

MONOGRAPHIE DU NIGER

B - LA CUVETTE LACUSTRE

III

Bilan hydrologique

Synthèse de l'écoulement

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'AMENAGEMENTS
du NIGER

MONOGRAPHIE du NIGER

B - La CUVETTE LACUSTRE

III

Bilan hydrologique
Synthèse de l'écoulement

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

S O M M A I R E

	Page
<u>Chapitre VIII</u> - Etude du remplissage de la cuvette lacustre	1
A - Les apports à la cuvette	1
B - Le bilan de la cuvette	9
C - Courbes de remplissage réel de la cuvette	15
<u>Chapitre IX</u> - Volumes écoulés annuels par cycles hydrologiques	20
A - Généralités	20
B - Comparaison des volumes écoulés à DIRE avec ceux des stations amont	24
C - Pertes annuelles dans le delta nigérien en amont de MOPTI	27
D - Pertes totales annuelles dans le delta nigérien	33
<u>Chapitre X</u> - Etude des facteurs de régularisation	36
1° - Vue d'ensemble des modifications du régime de l'amont vers l'aval	36
2° - Recherche d'un coefficient de régularisation du régime	39
3° - Etude des variations des coefficients de régularisation avec les modules	40
<u>Chapitre XI</u> - Etude du régime du marigot de GOUNDAM à GOUNDAM	48
I - Etude des débits moyens mensuels observés	49
II - Etude des modules	51
III - Les volumes écoulés	59
IV - Etude des crues	60
<u>Chapitre XII</u> - Résumé des principales caractéristiques du régime	66

C H A P I T R E V I I I

ETUDE du REMPLISSAGE de la CUVETTE LACUSTRE

A - Les APPORTS à la CUVETTE -

Nous décomposerons les apports dans la cuvette lacustre en trois parties :

- 1 - Débit à l'aval de MOPTI (Station de MOPTI intégrant les apports du NIGER et du BANI).
- 2 - Débit du DIAKA à KARA.
- 3 - Débits déversés sur la rive gauche du NIGER entre DIAFARABE et MOPTI.

Pour être rigoureux, il faudrait tenir compte des débits déversés toujours sur la rive gauche entre KE MACINA et MOPTI, rejoignant sans doute le DIAKA en aval de KARA, mais nous n'avons pas de données suffisantes pour les apprécier d'une part, et, d'autre part, leur importance est négligeable vis-à-vis des trois autres postes d'alimentation.

En ce qui concerne les débits évacués hors de la cuvette, nous ne tiendrons compte que de ceux déduits de la station de DIRE. La station de TOSSAYE aurait été préférable, mais l'étalonnage n'en est pas encore achevé.

Afin de simplifier l'étude, nous travaillerons sur les débits moyens mensuels, c'est-à-dire qu'au lieu d'obtenir des courbes annuelles continues, il faudra les construire au moyen de 12 points exacts.

Les débits 1 et 2 sont obtenus directement en partant des fiches de stations. Néanmoins, nous avons établi une correspondance entre les débits moyens mensuels à KOULIKORO et à KARA, d'après les observations de la période

1940 - 1958 (Tableau n° 42), ce qui nous a permis de déduire les seconds des premiers pour l'année 1951-1952 non observée à KARA, sans aucune difficulté (Graphique n°40).

Les débits 3, que l'on ne peut négliger car ils sont de l'ordre de grandeur des débits à KARA, seront déterminés par différence entre les débits du NIGER à l'aval de DIAFARABE (mesurés à la station de TILEMBEYA) et les débits du NIGER à l'amont de MOPTI. Rappelons que les débits écoulés à KARA sont moitié de ceux passant à TILEMBEYA.

Les débits amont MOPTI résultent de la relation :

$$Q_{\text{amont MOPTI}} = Q_{\text{aval MOPTI}} - \text{Apports du BANI à MOPTI}$$

La seule inconnue concerne ces apports du BANI à MOPTI, que nous allons essayer de déterminer.

1 - DETERMINATION des APPORTS du BANI à MOPTI -

Nous avons d'abord établi une correspondance entre les débits moyens mensuels à DOUNA et à SOFARA pour les années connues (Années 1952-1953, 1953-1954, 1954-1955, 1955-1956, 1956-1957 et 1957-1958). Elle apparaît graphiquement sous la forme de deux courbes valables, l'une pour la crue, l'autre pour la décrue à DOUNA (Graphique n° 41). L'aplatissement naturel de l'onde de crue et l'effet des déversements latéraux se font sentir entre SOFARA et MOPTI, à mesure que la pente du BANI diminue. Il n'y a aucune discontinuité dans cette variation de pente dans le tronçon SOFARA - MOPTI, il est donc logique de tracer les courbes de correspondance DOUNA - MOPTI amont, en s'appuyant sur les formes de celles déterminées pour la correspondance DOUNA - SOFARA.

Les débits maximaux possibles du BANI à l'amont de MOPTI ont été déterminés approximativement en extrapolant la variation des débits journaliers le long du BANI. Nous avons admis ainsi un maximum compris entre 850 et 1000 m³/s. Cette valeur permet de fixer le rapport d'affinité entre les deux systèmes de courbes.

En outre, la partie inférieure de la courbe de décrue DOUNA - MOPTI amont, a été volontairement abaissée pour tenir compte de l'augmentation de décalage dans le temps dû au transport de l'onde (10 à 12 jours).

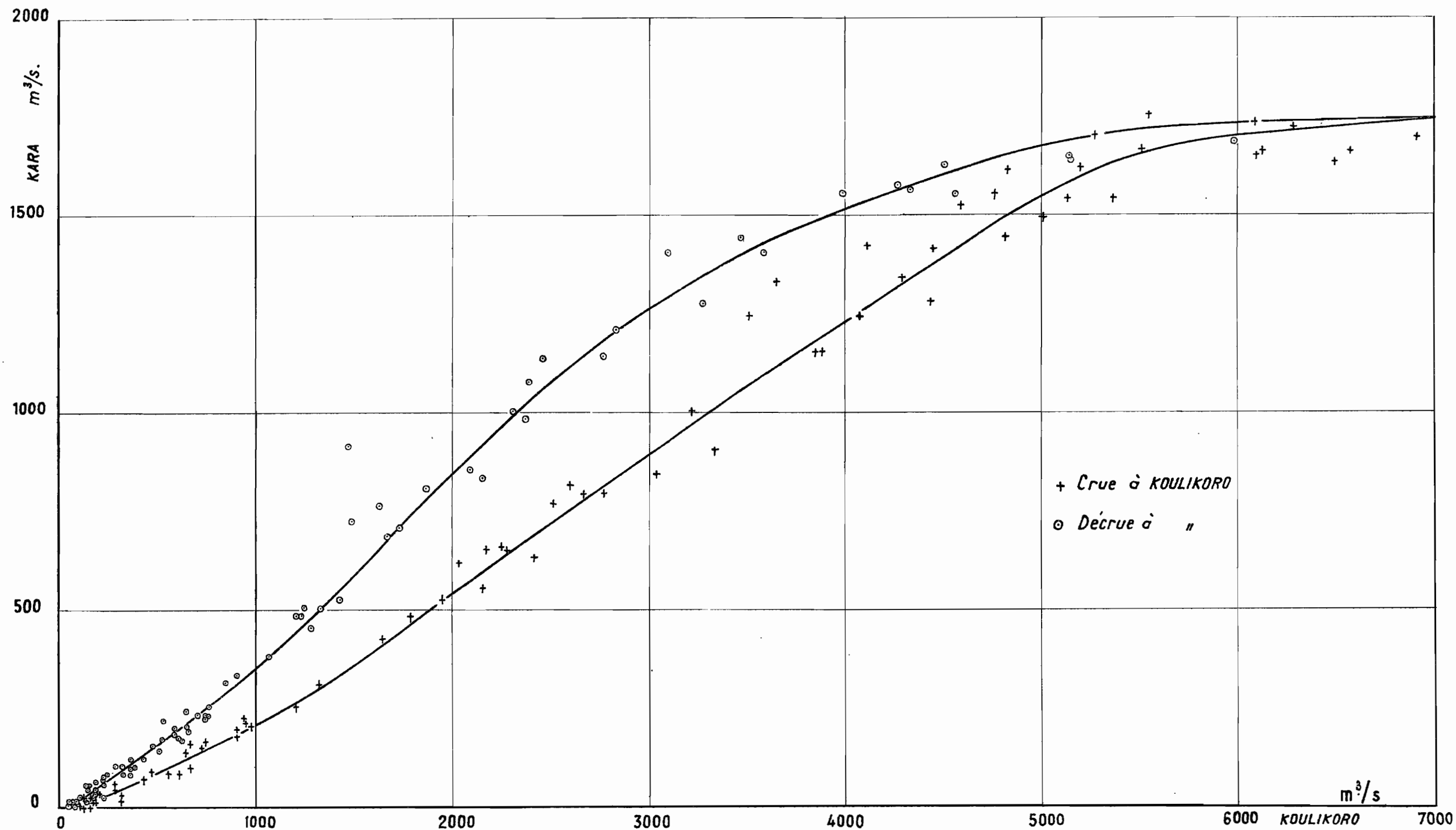
TABLEAU N° 42

Correspondance KOULIKORO-KARA
en débits moyens mensuels (m³/s)

Année	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:	KIK:Kra:
1940-41:	180:	13:	909:	199:	2671:	795:	3516:	1246:	3657:	1331:	1867:	803:
41-42:	218:	34:	942:	223:	2420:	637:	5368:	1543:	3093:	1407:	1487:	725:
42-43:	290:	60:	753:	166:	2251:	661:	4104:	1425:	2155:	835:	1213:	486:
43-44:	165:	24:	667:	159:	2159:	554:	4762:	1552:	3988:	1558:	1479:	913:
44-45:	111:	5:	472:	90:	1798:	484:	4445:	1412:	2828:	1210:	1333:	501:
1945-46:	117:	7:	434:	71:	2772:	798:	4592:	1521:	4266:	1575:	1631:	768:
46-47:	287:	49:	957:	216:	3034:	846:	4825:	1615:	5275:	1709:	2460:	1139:
47-48:	165:	1:	911:	182:	2599:	818:	5002:	1497:	4333:	1565:	1231:	483:
48-49:	322:	29:	1643:	429:	3882:	1151:	6086:	1732:	4516:	1629:	2088:	857:
49-50:	122:	26:	619:	86:	3332:	909:	6281:	1722:	3478:	1446:	1433:	529:
1950-51:	128:	0:	730:	151:	2518:	771:	5198:	1621:	5547:	1758:	2391:	1079:
51-52:	544:	(95):	1583:	(390):	3758:	(1145):	5349:	(1620):	5431:	(1645):	5433:	(1670):
52-53:	186:	17:	1208:	252:	3221:	1006:	5134:	1540:	5513:	1667:	2316:	1001:
53-54:	560:	87:	2174:	657:	4436:	1279:	6575:	1666:	5152:	1640:	2373:	982:
54-55:	642:	139:	1947:	529:	4284:	1342:	6127:	1661:	5148:	1642:	3280:	177:
55-56:	677:	101:	2037:	621:	4076:	1242:	6095:	1651:	5985:	1686:	2763:	1144:
56-57:	198:	12:	980:	208:	2272:	650:	4807:	1143:	4561:	1551:	1733:	707:
57-58:	323:	17:	1333:	309:	3850:	1154:	6495:	1637:	6915:	1696:	3581:	1405:

N.B. Les débits de KARA entre parenthèses sont des estimations.

Correspondance des débits moyens mensuels
à KOULIKORO et KARA



Il faut insister sur le fait que cette correspondance de débits moyens mensuels entre DOUNA et les apports du BANI à MOPTI est forcément imprécise ; en effet, elle ne tient pas compte de la cote des eaux à MOPTI qui conditionne la valeur de la pente du tronçon aval du BANI. Mais cette question de pente est délicate, et nous manquons de recul dans les observations pour introduire ce second paramètre dans la correspondance recherchée. Nous admettons que les cycles hydrologiques du NIGER et du BANI sont sensiblement réguliers dans le temps. A part l'année 1951-1952, où la crue s'est prolongée très tardivement sur le NIGER, il en a été à peu près ainsi.

Notre but essentiel est de déterminer les volumes mensuels entrant dans la cuvette. Si nous surestimons les apports du BANI à MOPTI du fait, par exemple, d'une forte cote à MOPTI (apports importants du NIGER) par soustraction, nous sous-estimons les apports du NIGER à l'amont de MOPTI et, par voie de conséquence, nous arrivons à un débit dérivé trop grand ; mais, en fait, il y a compensation de cette erreur car une partie plus importante des apports du BANI ont été dérivés sur la rive gauche en direction du NIGER et de là vers la cuvette. Autrement dit, les estimations de débits à l'arrivée à MOPTI peuvent être erronées sans avoir automatiquement de répercussions sur la valeur des débits dirigés vers la cuvette.

2 - DEBITS MOYENS MENSUELS DEVERSEES ENTRE DIAFARABE et MOPTI

Leur détermination est rapportée sur le tableau n° 43 où figurent les débits moyens mensuels :

- a) de DOUNA permettant à l'aide du graphique n°41 d'estimer l'apport du BANI à MOPTI,
- b) de TILEMBEYA,
- c) du NIGER en amont de MOPTI obtenu en retranchant l'apport estimé du BANI du débit mesuré à MOPTI aval,
- d) des déversements en rive gauche obtenus par différence entre b) et c).

De Juin à Octobre, c'est-à-dire, pendant la montée des eaux, les débits mensuels dérivés croissent et sont inférieurs aux débits du DIAKA à KARA. (Voir Tableau n° 44 qui compare les débits moyens mensuels de MOPTI aval, de KARA et de DIRE, avec ceux des déversements précédemment déterminés).

DEBITS MOYENS MENSUELS DU BANI

Correspondances DOUNA avec SOFARA
et
DOUNA avec MOPTI-AMONT

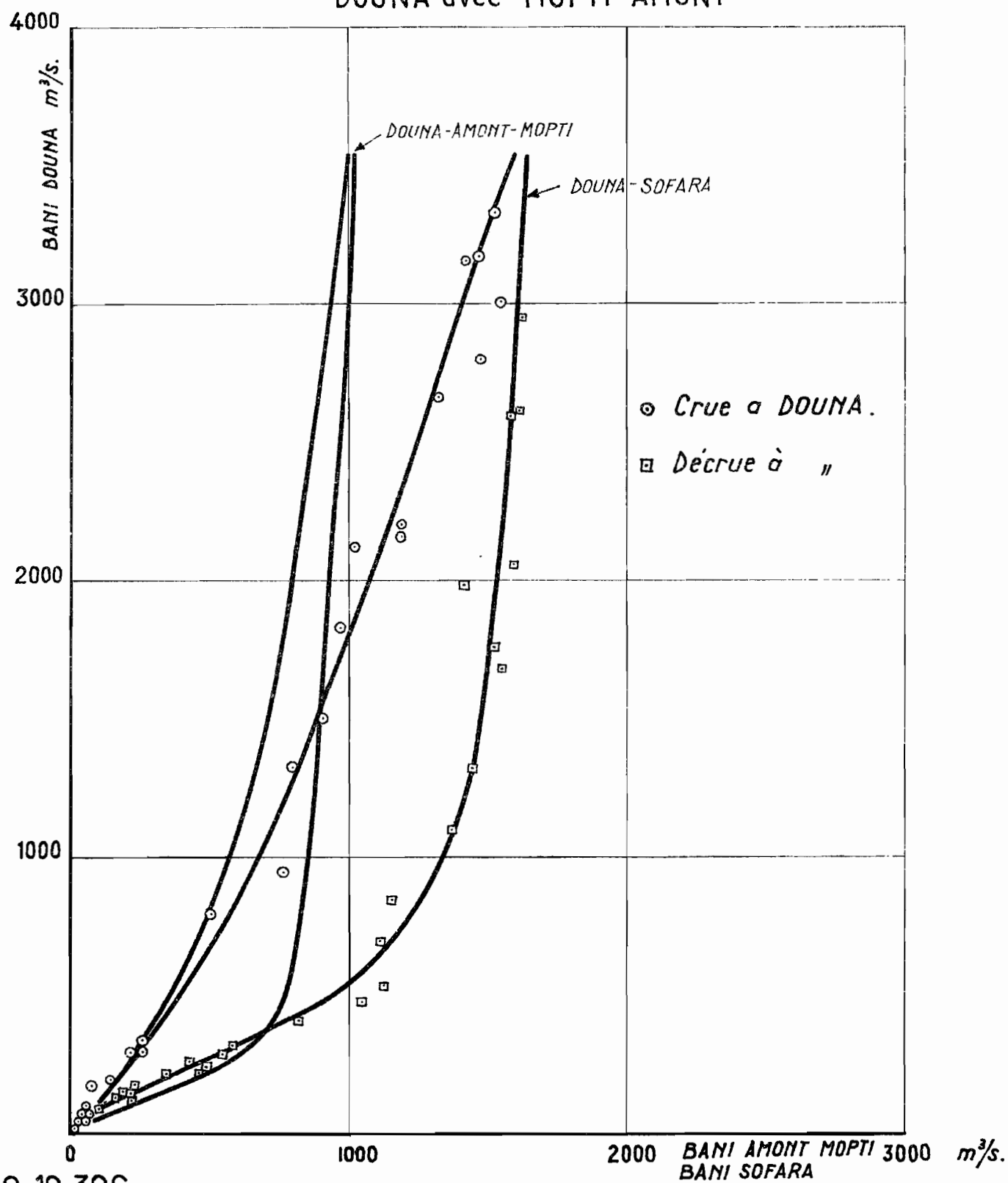


TABLEAU N° 43

Evaluation des déversements rive gauche du NIGER entre TILIMBEYA et MOPTI

Année	Station	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1950-51	TILIMBEYA	60	381	1400	2997	3396	1933	603	301	172	60	50	90
	DOUNA	15	73	987	2595	2568	1356	356	136	84	45	18	13
	MOPTI Amont -NIGER	36	234	683	1647	1890	1900	1447	701	200	101	80	50
	Déversement	24	147	717	1350	1506	33	- 844	- 400	- 28	- 41	- 30	40
1951-52	TILIMBEYA	190	780	2290	3240	3290	3340	1500	500	250	100	40	20
	DOUNA	11	100	866	2259	2783	2283	988	294	151	85	40	25
	MOPTI-Amont	290	546	1172	1700	1934	1968	1868	1380	540	156	100	50
	Déversement	-100	234	1118	1540	1356	1372	- 368	- 880	- 290	- 56	- 60	- 30
1952-53	TILIMBEYA	116	563	1783	2933	3323	1853	755	378	213	133	88	69
	DOUNA	23	174	946	2214	3334	2063	527	236	129	76	44	33
	MOPTI-Amont	90	341	1326	1810	1920	1971	1714	1158	276	100	73	47
	Déversement	26	222	457	1123	1403	- 116	- 959	- 780	- 63	33	15	22
1953-54	TILIMBEYA	248	1225	2333	3335	3270	1802	812	426	241	154	129	115
	DOUNA	89	338	1829	3154	2614	1100	405	213	125	75	48	35
	MOPTI-Amont	160	935	1343	1800	2113	2002	1549	772	256	100	116	110
	Déversement	88	290	990	1535	1157	- 200	- 737	- 346	- 15	54	13	5
1954-55	TILIMBEYA	343	1008	2424	3309	3254	2371	1317	558	312	177	154	128
	DOUNA	69	289	1504	3164	2944	1768	692	283	167	107	71	46
	MOPTI-Amont	286	770	1443	1800	2000	2000	1735	1200	400	108	78	101
	Déversement	57	238	981	1509	1254	371	- 468	- 642	- 88	69	76	27

