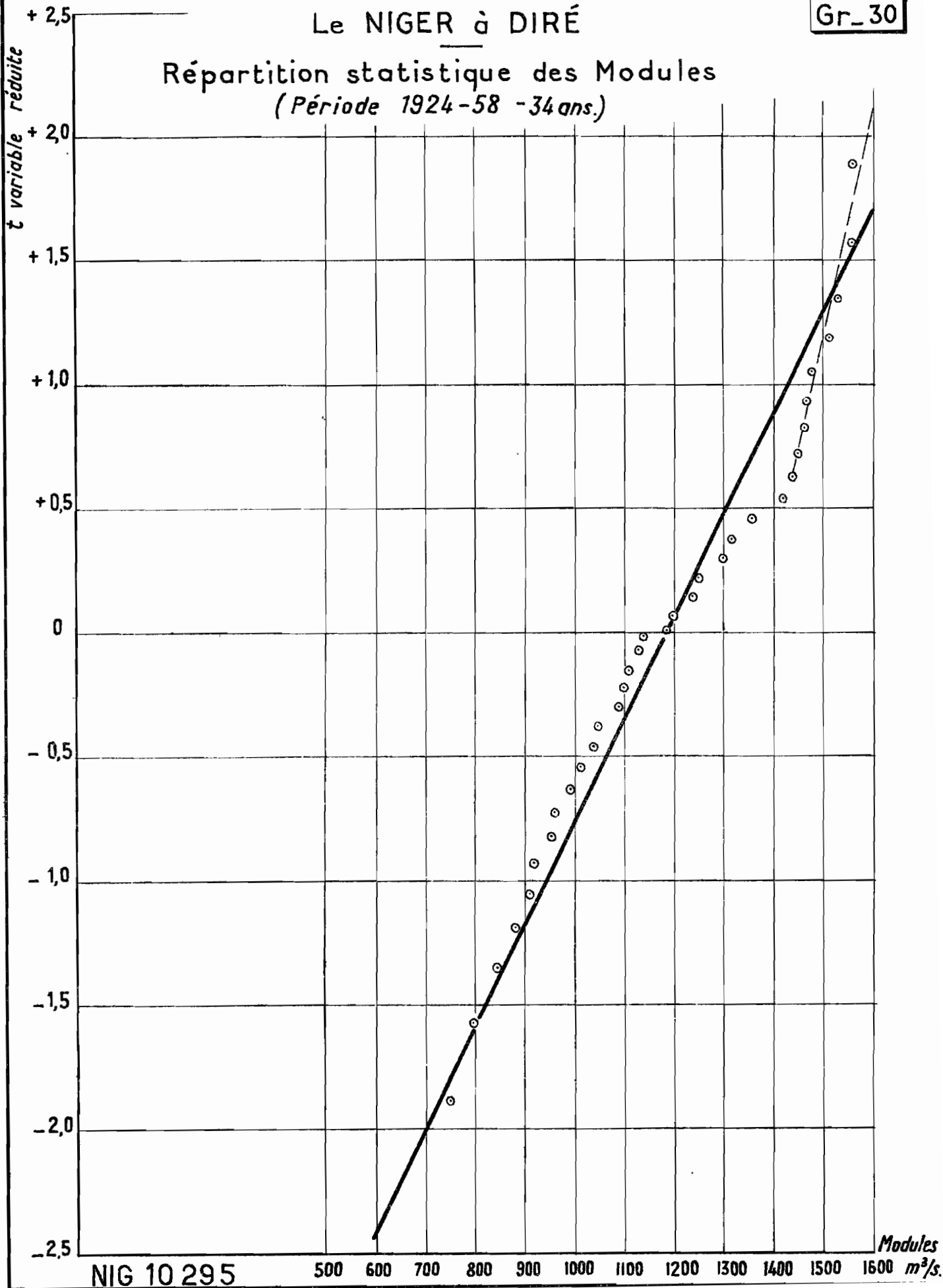


TABLEAU n° 38

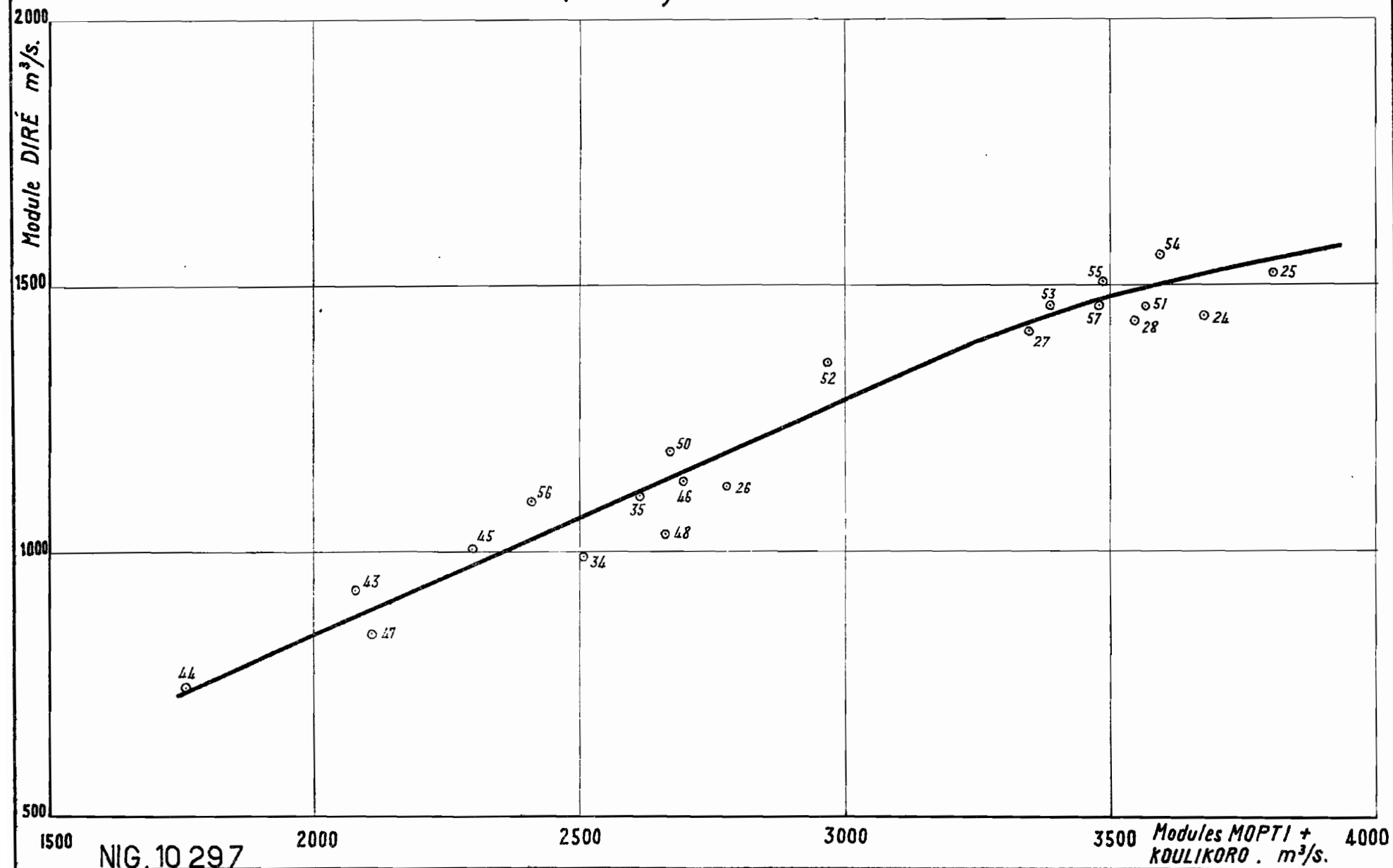
LES MODULES du NIGER à DIRE
(m³/s)

Essais de corrélation avec NOPTI et TILÉMBEYA

Année	Module : NOPTI	Module : TILÉMBEYA	Total : M + T	Module : DIRE	2 M + T	Module : KOULIKORO	K - T	M + (K - T)	Modules : M + K
1924-25	1465	1227	2692	1448	4157	2211	984	2449	3676
25-26	1440	1314	2754	1527	4194	2365	1051	2491	3805
26-27	1090	1068	2158	1127	3248	1685	617	1707	2775
27-28	1375	1241	2616	1414	3991	1969	728	2103	3344
28-29	1375	1233	2608	1435	3983	2169	936	2311	3544
1934-35	1030	940	1970	990	3050	1473	533	1563	2503
35-36	1165	925	2090	1105	3255	1445	520	1685	2610
1943-44	889	846	1735	929	2624	1189	343	1232	2078
44-45	760	669	1429	744	2189	995	326	1086	1755
45-46	1053	835	1888	1009	2941	1242	407	1460	2295
46-47	1153	1005	2158	1137	3311	1539	534	1687	2692
47-48	845	791	1636	843	2481	1261	470	1315	2106
48-49	976	1033	2009	1035	2985	1683	650	1626	2659
1950-51	1145	957	2102	1190	3247	1519	562	1707	2664
51-52	1425	1240	2665	1460	4090	2137	897	2322	3562
52-53	1324	1023	2347	1356	3671	1638	615	1939	2962
53-54	1400	1180	2580	1466	3980	1988	808	2208	3388
54-55	1591	1285	2786	1559	4287	2091	306	2307	3592
55-56	1432	1211	2643	1510	4075	2054	843	2275	3486
56-57	1051	860	1901	1095	2952	1356	506	1557	2407
57-58	1379	1200	2579	1467	3958	2101	901	2280	3480

Relation entre les modules à DIRÉ et ceux de KOULIKORO et MOPTI

$$D = f(K + M)$$



Tenant compte de ces réserves, la répartition des points obtenus sur le graphique reste encourageante.

Elle montre que, plus les volumes à KOULIKORO et MOPTI sont élevés, plus les pertes sont grandes, les modules à DIRE croissant de plus en plus faiblement. L'atténuation apparaît à partir d'un module de 1300 m³/s à DIRE et d'environ 3000 m³/s pour la somme des modules M + K.

Même en prenant une valeur de 4500 m³/s pour la somme des modules à MOPTI et KOULIKORO, on constate qu'il est probable que le module à DIRE ne dépasserait pas 1700 m³/s, soit une cote maximale à DIRE de l'ordre de 6,25 m. On se retrouve ainsi dans la fourchette évoquée plus haut, relativement au module centenaire supérieur.

Une corrélation plus simple ne faisant intervenir que les modules à KOULIKORO (graphique n° 33) donne évidemment une diffusion beaucoup plus grande des points figuratifs. Elle reste cependant intéressante car elle permet de prévoir approximativement, assez longtemps à l'avance, l'ampleur de la crue à DIRE. L'incertitude reste appréciable ($\pm 10 \%$ sur le module de DIRE), mais elle peut être suffisante pour agir en début de crue sur des ouvrages d'aménagements hydrauliques des lacs de la rive gauche.

En effet, en début de décrue bien amorcée à KOULIKORO, c'est-à-dire en Octobre, il est possible, en extrapolant la portion du cycle relative au tarissement, d'évaluer la valeur du module. La prévision est ainsi de 2 à 3 mois en avance sur le maximum de crue à DIRE.