TABLEAU N° 43 (Suite)

Année	Station	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1955-56	TILEMBEYA	265	1164	2246	3273	3389	2106	949	474	260	167	119	84
	DOUNA	77	297	2129	2786	2588	1331	570	262	148	92	61	40
	MOPTI-Amont	230	928	1293	1868	2016	2043	1668	1085	272	124	48	63
	Déversement	35	236	953	1405	1373	63	- 719	- 611	- 12	43	71	21
1956-57	TILEMBEYA	107	501	1235	2685	3031	1371	582	309	149	86	57	48
	DOUNA	41	64	791	2171	1995	835	312	148	91	59	36	31
	MOPTI-Amont	87	400	860	1543	1792	1700	1146	409	138	55	45	48
	Déversement	20	101	375	1142	1239	- 329	- 564	- 100	11	31	12	0
1957-58	TILEMBEYA	112	692	2094	3246	3411	2694	1062	454	269	113	91	115
	DOUNA	54	198	1331	2654	2852	1719	481	225	139	77	43	29
	MOPTI-Amont	80	500	1225	1745	2011	2052	1795	1104	400	150	87	104
	Déversement	32	192	869	1501	1400	642	- 753	- 650	- 131	- 37	- 4	11

TABLEAU N° 44

MOPTI Aval - Déversement Rive Gauche - DIAKA à KARA - DIRE

Année	Station	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1950-51	MOPTI Aval	51	304	1433	2507	2840	2763	2167	993	343	171	103	73
	Déversement	24	147	717	1350	1506	33	844	400	28	41	30	40
	DIAKA	0	151	771	1621	1758	1079	254	99	34	0	0	0
	DIRE	56	74	718	1494	1950	2188	2370	2222	1684	1018	372	87
1951-52	MOPTI Aval	309	646	1692	2506	2824	2898	2718	1997	888	336	162	95
	Déversement	-100	234	1118	1540	1356	1372	368	880	290	56	60	-30
	DIAKA	95	390	1145	1620	1645	1670	750	250	125	50	20	10
	DIRE	129	423	971	1588	1946	2211	2430	2534	2279	1717	1002	351
1952-53	MOPTI Aval	117	491	1876	2620	2890	2901	2484	1467	526	234	133	87
	Déversement	26	222	457	1123	1403	116	959	780	63	33	15	22
	DIAKA	17	252	1006	1540	1667	1001	334	142	59	15	3	1
	DIRE	86	177	921	1688	2070	2284	2474	2431	1981	1360	684	167
1953-54	MOPTI Aval	240	1185	2113	2746	2983	2842	2289	1242	506	238	176	155
	Déversement	88	290	990	1535	1157	200	737	346	15	54	13	5
	DIAKA	87	657	1279	1666	1640	982	382	175	84	28	22	12
	DIRE	79	571	1338	1767	2114	2366	2551	2455	1985	1359	696	238
1954-55	MOPTI Aval	346	1000	2153	2750	2980	2919	2585	1767	750	328	208	161
	Déversement	57	238	981	1509	1254	371	468	642	88	69	76	27
	DIAKA	139	529	1342	1661	1642	1277	687	233	121	50	35	23
	DIRE	169	593	1236	1769	2102	2363	2570	2582	2242	1677	980	431

TABIEAU N° 44 (Suite)

Année	Station	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1955-56	MOPTI Aval	290	1158	2093	2758	2976	2903	2418	1435	552	284	168	123
	Déversement	35	236	953	1405	1373	63	719	611	12	43	71	21
	DIAKA	101	621	1242	1651	1686	1144	453	191	91	41	13	4
	DIRE	195	630	1319	1796	2138	2391	2589	2550	2106	1442	799	276
1956-57	MOPTI Aval	128	445	1340	2383	2722	2535	1796	707	278	155	95	81
	Déversement	20	101	375	1142	1239	329	564	100	11	31	12	0
	DIAKA	12	208	650	1443	1551	707	233	100	22	3	0	0
	DIRE	89	186	786	1433	1870	2136	2276	1931	1384	781	252	66
1957-58	MOPTI Aval	130	681	1895	2625	2911	2962	2555	1585	687	270	147	144
	Déversement	32	192	869	1501	1400	642	733	650	131	37	4	11
	DIAKA	17	309	1154	1637	1696	1405	503	170	79	12	2	10
	DIRE	50	293	1032	1684	2034	2285	2519	2560	2240	1610	850	340

En Novembre, on enregistre une forte diminution, alors que le débit à KARA, reste voisin de 1000 m³/s. Cette baisse est due au fait que les débits instantanés à MOPTI atteignent leur maximum, alors qu'à TILÉMBEYA le tiers de la décrue est déjà dépassé. Le mouvement va en s'accroissant et en Décembre, Janvier, Février, les débits mensuels déversés deviennent franchement négatifs. Ceci indique, de la part des plaines inondées, une restitution qui semble surestimée. Il est possible que nous ayons adopté des apports du BANI à MOPTI un peu trop forts en fin de décrue, nous avons vu, en effet, que nous avons déformé volontairement la courbe de correspondance pour tenir compte précisément des restitutions de décrue dans la basse vallée du BANI.

Pour établir un tableau correct, il serait nécessaire de procéder, en crue, à des jaugeages sur les bras principaux et à une étude systématique des pertes et des déversements pour des années de diverses hydraulicités; c'est un travail qui a été effectué, par exemple, sur le LOGONE (Tchad).

Même après un tel travail, il subsisterait de légères anomalies dues au délai de parcours entre une station et une autre.

Cependant, nous maintiendrons tels quels les chiffres que nous avons présentés, car les valeurs négatives trop élevées correspondent souvent à des valeurs positives également trop fortes et l'étude détaillée dont il est question plus haut, si elle donnait une vue meilleure du détail des mouvements de l'eau dans la plaine inondée, ne modifierait pas sensiblement le bilan général de la cuvette du NIGER.

En Mars, Avril et Mai, les valeurs indiquées pour les déversements sont théoriques, elles n'ont pas beaucoup de sens car il est difficile, sans jaugeage à l'amont de MOPTI sur le NIGER et le BANI, d'apprécier les débits d'étiage. Heureusement que leur importance relative est négligeable dans le bilan annuel.

B - Le BILAN de la CUVETTE -

Nous avons ensuite réalisé sur les débits moyens mensuels le bilan simple :

(MOPTI + déversements rive gauche + KARA) - DIRE

Le chiffre résultant obtenu est positif lorsqu'il entre théoriquement plus d'eau dans la cuvette qu'il n'en sort, et négatif dans le cas contraire. Théoriquement, car le calcul ne tient évidemment pas compte de l'évapotranspiration dans la cuvette qui agit dans le même sens que les débits évacués à DIRE. Nous en tiendrons compte plus tard. (Tableau n° 45).

Nous constatons que les apports hydrologiques sont excédentaires de Juin à Novembre, et déficitaires de Janvier à Avril, les entrées et les sorties s'équilibrent en Décembre et Mai, selon la précocité de la crue.

Si nous transformons en volumes mensuels cumulés les valeurs obtenus précédemment, nous pourrions tracer les courbes théoriques de remplissage de la cuvette.

TABLEAU N° 45

BILAN THEORIQUE de RE-PLISSAGE de la CUVETTE
 (MOPTI + KARA + DEVERSEMENT Rive Gauche) - DIRE en m³/s

Années	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1950-51	19	528	2203	3984	4154	1693	- 793	+ 1530	- 1335	- 888	- 299	26
1951-52	175	847	2984	4078	3879	3729	670	- 1167	- 1556	- 1387	- 880	276
1952-53	74	788	2418	3595	3890	1502	- 615	- 1602	- 1459	- 1078	- 533	57
1953-54	336	1561	3044	4180	3666	1258	- 617	- 1384	- 1410	- 1039	- 485	66
1954-55	373	1174	3240	4151	3774	2204	234	- 1224	- 1459	- 1230	- 661	220
1955-56	231	1385	2969	4018	3897	1719	- 437	- 1535	- 1475	- 1074	- 547	128
1956-57	71	568	1579	3535	3642	777	- 811	- 1224	- 1073	- 592	- 145	15
1957-58	129	889	2886	4079	3973	2724	- 194	- 1455	- 1605	- 1365	- 705	175

Ces courbes indiquent en fin du cycle hydrologique, une valeur finale qui représente précisément la valeur des pertes pendant le cycle, en supposant que l'état initial et l'état final dans la cuvette soient les mêmes, ce qui est vrai approximativement car les volumes résiduels sont très faibles en comparaison du volume total accumulé (Tableau n° 47). Le volume global des pertes annuelles est donc représenté par le chiffre des apports cumulés figurant dans la colonne du 12ème mois du cycle, celui de Mai.

Le problème intéressant à résoudre est celui de la détermination des variations des pertes cumulées, tout au long d'un cycle annuel moyen.

La nature de ces pertes est double :

1 - Un poste prépondérant concerne l'évaporation sous ses divers aspects : évaporation de la nappe d'eau d'inondation, du sol saturé d'eau, évapotranspiration de la végétation aquatique et des plaines inondées, consommation de ces végétaux pour leur croissance.

2 - Un poste négligeable, devant le premier, est celui de l'infiltration qu'alimente la nappe alluviale, le NIGER, nous le savons, est le château d'eau de la zone deltaïque. Représentant seulement quelques % du volume évaporé, le volume infiltré est minime dans un bilan global comme celui que nous donnons.

Il nous faut rechercher simplement des indices de variation relative (valeurs auxquelles les pertes cumulées sont proportionnelles) puisque nous connaissons la valeur cumulée finale qui, nous l'avons vu, représente la perte globale annuelle.

Les facteurs qui modifient d'une manière essentielle les pertes par évapotranspiration sont :

1 - La surface en eau libre (aires inondées ou eaux vives).

L'appréciation exacte des valeurs de ces surfaces, en fonction des hauteurs d'eau, ne pourrait se faire qu'en possédant plusieurs séries de photos aériennes de la cuvette, effectuées à des époques différentes. Nous avons retenu une allure parabolique inspirée de la courbe $S = f(H)$, relative aux lacs HORO, TELE et FAGUIBINE.

Nous avons adopté pour :

$H = 6,00 \text{ m (DIRE)} \quad 4,00 \text{ m (DIRE)}$

$S = 20\,000 \text{ km}^2 \quad 7\,000 \text{ km}^2$

(valeurs approximatives suffisantes pour l'appréciation d'indices relatifs).

Les surfaces moyennes mensuelles ont été déterminées en partant des hauteurs moyennes mensuelles à DIRE (Tableau n° 46).

2 - Effet du rayonnement global sur l'évapotranspiration

Un retour en arrière pour voir le paragraphe consacré à l'évaporation dans la deuxième partie de cette Monographie de la Cuvette lacustre, nous incite à prendre les données relatives au bac de M'BOUNA comme base de départ. Pour passer à l'évaporation sur grande nappe d'eau libre, nous les avons affectées d'un coefficient voisin de 0,85.

Dans la région du Lac FAGUIBINE, donc du Nord de la cuvette, l'évaporation annuelle serait voisine de 2250 mm. Pour tenir compte du fait que ce chiffre doit descendre en dessous de 2000 mm vers MOPTI, nous avons adopté une valeur moyenne annuelle de l'évaporation égale à 2100 mm pour l'ensemble de la cuvette.

3 - Effet des précipitations

Sur les chiffres obtenus précédemment (lame d'eau mensuelle évaporée), la pluviométrie mensuelle vient en déduction.

Dans le Chapitre relatif aux précipitations, nous avons trouvé 475 mm comme moyenne interannuelle de la pluviométrie sur les zones inondées de la cuvette lacustre. Mais comme notre bilan n'intéresse pas la partie Sud de ces zones (Mésopotamie NIGER-BANI et inondations en amont de TILIMBEYA), nous avons retenu un chiffre plus faible, égal à 400 mm. La répartition mensuelle en a été faite en associant les stations de MOPTI et NIAFUNKÉ, la seconde étant affectée d'un poids double de la première.

La différence entre évaporation et pluviométrie figure sur la ligne $h = E - P$ du Tableau n° 46.

L'indice mensuel de pertes est obtenu en faisant pour chaque mois le produit $S \times h$ (Surface inondée par excédent d'évaporation).

TABIEAU N° 46

EVALUATION des PERTES

	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
Hauteur moyenne à DIRE en mètres	1,00	2,38	4,00	4,77	5,35	5,74	6,00	5,95	5,57	4,76	3,40	1,86
Surfaces inondées en km ²	0	1500	7000	11 000	14 000	18 000	20 000	19 000	16 000	11 000	4000	500
Evaporation sur bac à M'BOUNA en mm/j	9,5	9,3	5,3	6,0	7,1	7,2	5,2	4,4	5,4	6,3	7,6	8,9
Evaporation sur nappe en mm/j	8,1	6,8	4,7	5,1	6,0	6,1	4,5	3,9	4,7	5,4	6,5	7,6
Evaporation totale mensuelle en mm	240	210	145	150	180	180	140	120	130	170	200	240
Pluie moyenne en mm	33	113	145	84	10	0	0	0	0	0	3	12
Différence h = E - P en mm	207	97	0	66	170	180	140	120	130	170	197	228
Indice des pertes par évaporation S x h en 10 ⁶ m ³	-	145	-	725	2380	3240	2800	2230	2080	1870	790	115
Indices cumulés	-	145	145	870	3250	6490	9290	11 570	13 650	15 520	16 310	16 455
Coefficients rela- tifs des pertes cumulées	-	0,0088	0,0088	0,053	0,197	0,395	0,565	0,705	0,830	0,945	0,995	1,000

Après calcul des indices cumulés pour les 12 mois, nous avons déduit les coefficients relatifs de pertes cumulées, à partir d'un coefficient égal à l'unité pour le mois de Mai, 12ème du cycle. Nous admettrons donc que, pour chaque mois, la valeur des pertes cumulées sera :

$$k_i \cdot V_p \quad \text{avec} \quad \begin{cases} V_p = \text{volume global des pertes annuelles} \\ k_i = \text{coefficient pour le mois correspondant} \end{cases}$$

C - COURBES de REMPLISSAGE REEL de la CUVETTE -

Sur le tableau n° 47 où figurent déjà les apports hydrologiques et les apports cumulés donnant le volume global V_p des pertes annuelles (chiffre de Mai), nous effectuons les 12 opérations $k_i V_p$ pour avoir les pertes cumulées chaque mois.

Les volumes mensuels réels accumulés dans la cuvette s'obtiennent en soustrayant, mois par mois, les pertes cumulées des volumes cumulés théoriques (ou apports cumulés). Le report sur un graphique (n° 42) de ces 12 valeurs des volumes réels accumulés permet le tracé des courbes annuelles de remplissage.