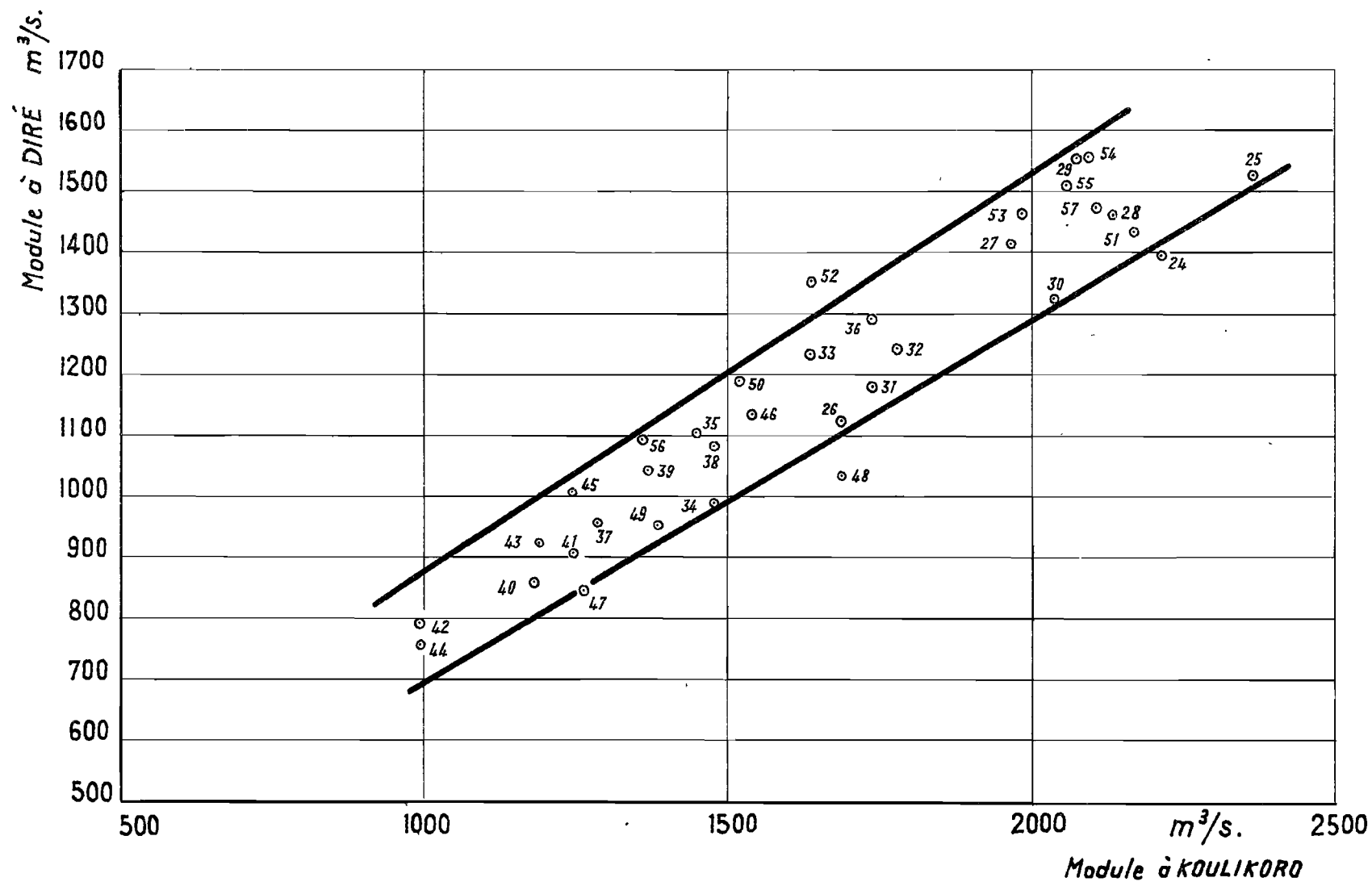
CORRESPONDANCE entre les MODULES à DIRE, MOPTI et TILEMBEYA -

Le volume qui entre, à chaque cycle hydrologique, dans la cuvette lacustre, se compose du volume écoulé à l'aval de MOPTI, par le NIGER (NIGER amont et BANI), du volume dérivé par le DIAKA, et du volume dérivé par les différents marigots de la rive gauche.

Nous avons vu que le volume dérivé par le DIAKA est très étroitement lié à celui du NIGER à TILEMBEYA :
 $D = T/2$.

Le volume dérivé par les marigots est fonction des cotes respectives à TILEMBEYA et à MOPTI, nous en précisons, dans un chapitre suivant, la valeur par rapport à celui écoulé à ces deux stations.

Relation entre les modules à DIRÉ
et à KOULIKORO



Dès maintenant, il apparaît important de rechercher une relation entre le module à DIRE et les modules à TILEMBEYA et MOPTI. Nous ne disposons à cet effet que de trois périodes d'observations :

1924-1929 - Relevés à TILEMBEYA déduits de ceux de DIAFARABE après ajustement. Bonne vérification par la correspondance TILEMBEYA-KOULIKORO.

Relevés à DIRE, recalés pour les rendre cohérents avec l'échelle actuelle.

Modules à MOPTI déduits des 7 débits moyens mensuels (Juillet à Décembre), ainsi que nous l'avons vu au Chapitre VI.

1934-1936 - Modules à TILEMBEYA déduits de ceux de KOULIKORO (correspondance correcte).

Modules à MOPTI déduits également des débits moyens mensuels pendant les 7 mois de hautes et moyennes eaux (erreur faible).

1943-1957 - Interruption à MOPTI en 1949-1950.

Module 1951-1952 à TILEMBEYA déduit de celui à KOULIKORO.

Les différents volumes alimentant la cuvette sont approximativement égaux aux quantités suivantes :

Aval MOPTI	:	M
DIACA	:	$\frac{T}{2}$
Rive gauche entre TILEMBEYA et MOPTI	:	$\frac{M + T/2}{3}$

avec :

M = module MOPTI
T = module TILEMBEYA

En additionnant, on voit que D est proportionnel à $(2 M + T)$. Le graphique n° 34 représente le module à DIRE en fonction de $(2 M + T)$.

La correspondance est assez bonne et les points figuratifs s'alignent sensiblement sur une droite, les points récents (1950-1957) semblent se grouper sur une droite légèrement en-dessous de la première. Il s'agit certainement d'une disposition due au hasard de la dispersion naturelle des points, mais il faut remarquer qu'il n'est pas impossible que depuis le début des observations sur le NIGER, le lit, en amont de TOSSAYE, se soit creusé avec abaissement du profil d'équilibre augmentant ainsi les volumes écoulés à DIRE au détriment des volumes déversés et dérivés et entraînant, comme nous l'avons déjà dit, l'assèchement progressif de toutes les régions latérales en contrebas.

Nous avons également essayé une correspondance entre le module à DIRE et la combinaison $M + (K - T)$, afin de tenir compte des pertes qui augmentent rapidement entre KOULIKORO et TILÉMBEYA lorsque le module à KOULIKORO dépasse 2000 m^3 ($K = \text{Module KOULIKORO}$).

La correspondance est beaucoup plus lâche et la forme de la courbe s'incurve pour les fortes valeurs du module à DIRE, à partir de $1400 \text{ m}^3/\text{s}$ (graphique n° 35), comme le faisait déjà la relation $D = f(M + K)$.

On peut expliquer la plus grande dispersion des points par le fait que le volume $(K - T)$, pour les très fortes valeurs de K , profite beaucoup plus à la mésopotamie NIGER - BANI qu'à la cuvette lacustre proprement dite, à l'aval de MOPTI.

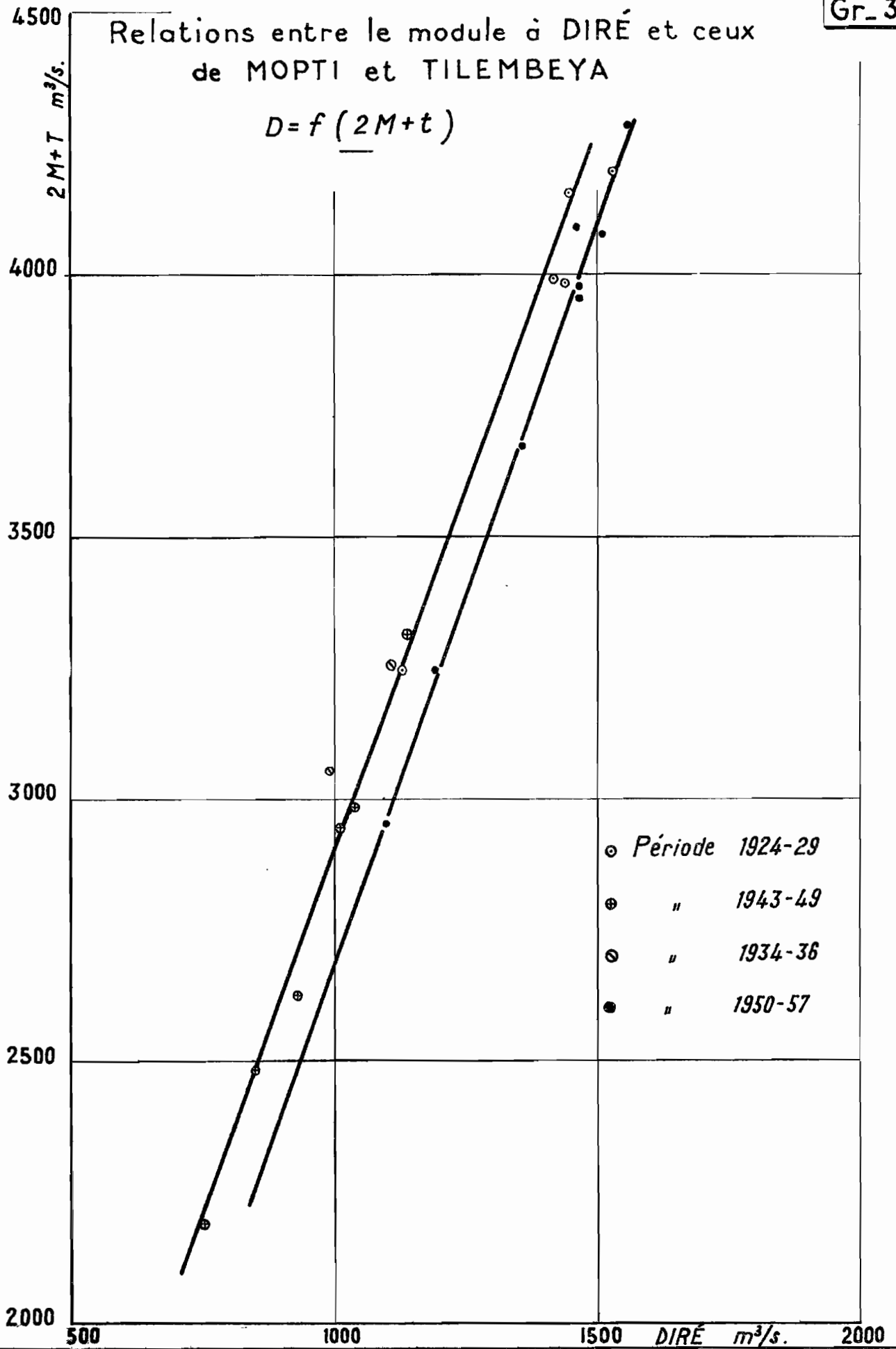
Enfin, il est intéressant de noter que la correspondance du module DIRE, en fonction du seul module MOPTI, est bien meilleure que celle déduite du simple module TILÉMBEYA (graphique n° 36). L'influence des débits s'écoulant en aval de MOPTI est donc prépondérante.

Finalement, la correspondance qui semble la plus étroite est celle de la relation $D = f(2M + T)$, car elle tient compte de l'influence prépondérante de la station de MOPTI.

Si nous nous sommes étendus en détail sur ces différents aspects de la correspondance entre les modules à DIRE et ceux des stations amont de la cuvette lacustre, c'est qu'elle présente deux avantages :