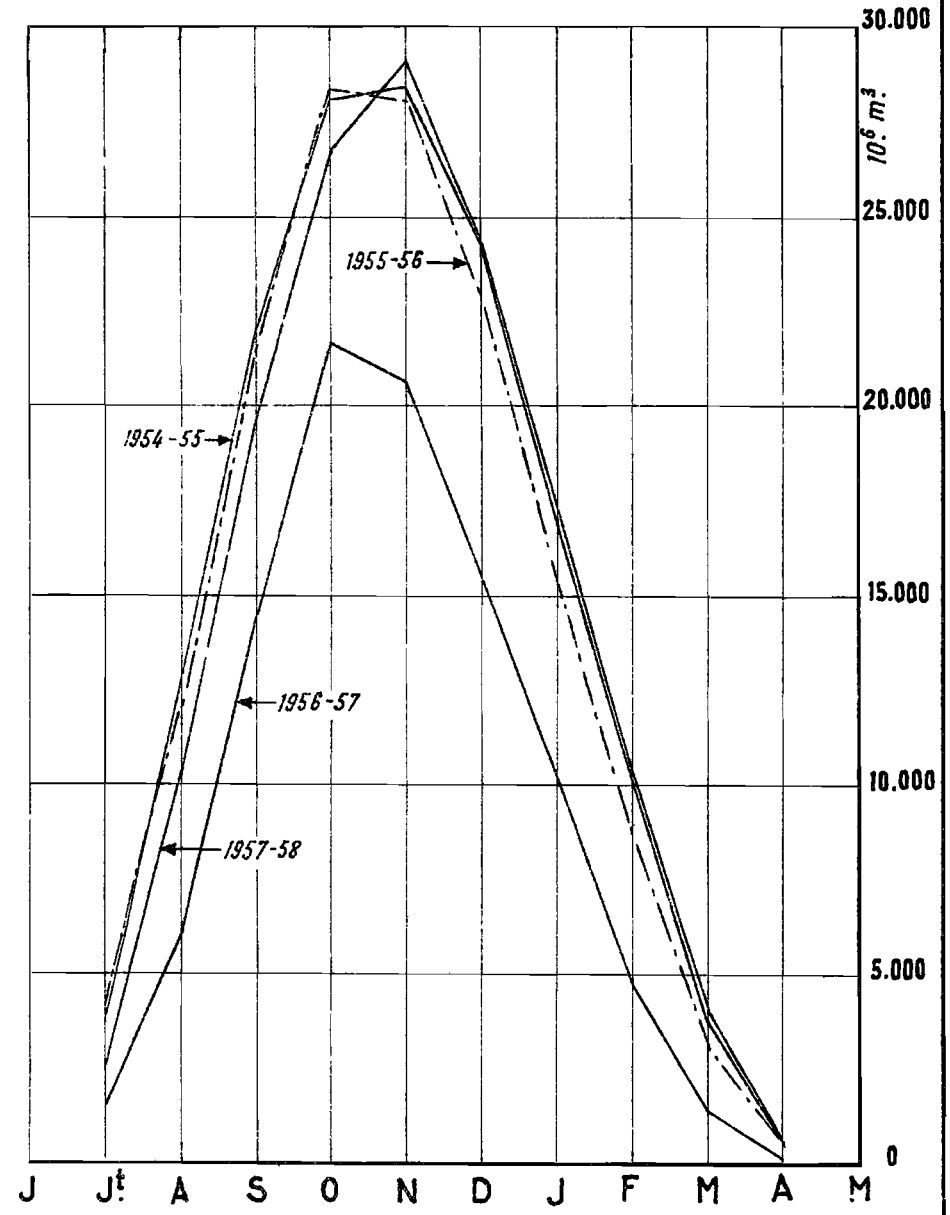
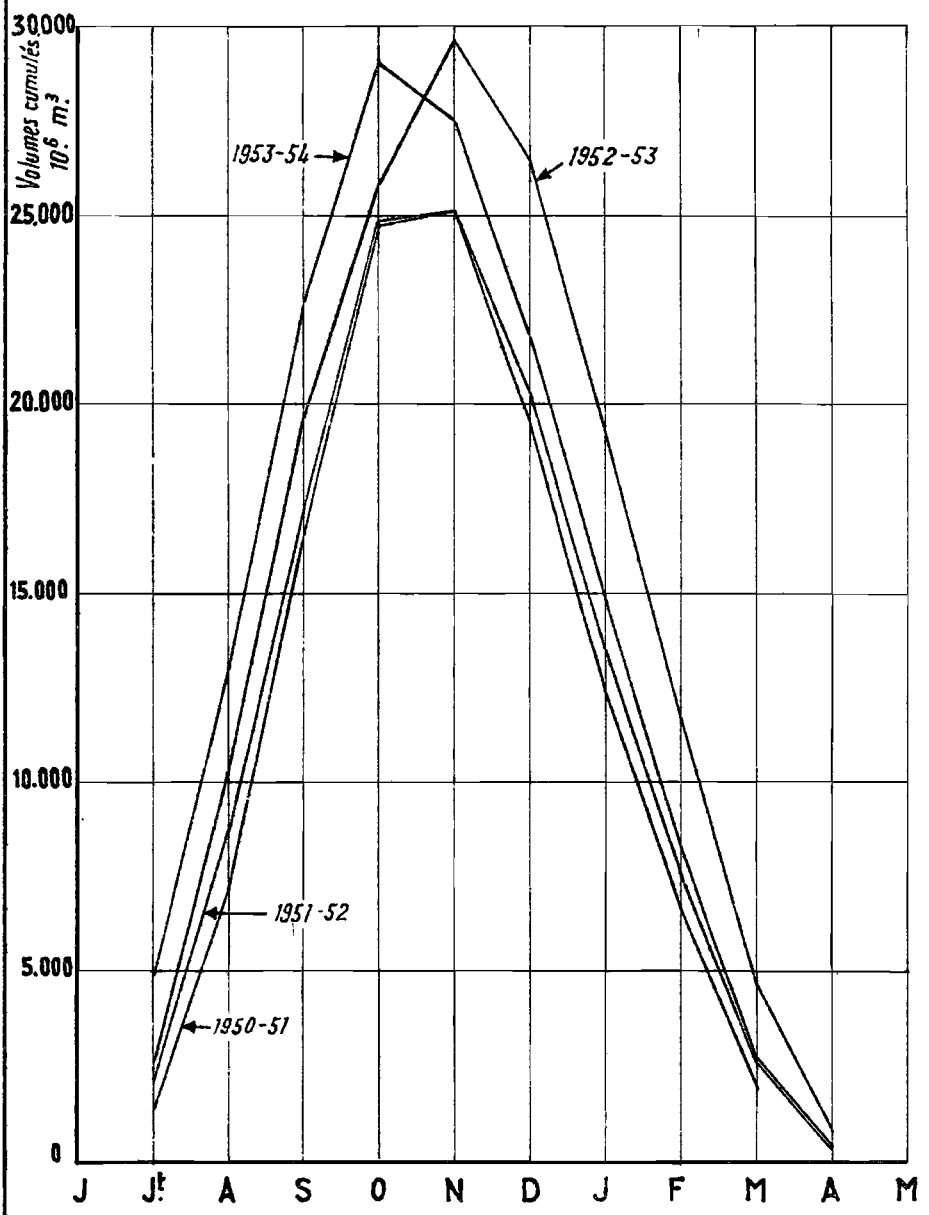
Le tableau suivant récapitule les conclusions de ce travail en donnant le volume des pertes globales annuelles et le volume maximal accumulé en milliards de m³.

Année	Volume entrant dans la cuvette	Volume maximal accumulé	Pertes en milliards de m ³	Volume sortant de la cuvette (à DIRE)
1950-51	58,2	25,1	20,7	37,5
51-52	75,6	29,8	29,4	46,2
52-53	61,3	25,1	18,5	42,8
53-54	70,1	27,6	24,1	46,2
54-55	76,7	28,5	27,5	49,2
55-56	71,6	28,1	23,9	47,7
56-57	50,5	20,7	16	34,5
57-58	70,7	29,1	24,5	46,2

MG. 10 307

Gr. 42

Courbes de remplissage de la Cuvette Lacustre _ 1950 - 58 _



Nous pouvons formuler quelques remarques déduites de ce tableau et du graphique des courbes de remplissage,

1°- Tout en restant inférieures au volume maximal accumulé, les pertes varient beaucoup plus d'une année à l'autre.

2°- Les courbes annuelles de remplissage sont sensiblement symétriques, la vidange étant légèrement plus lente.

3°- Pendant les trois mois de crue, Août, Septembre, Octobre, le remplissage s'effectue à débit presque constant. L'augmentation de la réserve se situe entre 8 et 9 milliards de m³ par mois (soit environ 3000 m³/s).

4°- Au voisinage du maximum, les variations d'apport sont très rapides, la courbe étant assez pointue. En deux mois, on passe de 2000 m³/s de remplissage à 2000 m³/s de vidange, les mois d'Octobre et Novembre étant en général très voisins quant au volume accumulé.

5°- Variations de la réserve maximale : (Graphique n°46)

Il existe une bonne correspondance graphique entre les réserves maximales lacustres et un indice d'hydraulicité simple constitué par la somme des modules à MOPTI et KOULIKORO.

La valeur médiane de cet indice se situe aux environs de 2630 (1545 + 1085) auquel correspond une réserve maximale d'environ 25 milliards de m³. Pour les indices forts, c'est-à-dire supérieurs à 3300, il semble que la réserve se stabilise à une valeur maximale comprise entre 29 et 30 milliards de m³.

Pour les valeurs inférieures de l'indice, il est difficile d'extrapoler, car il n'y a pas eu d'année nettement déficitaire entre 1950 et 1957. Néanmoins, on peut penser que lors de l'année 1913 (indice entre 1550 et 1600), la réserve devait être voisine de 15 milliards de m³.

Donc, en résumé, sur une période statistique sensiblement centenaire, la réserve maximale varierait entre 15 et 30 milliards de m³ avec une valeur moyenne excentrée voisine de 25 milliards de m³.

La valeur limite supérieure est due à l'action très forte de l'évapotranspiration sur les grosses capacités. Au delà de cette limite, les apports supplémentaires ne profitent plus à la constitution d'une réserve plus importante.

mais sont absorbés intégralement par l'atmosphère. En d'autres termes, au-delà d'une certaine réserve, l'abondance de la crue amont ne profite plus à la vallée du NIGER, à l'aval de la zone du delta.

6°- Variations des pertes :

C'est un bilan global que nous avons fait et il est évident que les pertes dont nous tenons compte sont des pertes totales, elles comprennent l'évapotranspiration, la croissance des végétaux, et l'infiltration. Le premier facteur reste largement l'élément essentiel.

En fonction du même indice d'hydraulicité, on remarque que la relation graphique est moins bonne que précédemment. Cependant, on trouve une forme très ascendante pour les forts indices. Au-delà de 3300, il semble que les pertes augmentent très rapidement.

La valeur moyenne des pertes se situerait aux environs de 18 milliards de m³. Elles varieraient entre 13 ou 14 pour les années très sèches (fréquence 1/100) et 25 à 30 milliards de m³ pour les fortes années, cette dernière valeur étant difficile à préciser.

TABLEAU N° 47

BILAN des APPORTS et des PERTES
Volumes mensuels et volumes cumulés (10⁶ m³)

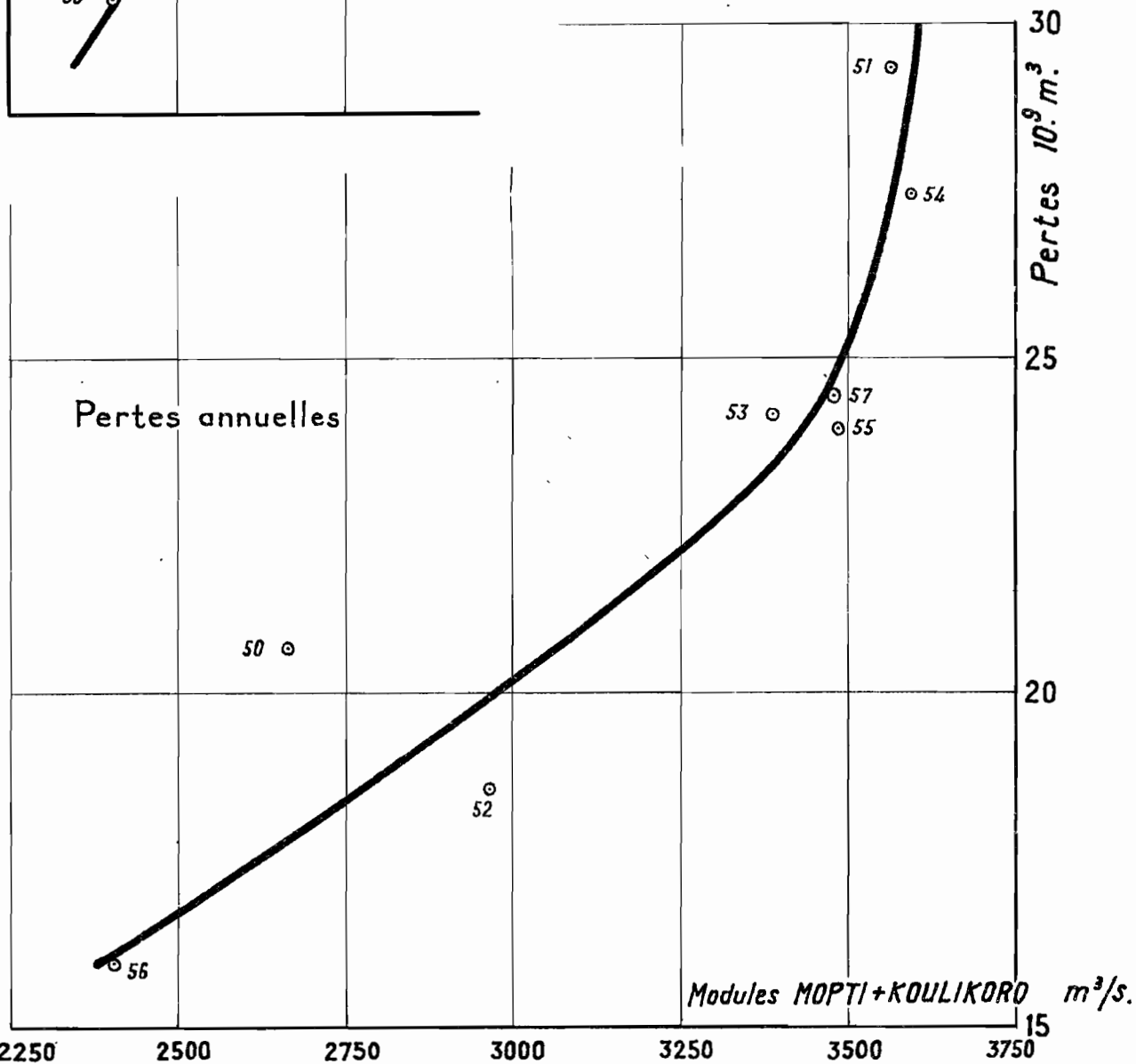
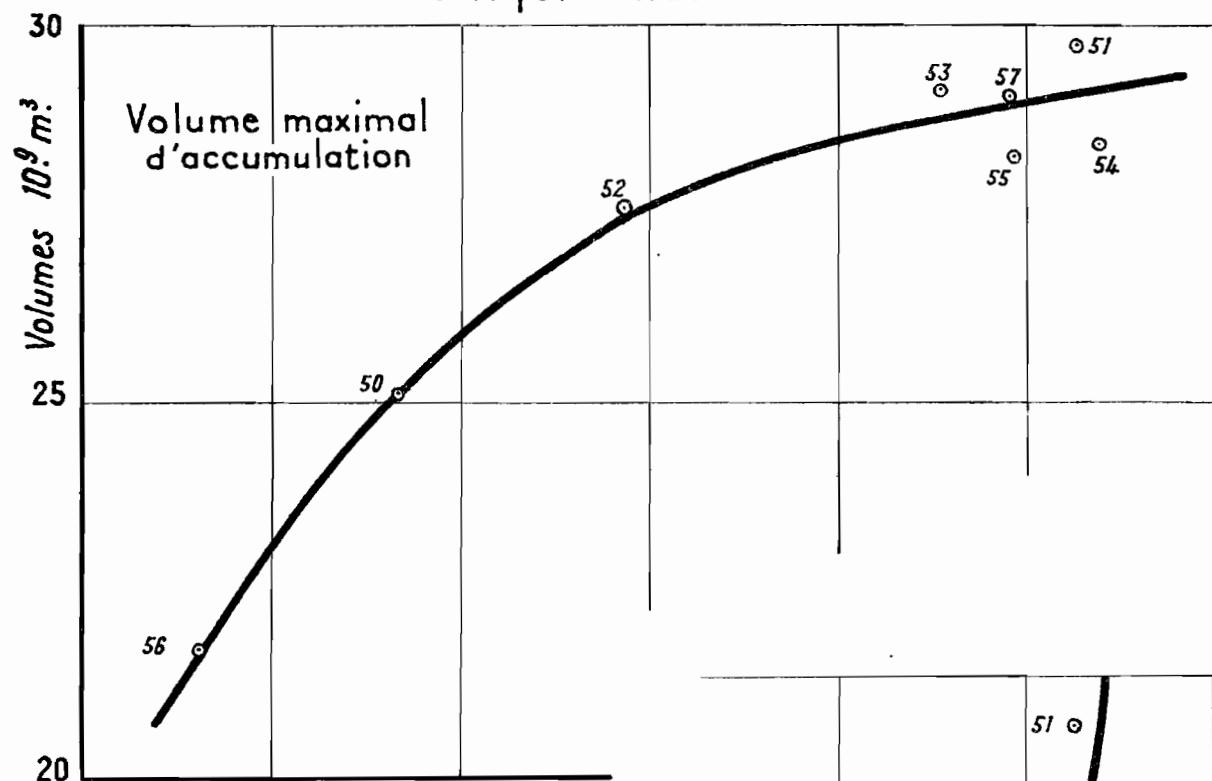
Années:	Données	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1950-51	Apports	48	1 415	5 910	10 320	11 140	4 380	- 2 121	- 4 100	- 3 230	- 2 378	- 774	70
	Apports cumulés	1	1 463	7 373	17 693	28 833	33 213	31 092	26 992	23 762	21 384	20 610	20 680
	Pertes cumulées	-	182	182	1 096	4 074	8 169	11 684	14 579	17 164	19 543	20 577	-
	Volumes réels cum.	-	1 281	7 191	16 597	24 759	25 044	19 408	12 413	6 598	1 841	033	-
1951-52	Apports	453	2 270	8 000	10 570	10 390	9 650	1 795	- 3 125	- 3 900	- 3 715	- 2 280	- 739
	Apports cumulés	2	2 723	10 723	21 293	31 683	41 333	43 128	40 003	36 103	32 388	30 108	29 369
	Pertes cumulées	-	258	258	1 557	5 786	11 601	16 593	20 705	24 376	27 754	29 222	-
	Volumes réels cum.	-	2 465	10 465	19 736	25 897	29 732	26 335	19 298	11 727	4 634	886	-
1952-53	Apports	192	2 112	6 465	9 310	10 415	3 895	- 1 648	- 4 285	- 3 530	- 2 885	- 1 380	- 153
	Apports cumulés	2	2 304	8 769	18 079	28 494	32 389	30 741	26 456	22 926	20 041	18 661	18 508
	Pertes cumulées	-	163	163	981	3 646	7 311	10 157	13 048	15 362	17 490	18 415	-
	Volumes réels cum.	-	2 141	8 606	17 098	24 848	25 078	20 284	13 108	7 564	2 551	246	-
1953-54	Apports	870	4 185	8 155	10 830	9 820	3 259	- 1 652	- 3 710	- 3 410	- 2 782	- 1 258	- 177
	Apports cumulés	5	5 055	13 210	24 040	33 860	37 119	35 467	31 757	28 347	25 562	24 307	24 130
	Pertes cumulées	-	212	212	1 279	4 754	9 531	13 633	17 012	20 028	22 803	24 009	-
	Volumes réels cum.	-	4 843	12 998	22 761	29 106	27 588	21 834	14 745	8 319	2 759	298	-