Relations entre le module à DIRÉ et ceux de MOPTI et TILÉMBEYA

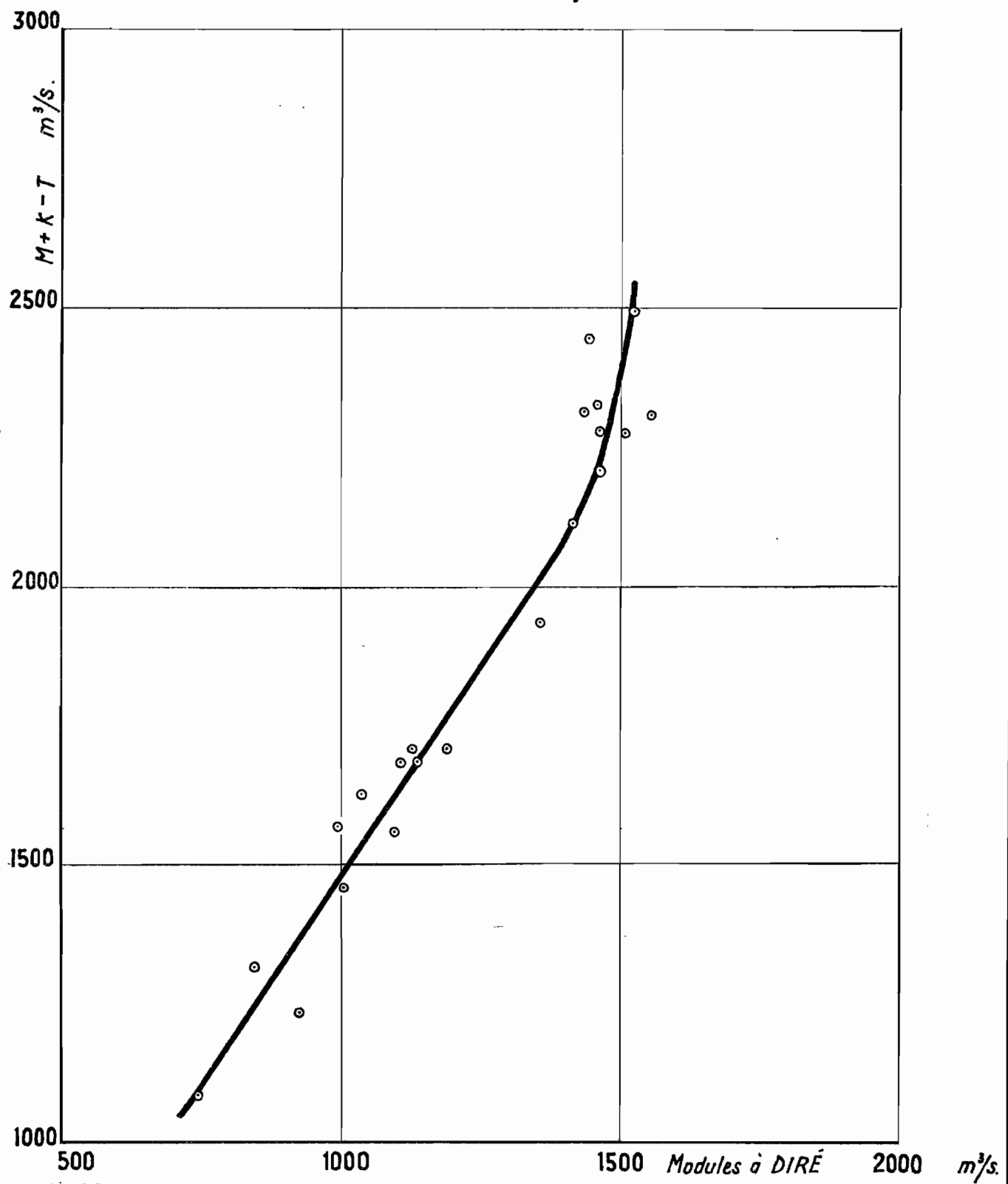
$$D = f(2M+t)$$



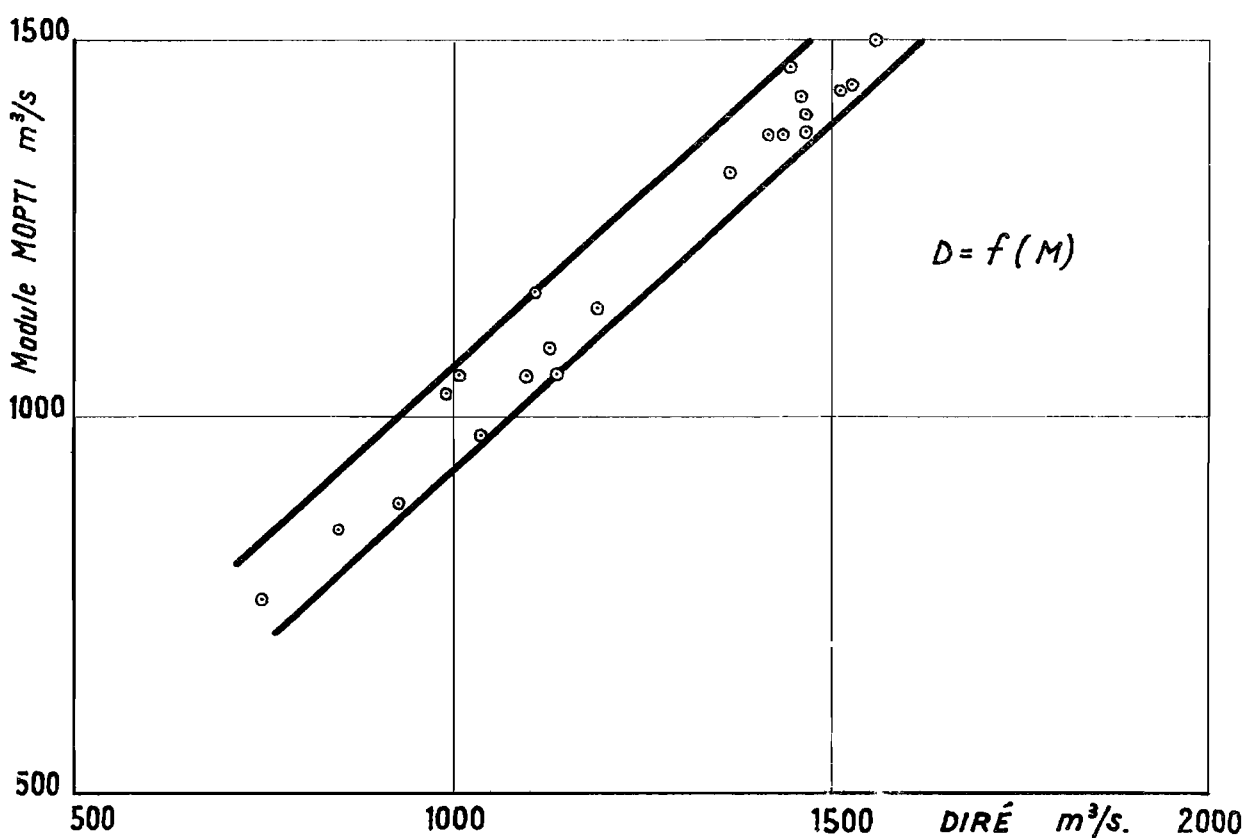
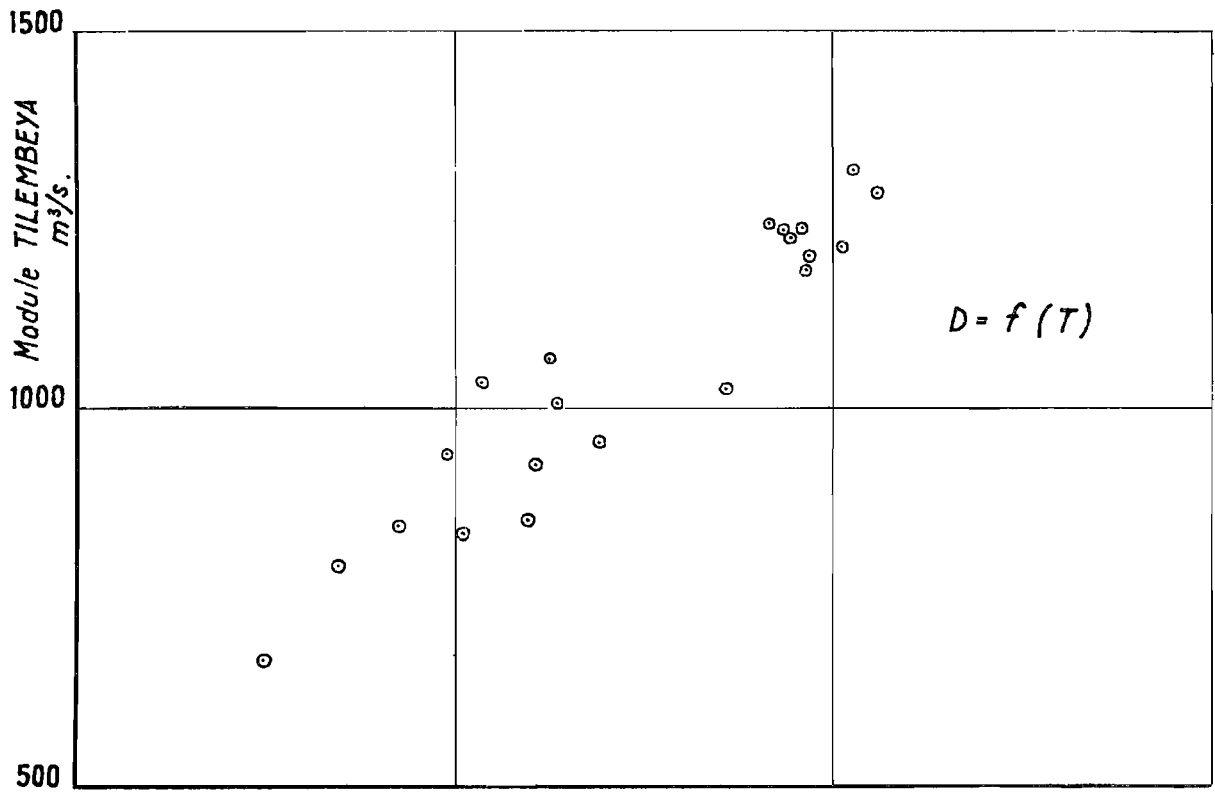
- Période 1924-29
- ⊕ " 1943-49
- ⊙ " 1934-36
- " 1950-57

Relations entre les modules à DIRÉ et ceux de
KOULIKORO, TILEMBEYA et MOPTI

$$D = f(M+K-T)$$



Relations entre les modules à DIRE et ceux de MOPTI et TILEMBEYA



- 1) l'estimation précise (à 5 ou 10 % près) du module d'une année à relevés incomplets ou manquants à l'une de ces stations, connaissant les modules aux autres,
- 2) la possibilité, pour la prévision des crues, d'évaluer l'importance de celles-ci en aval de la cuvette plusieurs mois en avance, en s'appuyant sur les résultats observés en amont.

Ainsi, l'emploi de la relation $D = f(2M + T)$ permet-elle d'estimer le module moyen du NIGER à DIRE aux environs de 1120 m³/s pour la période 1907-1957, alors qu'il atteignait 1185 m³/s pour la période observée de 34 ans. Ce qui nous conduit une fois encore à rappeler que les valeurs extrêmes des modules et crues maximales proposées dans ce rapport sont certainement surestimées.

LE NIGER A DIRE

Débits étiages absolus

Période de 1925 à 1958

Cote du zéro de l'échelle : 257,59
(I.G.N.)

Année	Date	Débit m ³ /s	Cote brute en m	Cote nivelée en m
1925	15 au 18 Juin	99	1,14	258,73
1926	23 Juin	105	1,21	258,80
1927	8 Juin		0,61	258,20
1928	15 et 16 Juin	119	1,31	258,90
1929	18 et 19 Juin	121	1,33	258,92
1930	15 Juin env.	< 105	< 1,20	< 258,79
1931	6 Juin	123	1,34	258,93
1932	13 et 14 Juin	74	0,97	258,56
1933	15 Juin	59	0,82	258,41
1934	24 et 25 Juin		0,58	258,17
1935	20 et 21 Juin		0,30	257,89
1936	26 au 28 Mai		0,74	258,33
1937	17 au 20 Juin		0,80 env.	258,39
1938	13 Juin		0,40	257,99
1939	10 Juin		0,64	258,23
1940	15 au 23 Juin		0,40	257,99
1941	12 et 13 Juin		0,20	257,79
1942	16 au 26 Mai		0,54	258,13
1943	10 au 13 Juin		0,04	257,63
1944	fin Mai-mi-Juin		négative	
1945	mi-Juin		négative	
1946	11 au 15 Juin		0,50	258,09
1947	27 Juin au 1er Juillet		0,23	257,82
1948	Juin		négative	
1950	avant le 13 Juillet		0,20 env.	257,79
1951	4 et 5 Juin		0,52	258,11
1952	29 Juin au 2 Juillet	65	0,88	258,47
1953	5 Juin	71	0,94	258,53
1954	8 Juin	111	1,26	258,85
1955	18 et 19 Juin	143	1,44	259,03
1956	30 Juin et 1er Juillet	69	0,91	258,50
1957	17 au 23 Juin		0,64	258,23
1958	7 Juin	127	1,36	258,95

N.B. Pour les hauteurs inférieures à 0,80, le débit inférieur à 57 m³/s n'est pas connu.

LE NIGER A DIRE

Crues annuelles

Année	Date	Débit 3 m / s	Hauteur brute m	Cote nivelée m
1924-25	:30 Déc.- 2 et 3 Janv.	2625	6,10	263,69
1925-26	:3 au 21 Janvier	2677	6,17	263,76
1926-27	:19 Décembre	2279	5,62	263,21
1927-28	:5 au 15 Janvier	2572	6,03	263,62
1928-29	:21 au 27 Décembre	2655	6,14	263,73
1929-30	:3 au 9 Janvier	2677	6,17	263,76
1930-31	:18 au 22 Décembre	2447	5,86	263,45
1931-32	:12 au 14 Décembre et 21 Décembre	2321	5,68	263,27
1932-33	:29 Décembre au 13 Janvier	2384	5,77	263,36
1933-34	:15 au 22 Décembre	2384	5,77	263,36
1934-35	:20 au 26 Décembre	2199	5,49	263,08
1935-36	:23 au 28 Décembre	2314	5,67	263,26
1936-37	:25 Déc. au 4 Janvier	2440	5,85	263,44
1937-38	:21 au 26 Décembre	2157	5,42	263,01
1938-39	:23 au 31 Décembre	2335	5,70	263,29
1939-40	:26 Déc. au 5 Janvier	2217	5,52	263,61
1940-41	:17 au 21 Décembre	2001	5,16	262,75
1941-42	:4 au 22 Décembre	2061	5,26	262,85
1942-43	:26 Nov. au 10 Déc.	1947	5,07	262,66
1943-44	:6 au 15 Décembre	2139	5,39	262,98
1944-45	:6 Décembre	1965	5,10	262,69
1945-46	:20 au 28 Décembre	2223	5,53	263,12
1946-47	:23 au 27 Décembre	2314	5,67	263,26
1947-48	:10 au 14 Décembre	2061	5,26	262,85
1948-49	:10 au 22 Décembre	2205	5,50	263,09
1949-50	:8 au 13 Décembre	2145	5,40	262,99
1950-51	:25 Déc. au 1er Janv.	2405	5,80	263,49
1951-52	:14 au 18, 22 et 23 Janvier	2557	6,01	263,60
1952-53	:2 au 10 Janvier	2535	5,98	263,57
1953-54	:26 au 28 Décembre	2595	6,06	263,65
1954-55	:4 au 8 Janvier	2647	6,13	263,72
1955-56	:7 au 14 Janvier	2640	6,12	263,71
1956-57	:19 au 28 Décembre	2300	5,65	263,24