TABLEAU N° 47 (Suite)

Années	Données	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
1954-55	Apports	966	3 145	8 675	10 760	10 010	5 715	627	3 280	3 530	3 295	1 712	589
	Apports cumulés	4	111	12 786	23 546	33 556	39 271	39 898	36 618	33 088	29 793	28 081	27 492
	Pertes cumulées	-	242	242	1 457	5 416	10 859	15 533	19 382	22 813	25 980	27 355	-
	Volumes réels cum.	-	3 869	12 544	22 089	28 140	28 412	24 365	17 236	10 270	3 813	726	-
1955-56	Apports	598	3 710	7 950	10 410	10 430	4 455	1 170	4 115	3 700	2 878	1 418	343
	Apports cumulés	4	308	12 258	22 668	33 098	37 553	36 383	32 268	23 568	25 690	24 272	23 929
	Pertes cumulées	-	211	211	1 268	4 714	9 452	13 520	16 870	19 861	22 613	23 809	-
	Volumes réels cum.	-	4 097	12 047	21 400	28 384	28 101	22 853	15 398	8 707	3 077	463	-
1956-57	Apports	184	1 521	4 230	9 150	9 760	2 105	2 172	3 230	3 595	1 584	376	50
	Apports cumulés	1	705	5 935	15 085	24 845	26 950	24 778	21 498	17 903	16 319	15 943	15 983
	Pertes cumulées	-	141	141	847	3 149	6 313	9 030	11 268	13 266	15 104	15 903	-
	Volumes réels cum.	-	1 564	5 794	14 238	21 696	20 637	15 748	10 230	4 637	1 215	40	-
1957-58	Apports	334	2 380	7 730	10 575	10 635	7 060	520	3 900	3 885	3 660	1 827	468
	Apports cumulés	2	714	10 440	21 019	31 654	38 714	38 194	34 294	30 409	26 749	24 922	24 454
	Pertes	-	215	215	1 296	4 817	9 659	13 817	17 240	20 297	23 109	24 332	-
	Volumes réels cum.	-	2 499	10 225	19 723	26 737	29 055	24 377	17 054	10 112	3 640	590	-

Volumes accumulés et Pertes en fonction de l'Hydraulicité

Gr. 43



NIG. 10 308

C H A P I T R E IX

VOLUMES ECOULES ANNUELS par CYCLES HYDROLOGIQUES

A - GENERALITES -

Nous nous proposons, dans ce Chapitre, de comparer d'une station à l'autre, les volumes écoulés pendant la durée d'une année et concernant les cycles hydrologiques complets.

Compte tenu des délais de propagation de la crue, depuis l'amont jusqu'à l'aval de la cuvette deltaïque, il était impossible d'employer les limites de l'année calendaire (1er Janvier - 31 Décembre). Les comparaisons auraient été fausses puisqu'une telle période se trouve à cheval sur deux cycles hydrologiques.

En effet, à KOULIKORO, la fin de l'année calendaire trouve le cycle normal en pleine décrue (à mi-décru sensiblement dans le temps, mais pratiquement en fin de cycle pour ce qui concerne les volumes écoulés), alors que cette même date est l'époque du passage de l'onde maximale à DIRE. Dans cette dernière station, un partage calendaire aboutirait donc à raisonner sur deux moitiés de cycles consécutifs, en associant une décrue avec la crue du cycle suivant.

Il fallait que chaque crue, au contraire, conserve son interprétation propre et puisse être suivie de l'amont vers l'aval.

Nous avons donc été amenés à utiliser des périodes annuelles pour chaque cycle présentant de l'amont vers l'aval, un décalage permettant d'englober la totalité du cycle.

Ainsi, nous avons adopté la période Mai - Avril pour KOULIKORO, Juin - Mai pour TILEMBEYA, KARA et MOPTI, et Juillet - Juin pour DIRE.

Pour être absolument rigoureux, il aurait fallu adopter pour chaque cycle des périodes différentes en dates et même en durée car, pour une même station, les étiages absolus ne sont évidemment pas séparés par un nombre de jours égal exactement à 365. Il peut donc se produire que quelques jours d'extrême début de montée se trouvent englobés dans le cycle précédent; mais si l'on considère que les débits mis ainsi en jeu sont très faibles, puisque voisins de l'étiage absolu, on peut admettre que les erreurs entraînées dans l'évaluation des volumes totaux annuels sont ridiculement faibles et ne justifient aucunement la moindre complication de découpage des périodes affectées à chaque cycle.

Voir le Tableau n° 48 des volumes annuels écoulés en milliards de m³, ci-joint.

Dans ce tableau, certaines valeurs découlent directement des relevés originaux, d'autres proviennent de comparaisons avec des stations voisines disparues maintenant (DIAMARABOUGOU pour KIRANGO et DIAFARABE pour TILEMBEYA), ou de déductions graphiques en partant de stations ou voisines ou amont (KARA pour TILEMBEYA, DOUNA pour SOFARA).

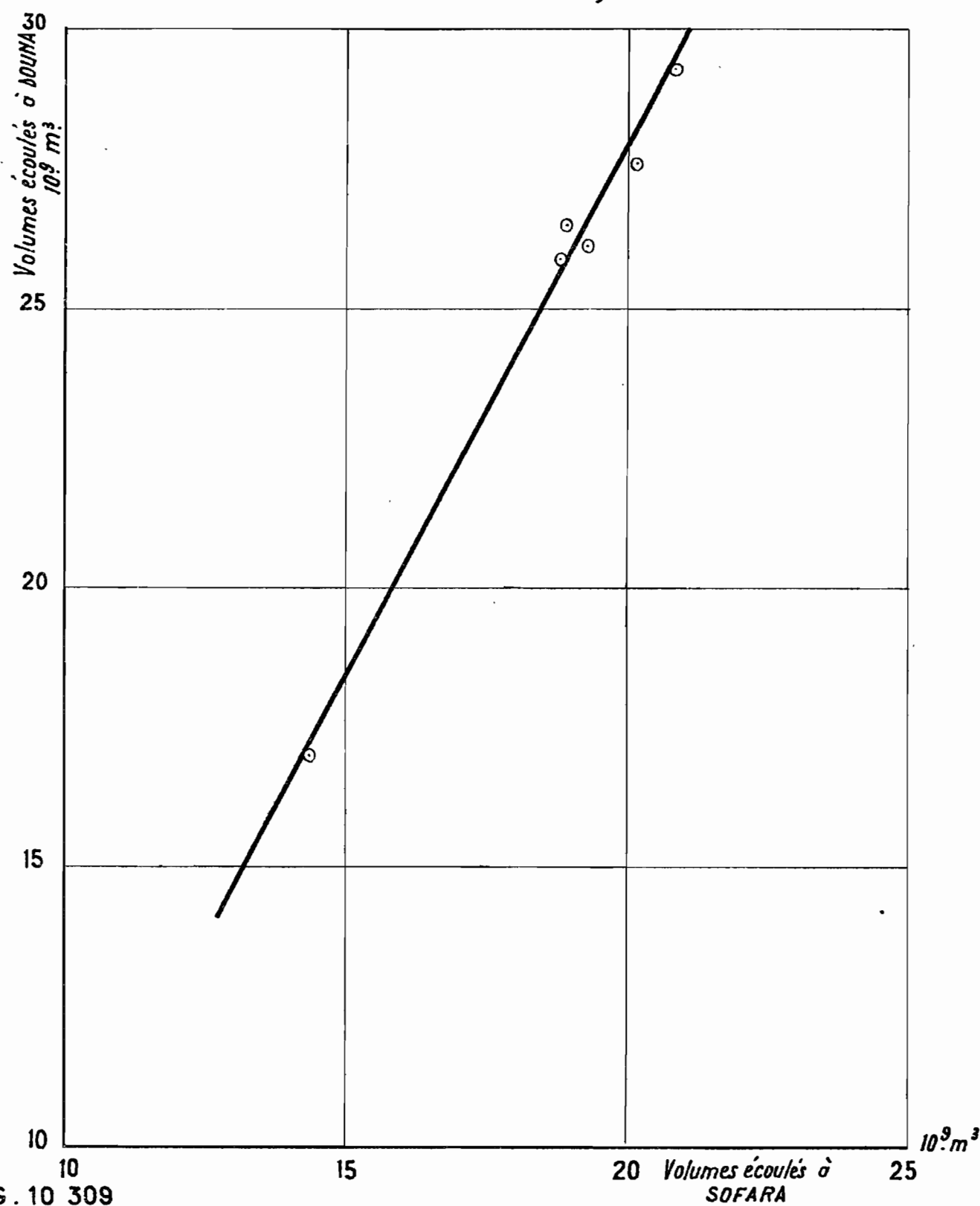
- | | |
|--|--|
| KIRANGO | - De 1926 à 1939 - Déduits des relevés de l'ancienne station de DIAMARABOUGOU. |
| TILEMBEYA | - De 1922 à 1928 - Déduits des relevés de l'ancienne station de DIAFARABE, après corrections.

De 1929 à 1939 - Déduits de la corrélation avec KOULIKORO. |
| KARA | - De 1939 à 1951 - Déduits des relevés de la station de TILEMBEYA.

De 1924 à 1928 - Déduits de la formule liant les volumes annuels écoulés à TILEMBEYA et à KARA. |
| $V_{KARA} = 0,50 V_{TILEMBEYA}$ en milliards de m ³ | |
| DOUNA | - De 1922 à 1932 - Anciens relevés revalorisés. |
| SOFARA | - De 1922 à 1932 et 1950 à 1952 - Déduits des volumes écoulés à DOUNA par correspondance graphique établie en s'appuyant sur les données sûres de 1952 à 1958 (Graphique n° 44). |

. BANI .

Correspondance entre les volumes annuels écoulés
à DOUNA et SOFARA
(de 1952 à 1958.)



1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100 101 102 103 104 105 106 107 108 109 110 111 112 113 114 115 116 117 118 119 120 121 122 123 124 125 126 127 128 129 130 131 132 133 134 135 136 137 138 139 140 141 142 143 144 145 146 147 148 149 150 151 152 153 154 155 156 157 158 159 160 161 162 163 164 165 166 167 168 169 170 171 172 173 174 175 176 177 178 179 180 181 182 183 184 185 186 187 188 189 190 191 192 193 194 195 196 197 198 199 200 201 202 203 204 205 206 207 208 209 210 211 212 213 214 215 216 217 218 219 220 221 222 223 224 225 226 227 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237 238 239 240 241 242 243 244 245 246 247 248 249 250 251 252 253 254 255 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265 266 267 268 269 270 271 272 273 274 275 276 277 278 279 280 281 282 283 284 285 286 287 288 289 290 291 292 293 294 295 296 297 298 299 300 301 302 303 304 305 306 307 308 309 310 311 312 313 314 315 316 317 318 319 320 321 322 323 324 325 326 327 328 329 330 331 332 333 334 335 336 337 338 339 340 341 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351 352 353 354 355 356 357 358 359 360 361 362 363 364 365 366 367 368 369 370 371 372 373 374 375 376 377 378 379 380 381 382 383 384 385 386 387 388 389 390 391 392 393 394 395 396 397 398 399 400 401 402 403 404 405 406 407 408 409 410 411 412 413 414 415 416 417 418 419 420 421 422 423 424 425 426 427 428 429 430 431 432 433 434 435 436 437 438 439 440 441 442 443 444 445 446 447 448 449 450 451 452 453 454 455 456 457 458 459 460 461 462 463 464 465 466 467 468 469 470 471 472 473 474 475 476 477 478 479 480 481 482 483 484 485 486 487 488 489 490 491 492 493 494 495 496 497 498 499 500 501 502 503 504 505 506 507 508 509 510 511 512 513 514 515 516 517 518 519 520 521 522 523 524 525 526 527 528 529 530 531 532 533 534 535 536 537 538 539 540 541 542 543 544 545 546 547 548 549 550 551 552 553 554 555 556 557 558 559 560 561 562 563 564 565 566 567 568 569 570 571 572 573 574 575 576 577 578 579 580 581 582 583 584 585 586 587 588 589 590 591 592 593 594 595 596 597 598 599 600 601 602 603 604 605 606 607 608 609 610 611 612 613 614 615 616 617 618 619 620 621 622 623 624 625 626 627 628 629 630 631 632 633 634 635 636 637 638 639 640 641 642 643 644 645 646 647 648 649 650 651 652 653 654 655 656 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666 667 668 669 670 671 672 673 674 675 676 677 678 679 680 681 682 683 684 685 686 687 688 689 690 691 692 693 694 695 696 697 698 699 700 701 702 703 704 705 706 707 708 709 710 711 712 713 714 715 716 717 718 719 720 721 722 723 724 725 726 727 728 729 730 731 732 733 734 735 736 737 738 739 740 741 742 743 744 745 746 747 748 749 750 751 752 753 754 755 756 757 758 759 760 761 762 763 764 765 766 767 768 769 770 771 772 773 774 775 776 777 778 779 780 781 782 783 784 785 786 787 788 789 790 791 792 793 794 795 796 797 798 799 800 801 802 803 804 805 806 807 808 809 810 811 812 813 814 815 816 817 818 819 820 821 822 823 824 825 826 827 828 829 830 831 832 833 834 835 836 837 838 839 840 841 842 843 844 845 846 847 848 849 850 851 852 853 854 855 856 857 858 859 860 861 862 863 864 865 866 867 868 869 870 871 872 873 874 875 876 877 878 879 880 881 882 883 884 885 886 887 888 889 890 891 892 893 894 895 896 897 898 899 900 901 902 903 904 905 906 907 908 909 910 911 912 913 914 915 916 917 918 919 920 921 922 923 924 925 926 927 928 929 930 931 932 933 934 935 936 937 938 939 940 941 942 943 944 945 946 947 948 949 950 951 952 953 954 955 956 957 958 959 960 961 962 963 964 965 966 967 968 969 970 971 972 973 974 975 976 977 978 979 980 981 982 983 984 985 986 987 988 989 990 991 992 993 994 995 996 997 998 999 1000 1001 1002 1003 1004 1005 1006 1007 1008 1009 1010 1011 1012 1013 1014 1015 1016 1017 1018 1019 1020 1021 1022 1023 1024 1025 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033 1034 1035 1036 1037 1038 1039 104

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

TABLEAU N° 48 (Suite)

Année	KOULI-KIRAN	KE-MA	TILEM	KARA	MOPTI	DIRE	DOUNA	BENENY	SOFARA
	KORO	GO	CINA	BEYA					
1948-49	53,1			32,6	16,3	30,8	32,6		
49-50	43,6			26,8	13,3	29,4	30,0		
50-51	47,8	44,1		30,2	15,2	36,1	37,5	21,7	
51-52	67,3	61,7		39,2	(19,6)	45,0	46,2	25,9	24,3
52-53	51,6	48,0	46,4	32,3	15,9	41,8	42,8	25,9	25,8
53-54	62,6	57,1	54,7	37,2	18,5	44,2	46,2	26,5	24,6
54-55	65,9	60,7	59,0	40,5	20,4	47,4	49,2	29,3	25,4
55-56	64,7	59,4	56,8	38,2	19,1	45,2	47,7	27,6	25,2
56-57	42,7	39,3	39,1	26,8	13,0	33,2	34,5	17,0	16,5
57-58	66,2	60,0	56,7	37,9	18,5	43,5	46,2	26,2	24,3

N.B. Les volumes entre parenthèses sont des estimations.

Toutes ces déductions et estimations de débits ont déjà été expliquées en détail, soit dans la troisième partie de cette Monographie de la Cuvette Lacustre relative aux Données Hydrologiques, soit au début de la quatrième partie lors de l'étude du régime aux stations incriminées.

B - COMPARAISON des VOLUMES ECOULES à DIRE avec ceux des STATIONS AMONT -

**B - 1 - Comparaison des volumes écoulés à KOULIKORO et à DIRE
(Graphique n°45)**

La correspondance est très lâche et ne permet pas de déductions précises sur les volumes à DIRE. Il fallait s'y attendre puisqu'aucun facteur de cette comparaison ne tient compte de l'hydraulicité du BANI dont l'influence intervient pour le $\frac{1}{3}$ des débits à l'aval de MOPTI. Or, l'hydraulicité du BANI, du fait de la position de son Bassin, peut être différente de celle du NIGER.

(Exemple de l'année 1926 - 1927 ayant une hydraulicité du NIGER supérieure à la moyenne avec 53,1 milliards de m^3 à KOULIKORO et une hydraulicité du BANI relativement faible avec 12,8 milliards de m^3 à DOUNA).

Très grossièrement, on remarque une correspondance linéaire, la pente de cette droite indique que la croissance des volumes annuels débités aux deux stations est dans le rapport de 10 pour KOULIKORO et 6 pour DIRE.