Valeurs extrêmes : 5,07 m et 6,17 m
1947 et 2677 m³/s

Le NIGER A DIRE

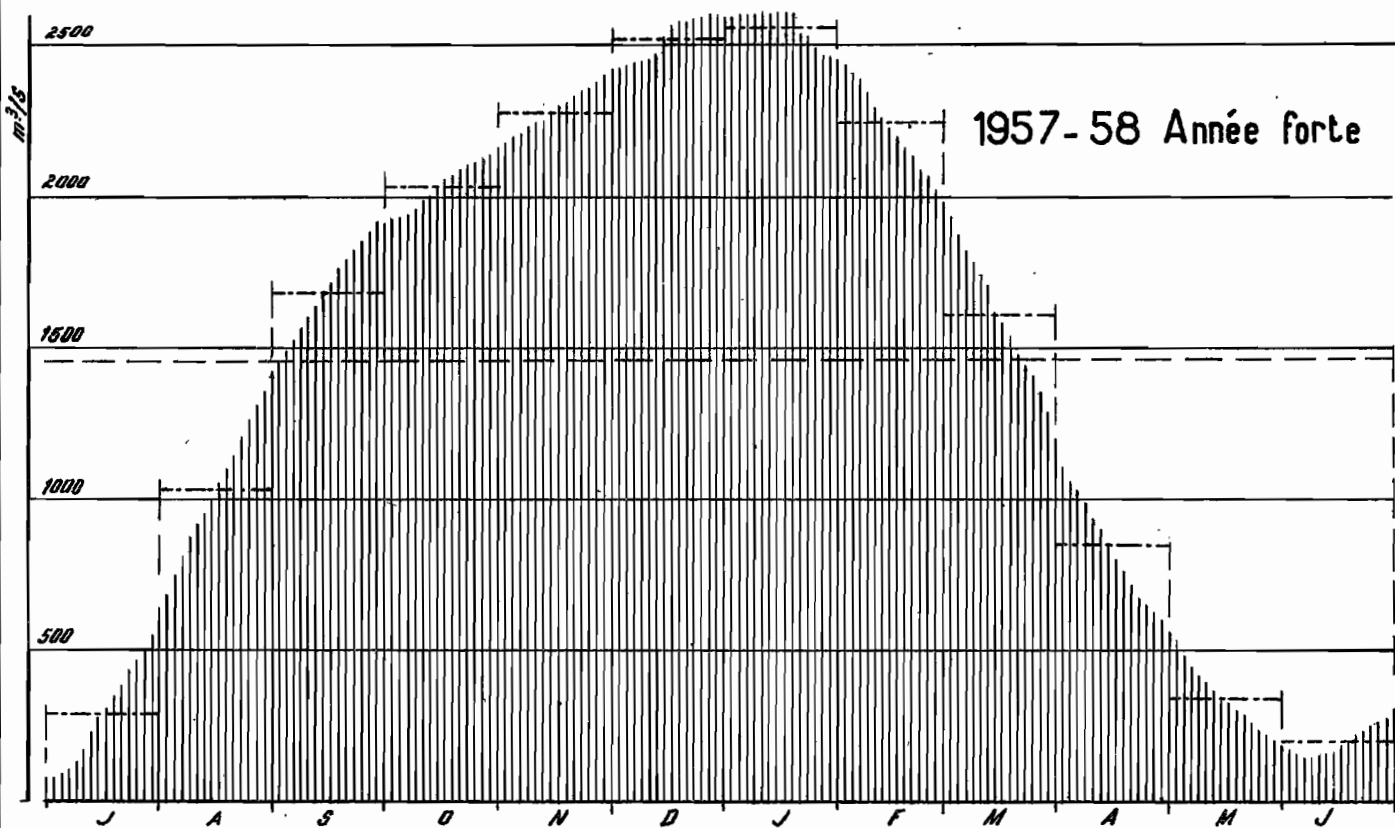
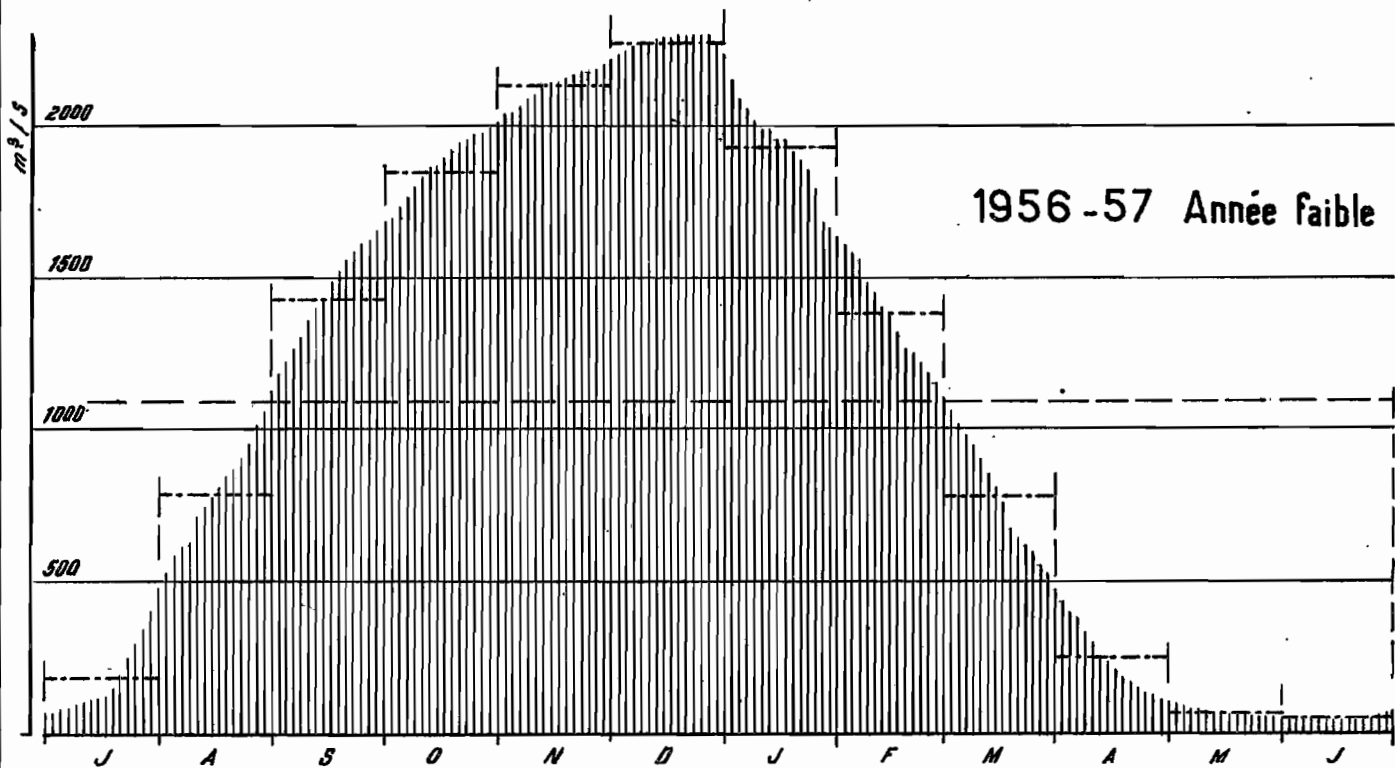
Débits caractéristiques en m³/s