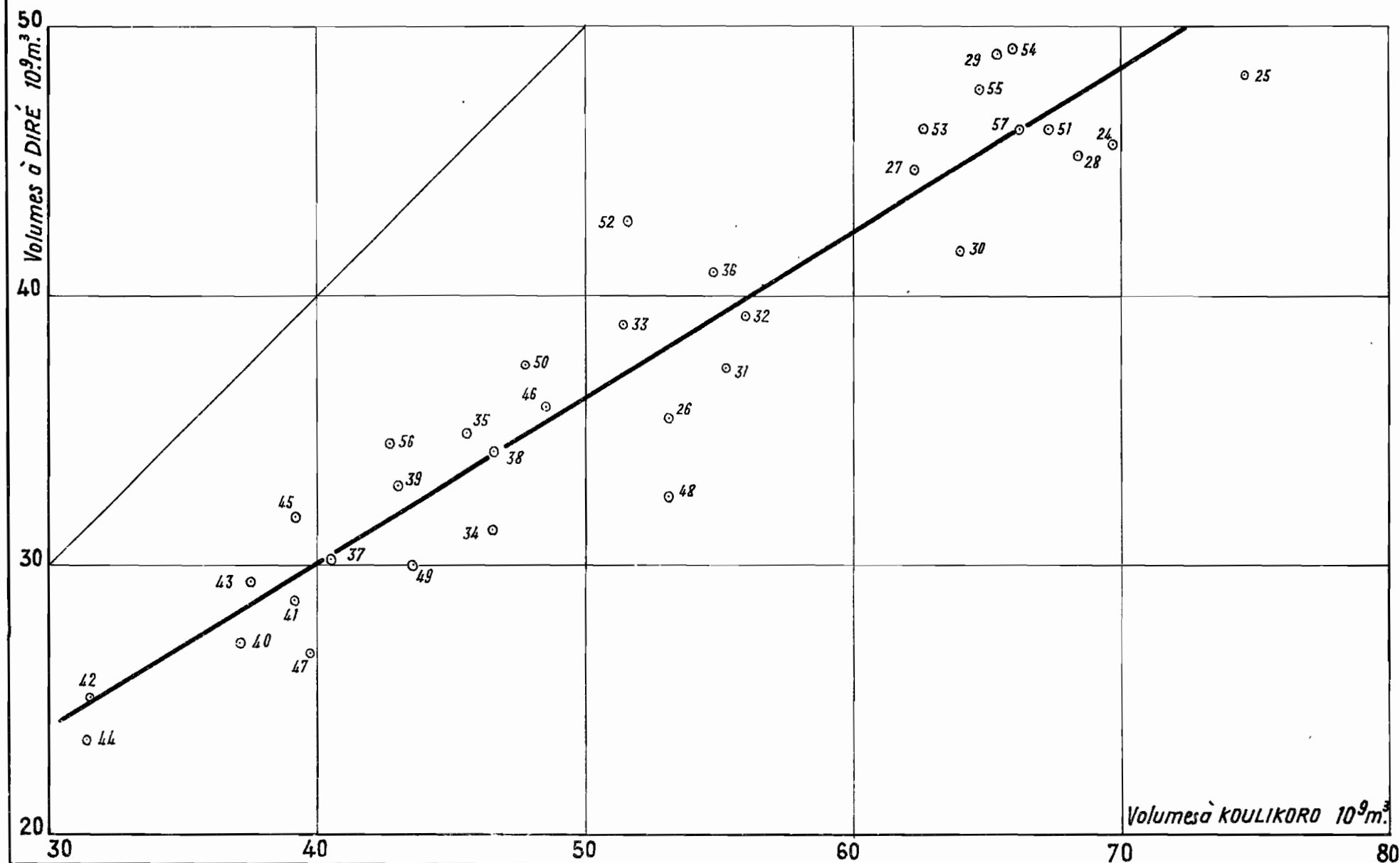
En fait, raisonnablement, il faut s'attendre à des pertes lacustres croissant plus que proportionnellement par rapport aux forts volumes écoulés à KOULIKORO.

B - 2 - Comparaison des volumes écoulés à KOULIKORO et MOPTI Aval (Graphique n° 46).

La correspondance est très lâche du fait que les hydraulicités du NIGER et du BANI ne sont pas liées étroitement. Il peut, en effet, y avoir des différences sensibles entre la pluviosité sur les deux bassins.

La relation semble linéaire, abstraction faite d'un accroissement des pertes pour les forts volumes, comme d'ailleurs entre KOULIKORO et DIRE. La croissance des volumes annuels entre les deux stations se fait aussi dans le rapport de 10 à 6.

Comparaison des volumes écoulés à KOULIKORO et DIRÉ



NIG 10 - 311

ED:

LE: *un. mens.*

DES: *un. heb.*

VISA:

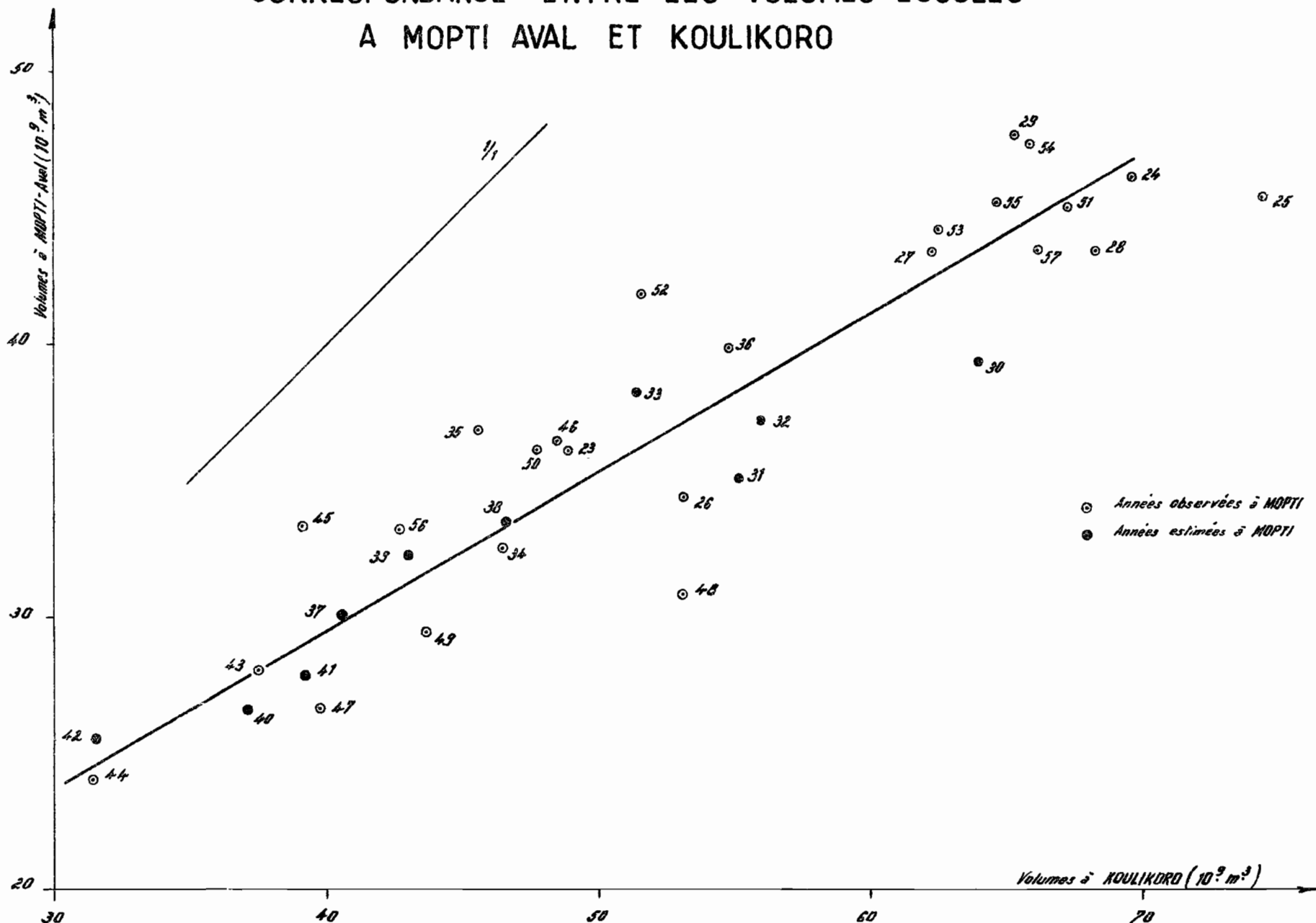
TUBE N°:

A 1

ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

CORRESPONDANCE ENTRE LES VOLUMES ÉCOULÉS A MOPTI AVAL ET KOULIKORO

Gr. 46



B - 3 - Comparaison entre les volumes écoulés à MOPTI aval et à DIRE (Graphique n° 47).

La correspondance est meilleure que les deux précédentes. La loi semble également linéaire.

On peut en déduire que l'influence du BANI est importante dans l'alimentation de la cuvette lacustre.

Cette correspondance peut permettre, en partant de la crue de MOPTI, de déterminer l'abondance de la crue de DIRE et par là-même, la cote maximale à prévoir à cette station.

Cette relation est la même, sous une autre forme, que celle entre les modules à MOPTI et DIRE, évoquée au Chapitre VII (Graphique n° 35).

On constate que les volumes écoulés à DIRE sont, 7 années mises à part, en général supérieurs à ceux passant à MOPTI. L'excédent, presque nul pour les années déficitaires, croît avec l'hydraulicité, de telle sorte que la relation linéaire entre les volumes aux deux stations peut se mettre sous la forme :

$$\text{Volume DIRE} = 1,09 \text{ Volume MOPTI} - 2,3.10^9 \text{ m}^3$$

B - 4 - Comparaison entre les volumes écoulés à DIRE et la somme des volumes écoulés à MOPTI aval et KARA

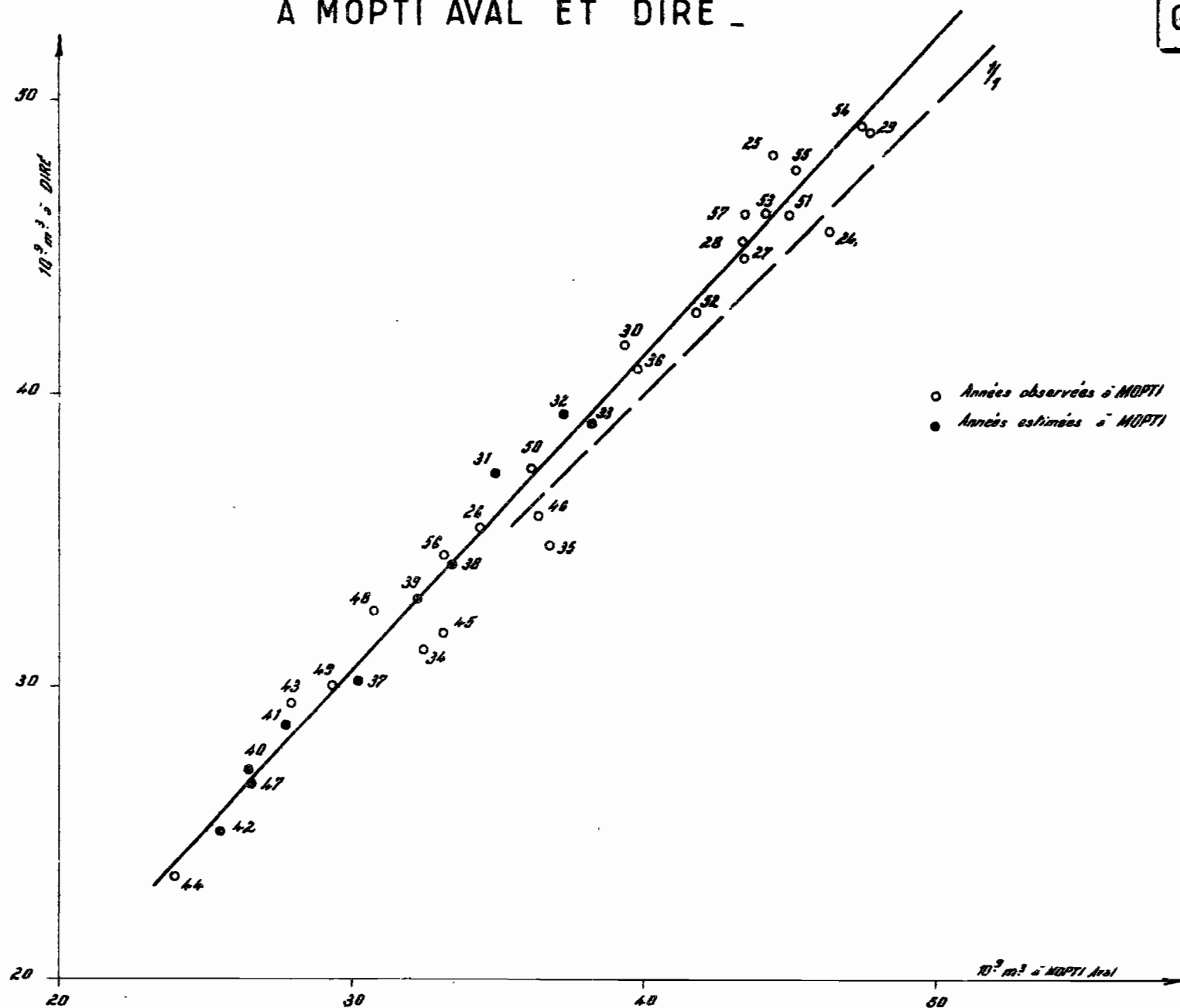
La somme des volumes écoulés à MOPTI aval et à KARA (DIAKA) peut être considérée comme un indice convenable caractérisant, d'une part, l'apport du BANI (MOPTI aval) et, d'autre part, l'apport du NIGER (DIAKA).

Rappelons-nous que dans le Chapitre VII, relatif au régime à DIRE, la meilleure correspondance entre modules était $D = f(2M + T)$ qui est le même que $D = M + k$, puisque $k = T/2$, au coefficient 2 près évidemment.

Le graphique n° 48 du report des points met en évidence un fait curieux. Les points correspondant aux années récentes (1950 à 1957, sauf 1951-1952), se rangent fort bien sur une droite. Les points plus anciens, mise à part l'année hydrologique 1925-1926, se rangent correctement sur une autre droite de même pente que la première, mais décalée vers le bas d'environ 2 milliards de m^3 pour DIRE.

CORRESPONDANCE ENTRE LES VOLUMES ÉCOULÉS A MOPTI AVAL ET DIRÉ _

Gr. 47



NIG 10 312

ED:

LE: Mr. H. MCHALI

DES: J. P. HODDIA

VISA:

TUBE N°:

A1

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

Ces deux droites répondent d'ailleurs aux équations

$$V_D = 0,74 (V_M + V_K) - 2,2.10^9 \text{ m}^3$$

pour les années antérieures à 1950, et

$$V_D = 0,74 (V_M + V_K) - 0,2.10^9 \text{ m}^3$$

pour les années postérieures à 1950.

On peut être tenté d'attribuer ce décrochement à une erreur de calage d'échelle.

Etudions les différentes possibilités :

a) Erreur sur le calage de l'échelle de TILEMBEYA :

L'échelle de TILEMBEYA a effectivement été réinstallée en Mai 1949, mais un procès-verbal de l'époque atteste que ce transport a été exécuté conformément aux instructions prescrites comportant notamment un calage rigoureux de l'ancienne échelle sur la nouvelle.

De plus, si l'on veut confondre les deux droites en ne jouant que sur les cotes anciennes de TILEMBEYA, le décalage de 4 milliards de m³ environ conduirait à une diminution relative des volumes à KARA absolument inacceptable (20 à 25 %). Nous nous serions aperçu, par ailleurs, d'une telle incohérence, ne serait-ce qu'en comparant les cotes maximales annuelles.

b) Erreur de calage sur l'échelle de MOPTI :

L'échelle de MOPTI a, elle aussi, été refaite entièrement en 1949. Le procès-verbal n° 6/ACN du 13 Septembre 1949 est formel en ce qui concerne le calage de la nouvelle échelle sur le même zéro que l'ancienne.

c) Erreur de calage sur l'échelle de DIRE :

Echelle refaite également en 1949, Le procès-verbal n° 8/ACN du 15 Septembre 1949 écarte également formellement toute possibilité d'erreur dans le calage.

Le rapprochement des deux droites exigerait une correction de 3 à 6 % sur les volumes anciens écoulés à DIRE, soit approximativement une correction de 0,10 m à 0,15 m sur les observations limnimétriques.

Cet écart trop important est également inacceptable.

NIG 10 313

ED:

LE: M. B. MOUTRI

DES: J. P. MOUTRI

VISA:

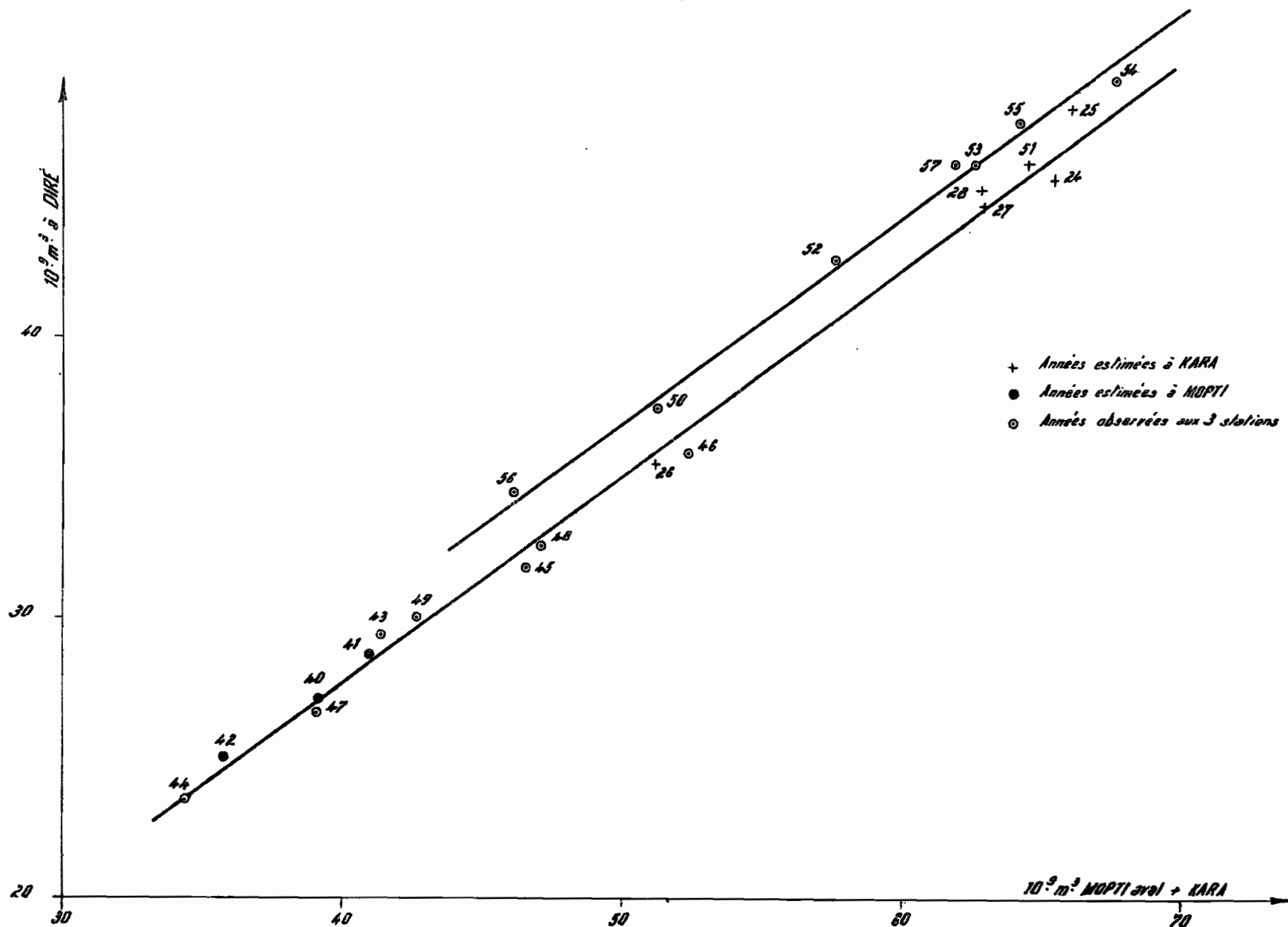
TUBE N°:

A1

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

COMPARAISON DES VOLUMES ÉCOULÉS A DIRÉ ET A MOPTI AVAL PLUS KARA

Gr. 48



d) Erreur sur plusieurs de ces trois échelles :

Il faudrait alors admettre que les décalages auraient eu lieu fortuitement en sens inverse, ce qui semble improbable.

Il reste donc à conclure que malgré l'heureuse disposition des points, il ne s'agit là que d'une coïncidence. Il sera intéressant de vérifier si les points représentatifs des années postérieures à 1957 se rangent correctement sur la courbe supérieure.

Cependant, une hypothèse vraisemblable, déjà évoquée dans cette Monographie, pourrait expliquer de manière séduisante cet accroissement des volumes écoulés à DIRE d'environ 2 milliards de m³, depuis 1950. Il s'agit du creusement du lit du NIGER par érosion régressive depuis le seuil de TOSSAYE, creusement qui entraînerait un accroissement des débits drainés par le NIGER en aval de la cuvette.

Une conclusion rassurante peut être tirée de cette corrélation : de 1922 à 1928, les volumes à KARA sont déduits de ceux de la station de TILÉMBEYA, eux-mêmes revalorisés d'après les relevés de l'ancienne station de DIAFARABE, il est facile de constater qu'ils sont homogènes avec les relevés de TILÉMBEYA de 1939 à 1951.

C - PERTES ANNUELLES dans le DELTA NIGERIEEN en AMONT de MOPTI -

Dans le Chapitre relatif au remplissage d'une partie de la cuvette lacustre, nous avons défini ainsi son alimentation :

- Débits à l'aval de MOPTI
- Débits du DIAKA à KARA
- Débits de déversements sur la rive gauche du NIGER entre TILÉMBEYA et MOPTI.

En fait, les déversements et les inondations commencent bien avant, mais nous cherchions surtout à saisir les variations dans le temps des débits instantanés totaux entrant dans la cuvette ainsi définie, comparés aux débits qui en sortaient à DIRE.

Ce procédé nous a permis d'étudier la variation de l'accumulation (avec valeur maximale et date), ainsi que les pertes dans la portion du delta située au Nord de l'axe TILÉMBEYA-MOPTI et au Sud de DIRE.

Cette zone importante représente la plus grande partie de la cuvette Nigérienne et la caractérise réellement avec ses grands lacs, les émissaires et les écoulements latéraux, sur de grandes distances, vers l'arrière pays en contrebas.

Notons encore que malgré la pente transversale, ce sont les phénomènes d'évaporation et d'infiltration qui limitent ces écoulements. En forte crue, l'eau du NIGER parvient jusqu'à la piste KOGONI-NIAFUNKE, aux environs de LERE, il est bien évident que le cheminement des eaux dans les bas-fonds plus argileux, mais encore très sableux, ne peut se faire qu'au prix d'une forte perte de charge qui en limite la progression.

Il existe d'autres régions en amont où, sans avoir cette ampleur, les écoulements latéraux et les débordements n'en sont pas moins développés. Ce sont :

1) La rive gauche du NIGER entre MARKALA et DIAFARABE -

C'est au détriment de cette partie du cours du fleuve que s'alimente toute la zone d'action de l'Office du NIGER et les inondations des plaines du MACINA.

Les pertes en volume entre KOULIKORO et KE-MACINA atteignent 3 à 3,5 milliards de m³ en année moyenne et 7 à 9 milliards en année à très forte hydraulité.

2) La mésopotamie NIGER-BANI -

Cette région est limitée grossièrement par le NIGER, le BANI et l'axe BENENY-KEGNY - KE-MACINA. Sa surface totale est de l'ordre de 7000 km². Les fractions inondables augmentent vers la pointe Nord-Est du triangle (MOPTI).

Dans le triangle réduit MOPTI-SOFARA-KOUAKOUROU, l'inondation est pratiquement totale pendant la période de crues communes du NIGER et du BANI.

Si l'on compare un faisceau de limnigrammes du BANI à DOUNA, BENENY et SOFARA, avec le faisceau correspondant des limnigrammes du NIGER à KOULIKORO-MACINA et TILMBEYA, on constate que le niveau moyen des bourrelets de rives est plus bas sur le BANI, ce qui signifie que les débordements y apparaissent plus tôt lors de la montée des eaux.

Toutes ces considérations posent le problème de la répartition des apports respectifs du NIGER et du BANI dans l'alimentation de la mésopotamie NIGER-BANI.

Nous ne connaissons malheureusement pas l'hydro-métrie des drains et des émissaires reliant NIGER et BANI à travers la plaine d'inondation.

Les facteurs déterminants sont les cotes respectives instantanées des eaux du NIGER et du BANI pendant le déroulement du cycle hydrologique et, d'autre part, la pente naturelle de la mésopotamie.

Nous avons groupé dans un tableau (n° 49) les cotes I.G.N. du NIGER et du BANI, de mois en mois, pendant les crues 1954-1955 (Année abondante) et 1956-1957 (crue moyenne).

Si nous admettons l'existence de la mésopotamie, plane et sensiblement horizontale et si l'étude comparative des cotes instantanées se conduit proportionnellement aux distances le long du NIGER et du BANI en partant de la confluence à MOPTI, il semble alors que les volumes prélevés respectivement au NIGER et au BANI, destinés à l'inondation de la mésopotamie, soient sensiblement du même ordre de grandeur, puisque les cotes à date donnée et ainsi définies s'équilibrent sensiblement.

Mais, si nous admettons une pente générale de la mésopotamie dirigée en gros vers le Nord, ainsi qu'il en est pour la partie du Delta située sur la rive gauche du NIGER entre TILÉMBEYA et MOPTI, alors les cotes du BANI l'emportent et un lent cheminement des eaux du BANI vers le NIGER devient possible.

Cette seconde hypothèse est renforcée par plusieurs arguments :

a) Les cotes indiquées sur la carte I.G.N. au 1/200.000^e ont une précision de l'ordre du mètre et ne permettent pas de tirer des conclusions précises sur la topographie de la mésopotamie. Néanmoins, si, en s'appuyant sur ces cotes telles qu'elles sont, on tente de tracer grossièrement les courbes de niveau 266, 269, 270, 271, elles se présentent sensiblement horizontales ce qui laisse à penser que la direction de plus grande pente du terrain est bien celle du Nord-Nord-Est.

TABLEAU N° 49

COTES INSTANTANÉES I.G.N. du PLAN D'EAU
du NIGER et du BANI
(en mètres)

Dates	MOPTI Z = 260.59	TILEMBEYA Z = 266.82	BENENY Z = 265.92	SOFARA Z = 262.76	TIL. + MOP. 2 N	BEN. + SOF. 2 B	Différences $\Delta H = B - N$
1-6-1956	261.89	267.38	266.60	263.33	264.63	264.96	0.33
1-7-1956	262.51	267.45	266.71	263.46	264.98	265.08	0.10
1-8-1956	264.04	269.67	267.48	264.33	266.85	265.90	- 0.95
1-9-1956	265.98	271.67	272.08	267.88	268.82	269.98	1.16
1-10-1956	267.04	272.67	273.51	269.05	269.85	271.28	1.43
1-11-1956	267.45	271.54	272.74	269.21	269.50	270.97	1.47
1-12-1956	266.90	269.70	270.19	268.28	268.30	269.23	0.93
1-1-1957	264.98	268.58	268.20	266.00	266.78	267.10	0.32
1-2-1957	263.55	267.79	267.57	264.72	265.67	266.15	0.48
1-3-1957	262.59	267.52	267.16	264.08	265.05	265.62	0.57
1-4-1957	261.87	267.15	266.77	263.56	264.51	265.16	0.65
1-5-1957	261.62	267.10	266.63	263.27	264.36	264.95	0.59
1-6-1954	262.16	267.68	266.52	263.35	264.92	264.93	0.01
1-7-1954	263.39	268.63	267.03	263.95	266.01	265.49	- 0.52
1-8-1954	265.34	271.14	268.40	266.42	268.24	267.41	- 0.83
1-9-1954	266.85	272.60	272.94	268.97	269.72	270.95	1.23
1-10-1954	267.45	272.74	273.38	269.55	270.10	271.46	1.36
1-11-1954	267.87	272.61	273.98	269.79	270.24	271.88	1.64
1-12-1954	267.67	271.44	272.49	269.40	269.55	270.95	1.40
1-1-1955	266.87	269.38	269.61	268.07	268.12	268.84	0.72
1-2-1955	264.99	268.53	268.25	266.00	266.76	267.12	0.36
1-3-1955	263.75	268.00	267.66	264.88	265.87	266.27	0.40
1-4-1955	262.88	267.75	267.26	264.24	265.32	265.75	0.43
1-5-1955	262.34	267.56	266.87	263.70	264.95	265.28	0.33

b) La direction générale des émissaires est effectivement Nord-Nord-Est (Marigot de DIAMBOU, aboutissant à KOUAKOUROU qui porte le nom de SOUMAN-BANI, au-delà de DJENNE, Marigot de KONGUENE, aboutissant également à KOUAKOUROU, Marigot de SOYE, bras du BANI, alimentant largement la fraction Nord du triangle mésopotamien.

c) En s'appuyant sur cette tendance générale de l'écoulement, nous sommes amenés à comparer les cotes instantanées du BANI à celles de points d'aboutissement homologues du NIGER, c'est-à-dire :

- Cote DJENNE évaluée comme $1/2$ (Cote BENENY + Cote SOFARA),
- Cote KOUAKOUROU évaluée comme $1/2$ (Cote TILEMBEYA + Cote MOPTI).

Sur le tableau n° 49 des cotes superficielles instantanées de mois en mois, on constate alors que la différence de charge est nettement en faveur du BANI (1,40 m à 1,60 m aux mois d'Octobre et Novembre), ce qui suffit à expliquer un vaste écoulement BANI vers NIGER, commençant dès le mois de Septembre et s'étendant dans le temps jusqu'au retour du BANI dans son lit mineur.

Une telle différence permet une pente d'écoulement de 1 cm/km environ et l'acheminement d'un volume d'eau appréciable, compte tenu de l'ampleur des sections mouillées.

d) Enfin, cette hypothèse permet d'expliquer les importantes pertes de volumes annuels écoulés le long du BANI, entre BENENY - SOFARA et MOPTI.

En conclusion, un vaste écoulement à vitesse certainement faible est possible au détriment du BANI vers le NIGER. Cette éventualité s'accorde avec les pertes annuelles le long du BANI en aval de BENENY, elle correspond à ce que nous pouvons penser de la topographie de la mésopotamie, mais une étude de l'hydraulicité des émissaires serait nécessaire pour la confirmer définitivement.

Il en résulterait qu'entre l'axe TILEMBEYA - BENENY, et la point du triangle (MOPTI), les cours du NIGER et du BANI auraient une tendance très nette aux débordements vers le Nord-Nord-Est et que la mésopotamie NIGER-BANI serait principalement alimentée par des eaux provenant du BANI.

Afin de préciser ces données, nous avons réuni sur un même tableau (n° 50) les volumes annuels écoulés aux différents points caractéristiques du NIGER et du BANI. Ces valeurs sont extraites des données brutes aux stations

TABLEAU N° 50

VOLUMES ANNUELS ECOULES en MILLIARDS de m³
 "Mésopotamie" NIGER - BANI

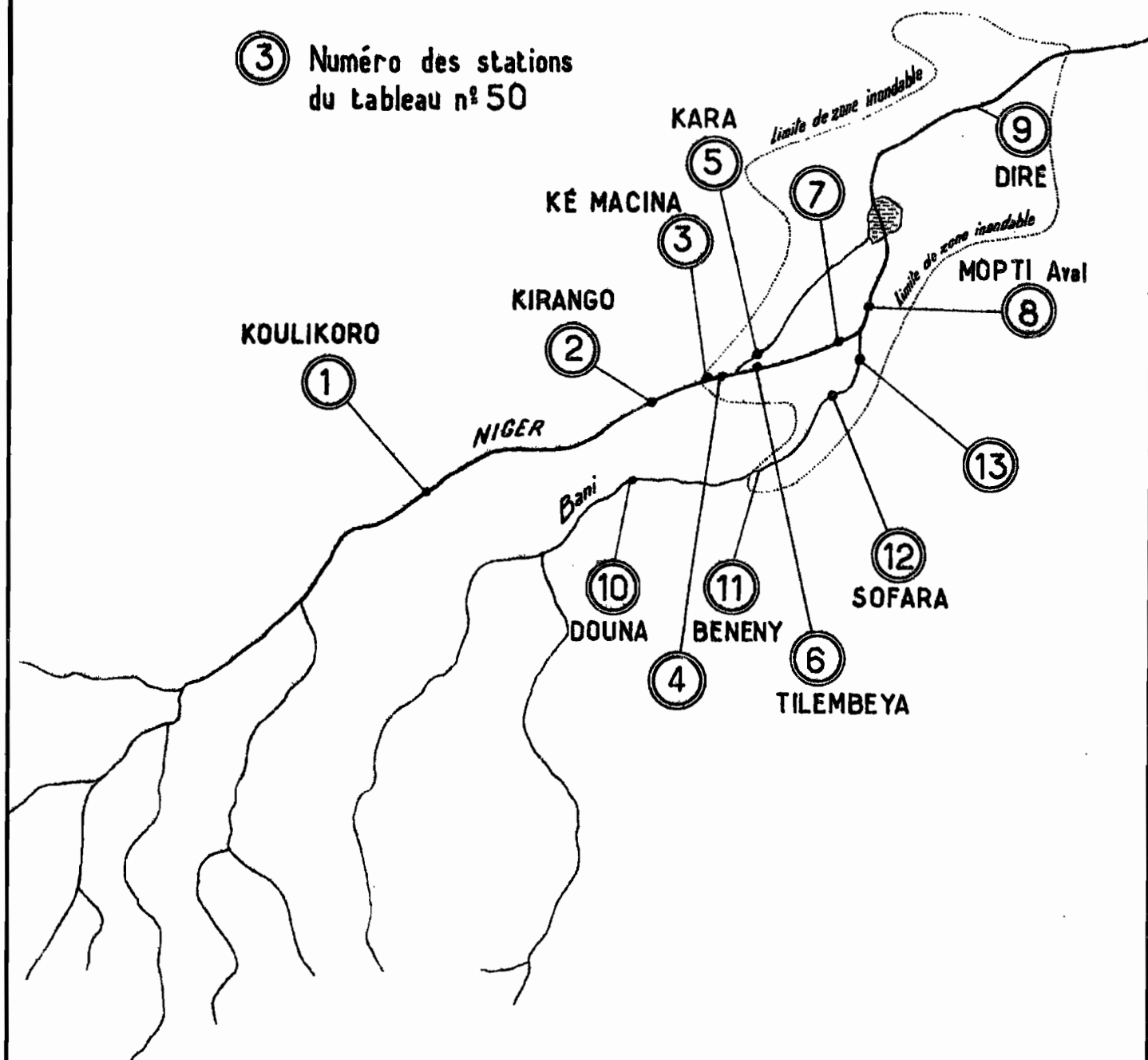
Année	KOULI-KORO	KIRANGO	KE-MACINA	NIGER en amont DIAKA	NIGER en à DIAKA KARA	TILM-BEYA	NIGER en amont MOPTI	MOPTI aval	DIRE	DOUNA	BENENY KEGNY	SOFARA	BANI en amont MOPTI
1924-25	69,7			58	19,3	38,7	30,5	46,2	45,6	30		21	15,7
25-26	74,6			62,1	20,7	41,4	31,4	45,4	48,2	25,1		18,5	14
26-27	53,1	48,4		50,5	16,8	33,7	24,4	34,4	35,5	12,8		12	10
1950-51	47,8	44,1		45,4	15,2	30,2	23,4	36,1	37,5	21,7		16,7	12,7
51-52	67,3	61,7		58,8	19,6	39,2	29,4	45	46,2	25,9	24,3	19,3	15,6
52-53	51,6	48,0	46,4	48,2	15,9	32,3	28	41,8	42,8	25,9	25,8	18,8	13,8
53-54	62,6	57,1	54,7	55,7	18,5	37,2	29,5	44,2	46,2	26,5	24,6	18,9	14,7
54-55	65,9	60,7	59	60,9	20,4	40,5	31,8	47,4	49,2	29,3	25,4	20,8	15,6
55-56	64,7	59,4	56,8	57,3	19,1	38,2	32	45,2	47,7	27,6	25,2	20,1	13,2
56-57	42,7	39,3	39,1	39,8	13	26,8	20,7	33,2	34,5	17	16,5	14,3	12,5
57-58	66,2	60,0	56,7	56,4	18,5	37,9	27,9	43,5	46,2	26,2	24,3	19,3	15,6
N° de la station sur le graphique	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

N.B. 1. On a les relations $4 = 5 + 6$ et $8 = 7 + 13$

N.B. 2. Les volumes de KIRANGO et KE-MACINA (2 et 3) semblent trop faibles devant 4

CROQUIS DES STATIONS DE COMPARAISON DES VOLUMES ANNUELS ÉCOULÉS

③ Numéro des stations
du tableau n° 50



Echelle : 1/ 5.000.000^e

NIG. 10. 314

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: M. D. M. M. M.