Année	D C E	D C 9	D C 6	D C 3	D C C
1924-25	102	548	1642	2305	2600
1925-26	125	691	1725	2300	2677
1926-27	(50)	278	1145	1892	2272
1927-28	129	573	1570	2191	2572
1928-29	139	524	1593	2286	2640
1929-30	(120)	732	1755	2337	2670
1930-31	135	534	1433	2061	2425
1931-32	78	389	1195	1958	2269
1932-33	75	421	1309	2025	2384
1933-34	(50)	395	1318	2025	2360
1934-35		117	926	1767	2193
1935-36	(58)	229	1105	1918	2307
1936-37	63	465	1428	2097	2440
1937-38		127	875	1708	2151
1938-39	(50)	188	1060	1917	2328
1939-40		194	1035	1821	2217
1940-41		96	732	1582	1989
1941-42		78	813	1653	2061
1942-43		75	629	1494	1947
1943-44		61		1613	2139
1944-45		(<50)	479	1450	1929
1945-46		70	990	1869	2217
1946-47		205	1210	1965	2307
1947-48		(56)	710	1593	2055
1948-49					2205
1949-50		104	962	1670	2133
1950-51		211	1278	2037	2398
1951-52	75	643	1659	2235	2550
1952-53	73	393	1555	2191	2527
1953-54	119	611	1653	2241	2580
1954-55	167	787	1749	2325	2632
1955-56	73	723	1659	2307	2642
1956-57		175	1100	1918	2300

N.B. Les D C E, comme les étiages absolus, sont inestimables en dessous de 57 m³/s environ.

LE NIGER A DIRÉ

Gr. 37



NIG 10 302

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: 1-11-1957

DES: F. COUPPIE

VISA:

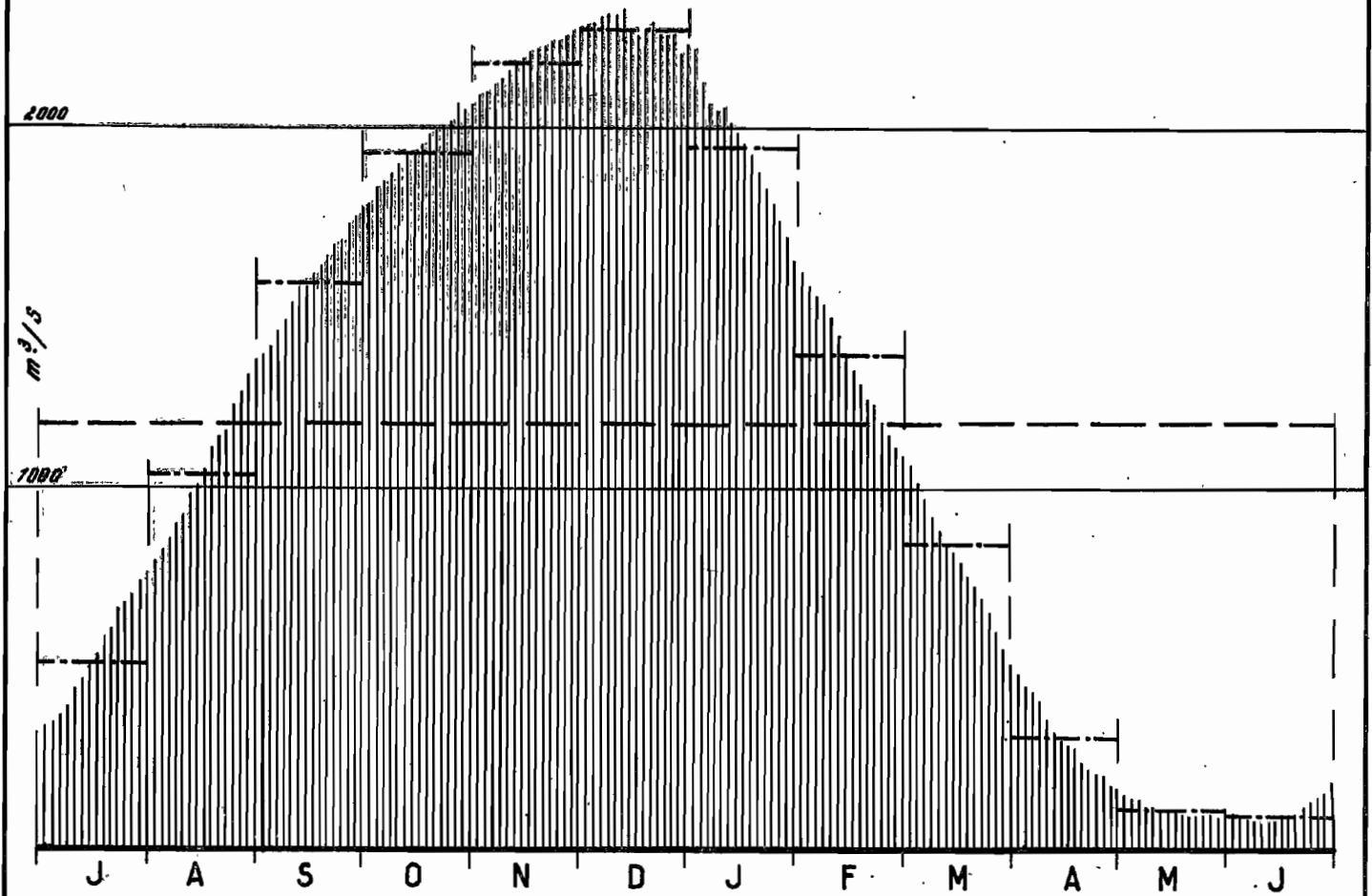
TUBE N°:

A1

LE NIGER A DIRÉ

1931 - 32

Année moyenne



NIG 10 303

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: H. H. MOULI

DES: J. P. HOFFMANN

VISA:

TUBE N°:

A1

LE NIGER A DIRÉ

Gr. 39