DÉS: M. D. M. M. M.

VISA:

TUBE N°:

A 1

ou déduites des voisines par correspondance, qui figurent sur le tableau général n° 48 . Ce tableau est accompagné d'un croquis donnant les emplacements des points caractéristiques retenus (graphique n°49).

D - PERTES TOTALES ANNUELLES dans le DELTA NIGERIE -

Nous avons enfin calculé les pertes annuelles globales entre l'axe KOULIKORO-DOUNA et DIRE (Voir tableau n° 51).

Ces pertes globales varient entre 20 et 55 milliards de m³, suivant l'abondance de l'année.

La correspondance entre les pertes totales et la somme K + D (volumes annuels à KOULIKORO et à DOUNA) n'est pas trop imparfaite (voir graphique n° 50). En gros, elle apparaît linéaire entre 25 et 40 milliards de m³ de pertes. Elle satisfait à peu près à l'équation :

$$P = 0,61 A - 10,8 \text{ en milliards de m}^3$$

$$\text{pour } 25 < P < 45$$

avec A = Apports annuels (KOULIKORO + DOUNA)

P = Pertes annuelles

Pour les années très abondantes, il est évident que la courbe doit présenter une allure asymptotique verticale, les pertes augmentant largement dans les débordements, sans profit important pour la station de DIRE et pouvant atteindre et même dépasser 60 milliards de m³ lors d'années exceptionnellement abondantes sur le NIGER et le BANI.

Pour les années particulièrement déficitaires, au contraire, du fait de la tendance des eaux à rester inférieures au niveau de pleine rive, on peut penser que les pertes se stabilisent à une valeur égale à celles causées par les infiltrations et l'évaporation.

Pendant les années 1914 et 1915, bien qu'on ignore le régime correspondant du BANI, les pertes ont dû se situer au-dessous de 15 milliards de m³ (entre 12 et 15), soit un déficit de 15 à 20 milliards de m³ au détriment des surfaces inondées et cultivables. Cela peut donner une idée de la gravité des famines engendrées dans cette région par ces deux années sèches consécutives.

PERTES TOTALES dans le DELTA NIGERIE
entre l'axe KOULIKORO - DOUNA et DIRE
(en milliards de m³)

Année	KOULIKORO	DOUNA	K + D	DIRE	Pertes
1924-25	69,7	30,0	99,7	45,6	54,1
25-26	74,6	25,1	99,7	48,2	51,5
26-27	53,1	12,8	65,9	35,5	30,4
27-28	62,3	25,2	87,5	44,7	42,8
28-29	68,4	26,5	94,9	45,2	49,7
1931-32	55,2	21,0	76,2	37,3	38,9
1950-51	47,8	21,7	69,5	37,5	32
51-52	67,3	25,9	93,2	46,2	47
52-53	51,6	25,9	77,5	42,8	34,7
53-54	62,6	26,5	89,1	46,2	42,9
54-55	65,9	29,3	95,2	49,2	46
55-56	64,7	27,6	92,3	47,7	44,6
56-57	42,7	17,0	59,7	34,5	25,2
57-58	66,2	26,2	92,4	46,2	46,2

Dans le Chapitre VIII, consacré au remplissage de la cuvette lacustre réduite à sa partie comprise au Nord de la ligne TILÉMBEYA-MOPTI, nous avons mis en évidence, parallèlement au volume des pertes dans cette partie, le volume maximal d'eau libre accumulé pendant la durée du cycle. Remarquons en passant que le terme "volume accumulé" est impropre dans la mesure où il appelle la notion de volume, puisque la majeure partie de ce volume ne peut rejoindre le lit du fleuve par gravité, étant destiné à disparaître par le jeu combiné des phénomènes d'infiltration et d'évaporation. Il s'agirait donc plutôt d'un volume libre instantané.

Si nous prenons le risque d'extrapoler à l'ensemble de la cuvette le rapport du volume maximal instantané au volume perdu effectivement dans la cuvette réduite, nous pouvons en déduire qu'en année moyenne ($K + D$ voisin de 70 milliards de m^3), le volume maximal instantané d'eau libre dans le delta se situe entre 35 et 40 milliards de m^3 , les pertes globales atteignant 35 milliards de m^3 , c'est-à-dire pratiquement le double de celles estimées pour la cuvette lacustre limitée au secteur NE de l'axe TILÉMBEYA-MOPTI, étudié en détail au Chapitre précédent.

Remarque :

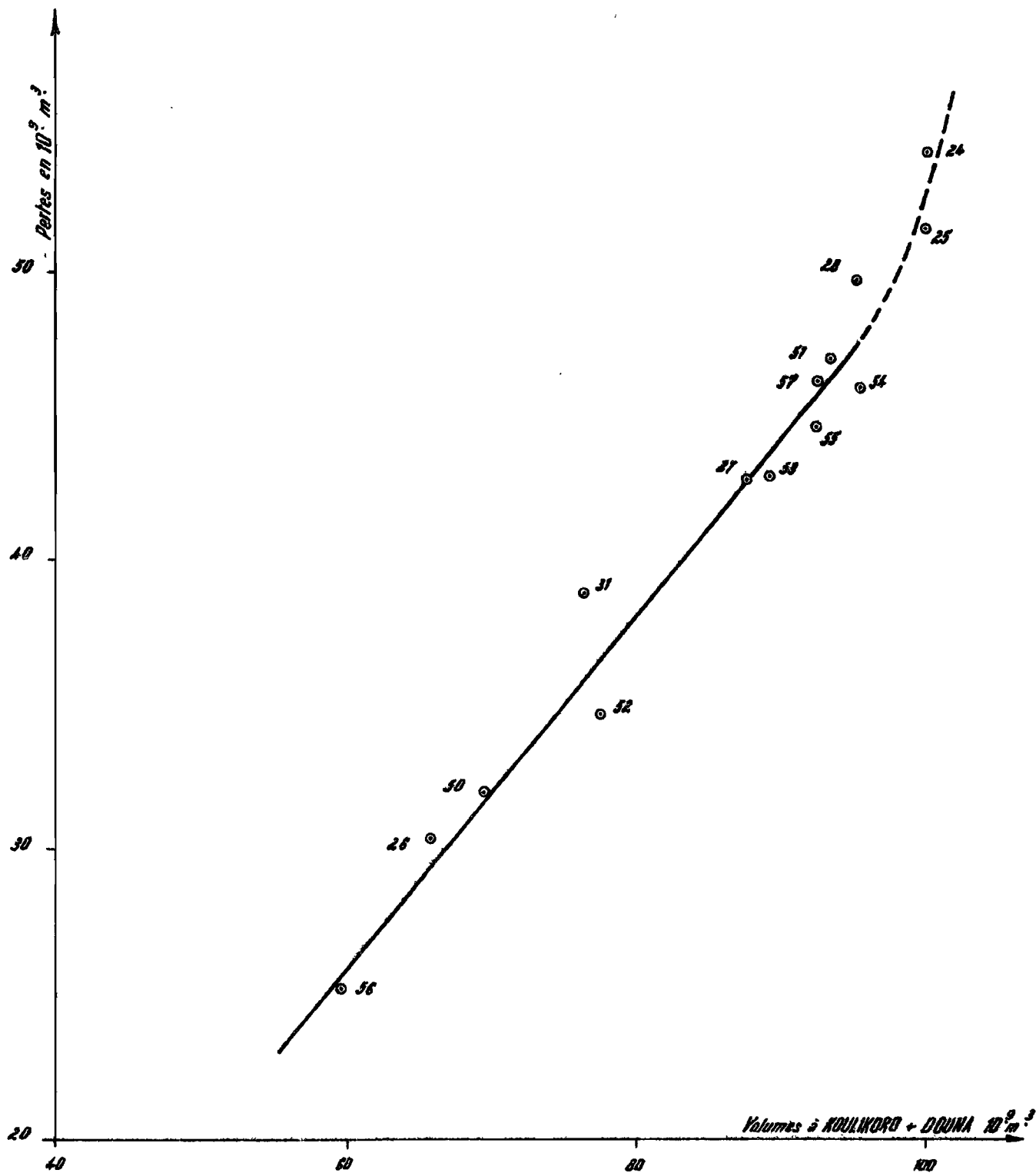
L'alimentation du système des lacs TELE-FAGUIBINE se faisant à l'aval de DIRE, les pertes et les volumes libres dérivés dans ces lacs ne sont pas compris dans la précédente étude. Il est bon de savoir que le volume annuel, débité par le "marigot de GOUNDAM" à l'entrée du lac TELE, varie entre 0,1 et 4 milliards de m^3 , et que ce volume est irrécupérable par le fleuve.

(Pour plus de détails, cf. Chapitre XI, le régime du marigot de GOUNDAM).

En outre, si l'on tient compte des eaux accumulées dans les mares du KESSOU, entre le NIGER et GOUNDAM, et qui s'évaporent, les pertes réelles du NIGER sont nettement supérieures au débit évacué par le marigot. Leur estimation directe est impossible. Il faudrait une station de jaugeage supplémentaire vers KABARA, mais il n'y a pas de section propice aux mesures.

PERTES TOTALES DANS LE DELTA NIGERIE

en milliards de m³



C H A P I T R E X

ETUDE des FACTEURS de REGULARISATION

1°) VUE d'ENSEMBLE des MODIFICATIONS du REGIME de l'AMONT vers l'AVAL -

Nous reprendrons les caractéristiques générales du régime du NIGER aux différentes stations principales de l'amont vers l'aval.

a) KOULIKORO : Valeurs observées sur la période 1908-1957 ou déduites par analyse statistique :

Crue normale	:	6 200 m ³ /s	
Crue décennale	:	7 900 "	
Crue centenaire	:	9 600 "	
Etiage absolu moyen	:	48 "	
Etiage absolu maximal	:	137 "	
Etiage absolu minimal	:	18 "	
Volume écoulé moyen	:	48,7.10 ⁹ m ³	
Volume écoulé maximal	:	73,9 "	(1925)
Volume écoulé minimal	:	26,8 "	(1913)

Maximum de la crue en Septembre (3ème décade)

Minimum absolu de fin Avril à début Mai

Régime tropical de transition avec influence directe du Haut-Bassin.

b) KIRANGO

Crues moyennes, à peu près équivalentes ; fortes crues amoindries par débordements (7 500 m³/s au plus).

Prélèvements de l'Office du NIGER compensés approximativement par les apports du bassin intermédiaire. Etiages absolus très nettement amaigris (30 à 70 %).

Epoques des crues et des étiages identiques à celles de la station de KOULIKORO.

Volumes écoulés à peu près comparables à ceux de KOULIKORO.

c) KE MACINA

Influence des inondations et des débordements.

Crues nettement écrêtées.

Tassement des valeurs maximales annuelles entre 5000 et 5500 m³/s.

Lors des crues abondantes, la cote maximale influe peu sur le volume écoulé.

Débits moyens mensuels de basses eaux augmentés par drainage de la vallée et sensiblement comparables à ceux de KOULIKORO, malgré les prélèvements importants de l'Office du NIGER.

Pertes en volume entre KIRANGO et KE MACINA variant de 2,0 à 3 milliards de m³ pour des volumes écoulés à KE MACINA compris entre 40 et 60 milliards de m³.

Hautes eaux très aplaties et maximums décalés dans le temps sur ceux de KOULIKORO.

d) TILEMBEYA

Blocage efficace des hautes eaux aux alentours des cotes 5,85 et 5,95. Palier de hautes eaux.

Le palier correspond sensiblement au passage de la cote 6.00 m à KOULIKORO avec un décalage dans le temps de 9 jours à la crue et 8 jours à la décrue.

Excellente stabilité interannuelle des cotes maximales.

Débit de pleine rive maximal voisin de $3400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Au-dessus de $48 \text{ m}^3/\text{s}$ environ, le débit de basses eaux est amputé par l'influence du DIAKA.

Le DIAKA prélève sensiblement le $1/3$ du volume écoulé à TILÉMBEYA amont et diminue dans la même proportion le débit de crue.

Le volume écoulé à TILÉMBEYA est supérieur d'environ 6,5 milliards de m^3 à la moitié du volume écoulé à KOULIKORO, et égal en moyenne à 31 milliards de m^3 .

Les débits de basses eaux supérieurs à $80 \text{ m}^3/\text{s}$ sont sensiblement comparables à ceux de KE MACINA.

e) MOPTI (Aval)

Influence de la crue atténuée du BANI se composant avec la crue écrêtée du NIGER.

Maximums connus entre $2400 \text{ m}^3/\text{s}$ et $3080 \text{ m}^3/\text{s}$, survenant entre le 15 Octobre et la fin Novembre.

Moyenne des débits maximaux sur 23 années : $2836 \text{ m}^3/\text{s}$

Crue fréquence $1/100$: 7,60 m environ, soit à peu près $3200 \text{ m}^3/\text{s}$.

Développement important de la période des hautes eaux, par suite du décalage habituel entre la crue du NIGER et du BANI.

Volumes écoulés toujours inférieurs à ceux de KOULIKORO :

- en moyenne de 6 milliards de m^3 pour 30 milliards à KOULIKORO

- et de 23 milliards de m^3 pour 70 milliards à KOULIKORO.

- Volume écoulé moyen égal à 35 milliards de m^3 .

f) DIRE

Cycle hydrologique fortement régularisé par l'effet de la cuvette lacustre.

Forme quasi-sinusoidale et régulière du limnigramme.

Crue normale	:	$2\ 320 \text{ m}^3/\text{s}$	
Crue centenaire minimale	:	$1\ 830$	" {4.82 m}
Crue centenaire maximale	:	$2\ 800$	" {6.35 m}

Epoque moyenne de la crue entre le 18 et le 31 Décembre.

Décrue en moyenne plus brutale que la crue.

Loi de décrue simple et linéaire.

Etiages irréguliers suivant la date d'arrivée de la crue suivante. Début de remontée très rapide des eaux avec un retard d'environ 14 jours sur KOULIKORO.

Volumes écoulés en général légèrement supérieurs à ceux de MOPTI aval, égaux à 36 milliards de m^3 en moyenne.

L'excédent est pratiquement nul en dessous de 30 milliards de m^3 à MOPTI, il atteint 2 milliards de m^3 pour 45 milliards de m^3 à MOPTI.

Volumes écoulés toujours très inférieurs à ceux de KOULIKORO :

- en moyenne 30 milliards de m^3 à DIRE pour 40 milliards de m^3 à KOULIKORO.

- et 50 milliards de m^3 pour 70 milliards à KOULIKORO.

2°) RECHERCHE d'un COEFFICIENT de REGULARISATION du REGIME

Il paraît intéressant d'étudier de l'amont vers l'aval la variation d'un facteur de la régularité du régime.

Nous pourrions retenir le rapport du débit moyen au débit semi-permanent (débit dépassé pendant exactement 182 jours de l'année).

Le débit moyen est la moyenne arithmétique des 365 débits journaliers.

Le débit semi-permanent est la valeur médiane des 365 débits journaliers classés.

La valeur du rapport de ces deux débits dépend évidemment de la forme de la courbe des débits journaliers, mais n'indique pas d'une manière univoque l'aptitude à la régularité théorique du régime.

En effet, si l'on considère une courbe de débits journaliers composés de deux droites symétriques :

$$Q \text{ moyen} = Q \text{ semi-permanent}$$

Mais, véritablement, un tel régime n'est, par définition, pas régulier.

Il nous semble préférable, pour définir l'aptitude à la régularisation d'un régime, de retenir le coefficient suivant :

$$K = \frac{V - v}{V} \quad \text{avec :}$$

V qui est le volume écoulé dans le cycle hydrologique considéré.

v qui représente le volume de la retenue qu'il serait nécessaire de prévoir pour régulariser entièrement le régime donné au débit moyen annuel ou module.

Le coefficient de régularisation varie entre 0 et 1.

Quand

K = 1, cela correspond au régime uniforme donc régulier (débit constant et égal au module toute l'année)

si K = 0, cela correspond au régime le plus irrégulier qui soit : la crue ponctuelle unique, instantanée, égale au volume total V.

Rappelons que le volume v se calcule aisément au moyen d'une petite construction graphique faisant intervenir les volumes écoulés mensuels cumulés. C'est ce que nous avons effectué pour chaque cycle hydrologique étudié, car ce volume v varie beaucoup suivant l'hydraulicité.

Nous calculerons ce coefficient K pour les cycles 1940-1941 à 1957-1958 et pour les stations principales dont nous possédons les relevés (KOULIKORO, KIRANGO, KE-MACINA, TILEMBEYA, MOPTI et DIRE).

Nous avons choisi cette période afin d'obtenir le maximum de valeurs relatives à des années connues aux 6 stations choisies. Les résultats figurent sur le tableau n° 52.

3°) ETUDE des VARIATIONS des COEFFICIENTS de REGULARISATION avec les MODULES -

A - Station de KOULIKORO (graphique n° 51)

Les coefficients varient de 0,446 à 0,574 pour des modules compris entre 995 et 2137 m³/s.

TABLEAU N° 52

COEFFICIENTS de REGULARISATION et MODULES JORNESPONDANTS
(en m³/s)

Année	KOULIKORO		KIRANGO		KE-MACINA		TILEMBEYA		MOPTI		DIRE	
	K	Module	K	Module	K	Module	K	Module	K	Module	K	Module
1940-41	0,511	1175					0,545	782		-	0,617	860
41-42	0,493	1242					0,548	829		-	0,609	909
42-43	0,512	996					0,561	669		-	0,585	794
43-44	0,465	1189					0,492	846	0,506	889	0,612	929
44-45	0,463	995					0,509	669	0,514	760	0,558	744
45-46	0,449	1242					0,502	835	0,541	1053	0,620	1009
46-47	0,474	1539					0,504	1005	0,561	1153	0,658	1137
47-48	0,446	1261					0,492	791	0,522	845	0,605	843
48-49	0,476	1683					0,510	1033	0,545	976	0,629	1035
49-50	0,455	1383					0,484	848		-	0,640	950
1950-51	0,476	1519	0,467	1396			0,485	957	0,569	1145	0,689	1190
51-52	0,528	2137	0,531	1958					0,616	1425	0,725	1460
52-53	0,506	1638	0,496	1521	0,531	1465	0,505	1023	0,607	1324	0,727	1356
53-54	0,521	1988	0,523	1812	0,562	1730	0,558	1180	0,629	1400	0,729	1466
54-55	0,574	2091	0,563	1925	0,587	1872	0,584	1285	0,645	1501	0,754	1559
55-56	0,523	2054	0,524	1882	0,559	1800	0,536	1211	0,608	1432	0,710	1510
56-57	0,504	1356	0,505	1246	0,525	1234	0,526	850	0,565	1051	0,669	1095
57-58	0,504	2101		1901		1798		1200	0,644	1379	0,748	1467

La répartition est très anarchique bien que, grossièrement, les forts modules correspondent aux coefficients les plus élevés. L'abondance de la crue intervient donc très peu sur la forme de l'hydrogramme annuel. Néanmoins, les fortes crues ont tendance à s'aplatir et surtout à diminuer la rigueur des débits d'étiage.

La forme de la crue à KOULIKORO dépend encore étroitement de la répartition des pluies sur le haut bassin. Une année déficiente peut avoir une forme peu pointue, régulière, fournissant un coefficient acceptable. Au contraire, une année hydrologique moyennement abondante peut comporter une ou plusieurs pointes de crue aiguës conduisant à une valeur médiocre du coefficient de régularisation.

B - Station de TILEMBEYA (graphique n° 51)

L'effet régulateur naturel est dû un peu à l'atténuation de la crue et aux débordements restitués avec retard sur le passage de l'onde maximale, mais surtout aux déversements purs et simples de volumes d'eau qui sont écartés définitivement du lit principal (effluence du DIAKA) ; c'est une régularisation par écrêtement.

Les coefficients varient de 0,484 à 0,584 pour des modules compris entre 669 et 1285 m³/s. Par rapport à KOULIKORO, les valeurs des coefficients sont améliorées (surtout pour les années faibles), mais dans des proportions assez réduites.

Ce fait est curieux, d'autant plus que nous avons vu qu'en ce qui concerne les hauteurs maximales, la station de TILEMBEYA présente l'irrégularité interannuelle la plus faible (voir l'Etude du Régime à TILEMBEYA, Chapitre IV).

Nous devons en conclure que l'effet d'écrêtement intervient modestement sur la régularité du régime telle que nous l'avons définie. Il faut ajouter cependant que le DIAKA, s'il crée un plafond des débits de crue, prélève également une partie non négligeable des débits de moyennes et basses eaux du NIGER.

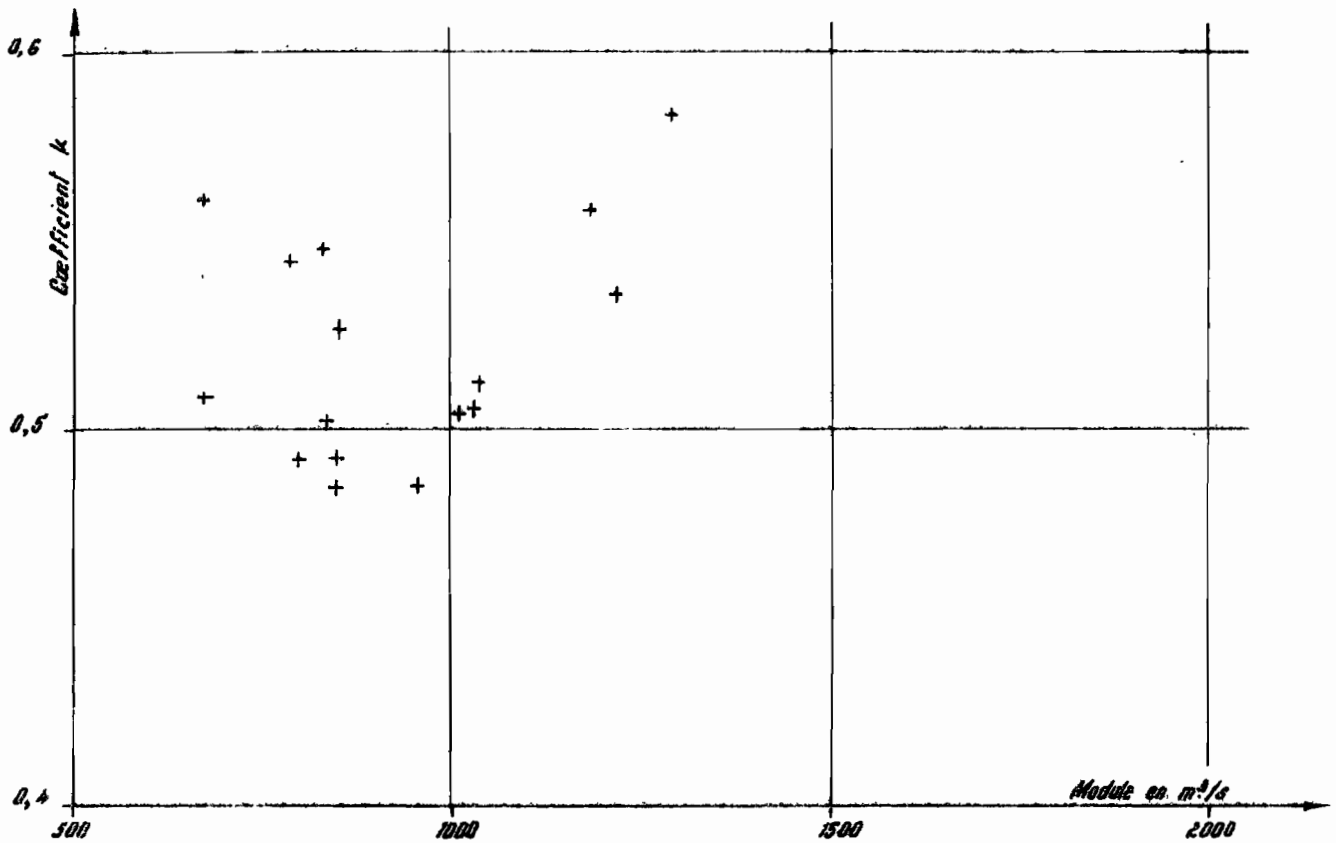
Cette dernière action est évidemment néfaste au coefficient de régularisation.

La répartition des points figuratifs du coefficient, en fonction du module, est moins anarchique qu'à KOULIKORO, mais la corrélation reste très lâche.

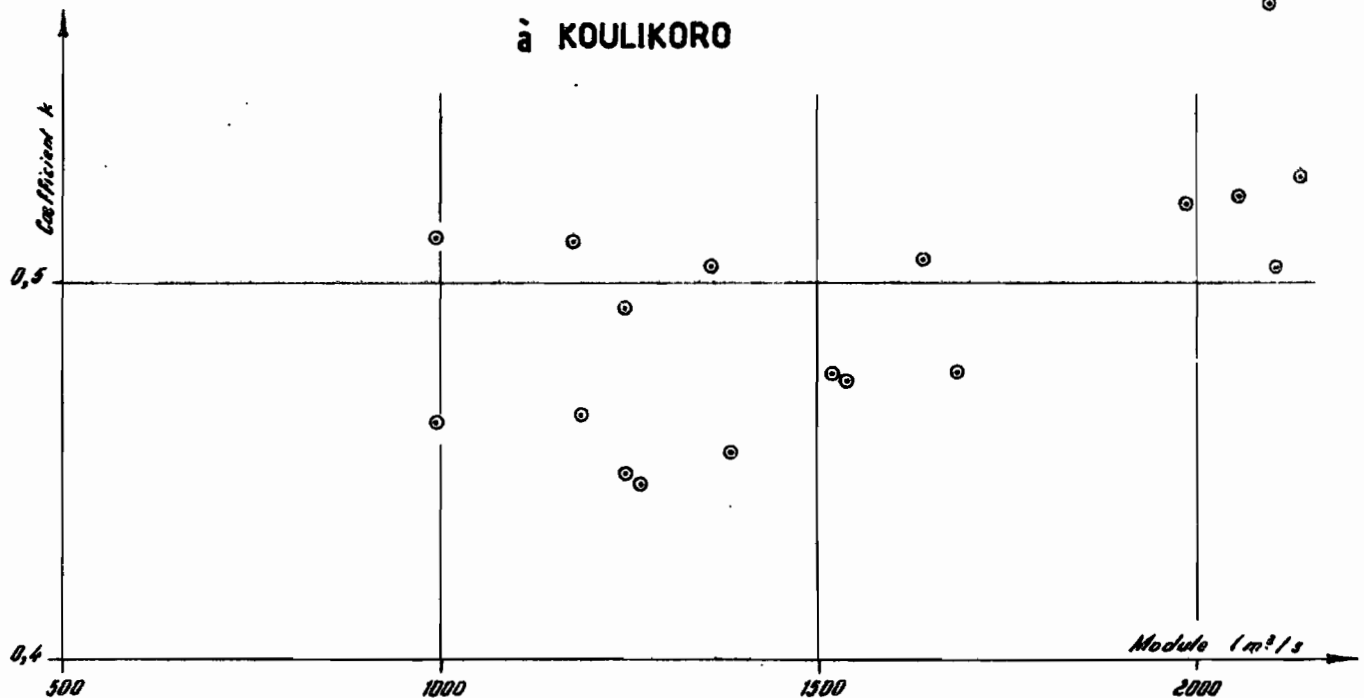
COEFFICIENTS DE RÉGULARISATION

Gr. 51

à TILIMBEYA



à KOULIKORO



NIG 10.316

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: M. H. MCNEIL

DES: J. P. Huchery

VISA:

TUBE N°:

A1

C - Station de MOPTI (graphique n° 52).

Les coefficients varient de 0,506 à 0,645 pour des modules variant de 760 à 1501 m³/s.

L'amélioration de la régularité du régime provient de divers facteurs qui sont classés dans l'ordre croissant :

- l'écrêtement des hautes eaux (DIAKA et marigots, effluents de la rive gauche en amont de MOPTI),
- les débordements et emmagasinement de volumes récupérables dans les aires d'inondation,
- l'enrichissement des débits d'étiage (régularisation par restitution et apports du BANI),
- l'atténuation naturelle dans le transport de la crue,
- et, principalement, le décalage dans le temps entre les apports du NIGER et du BANI qui a pour effet d'étaler l'onde de crue résultante.

Nous n'avons pas tenu compte des apports locaux d'hivernage arrivant nettement avant la crue.

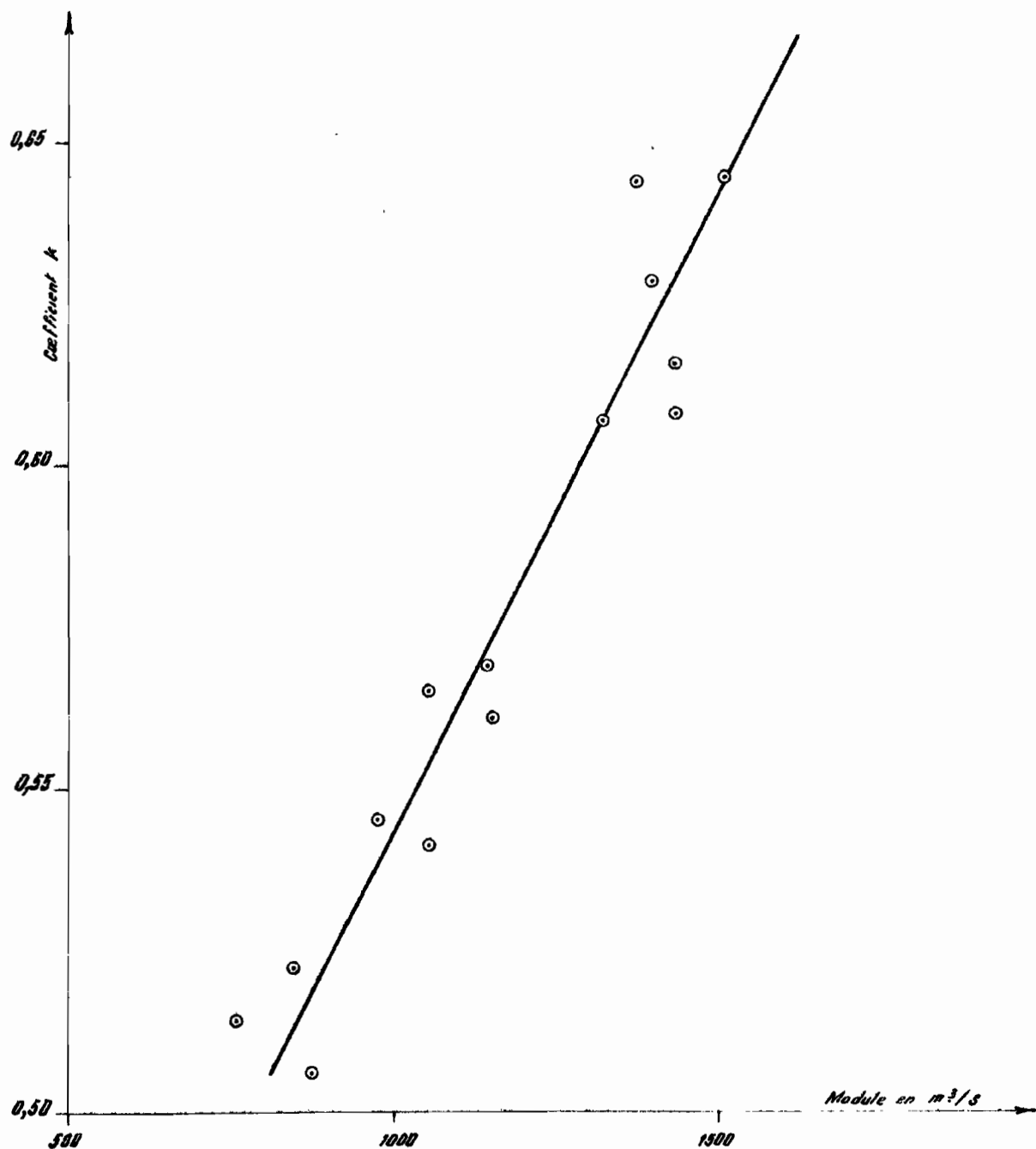
La répartition des points en fonction du module, est maintenant nettement directionnelle. Les forts coefficients correspondent aux fortes crues ; plus l'année hydrologique est abondante, plus le régime a tendance à se régulariser de lui-même. Par rapport à KOULIKORO, l'amélioration des valeurs du coefficient est relativement nette. Pour les mêmes crues, l'augmentation varie de 0,075 à 0,110 avec, dans les 3/4 des cas, un chiffre très voisin de 0,100 (graphique n° 53).

Nous avons vu que cette augmentation est due, pour une grosse part, au décalage entre les apports du NIGER et ceux du BANI. Ce décalage n'est évidemment pas constant dans le temps et ne présente pas de liaison apparente avec l'abondance de la crue à MOPTI., c'est sans doute la raison pour laquelle les points figuratifs sont encore assez dispersés malgré une tendance générale très nette à l'alignement.

D - Station de DIRE (graphique n° 54)

Sur 18 années, les coefficients varient de 0,558 à 0,754 pour des modules compris entre 740 et 1560 m³/s.

COEFFICIENT DE RÉGULARISATION A MOPTI



NIG. 10.317

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: 22-11-1961

DES: J-P Hechtich

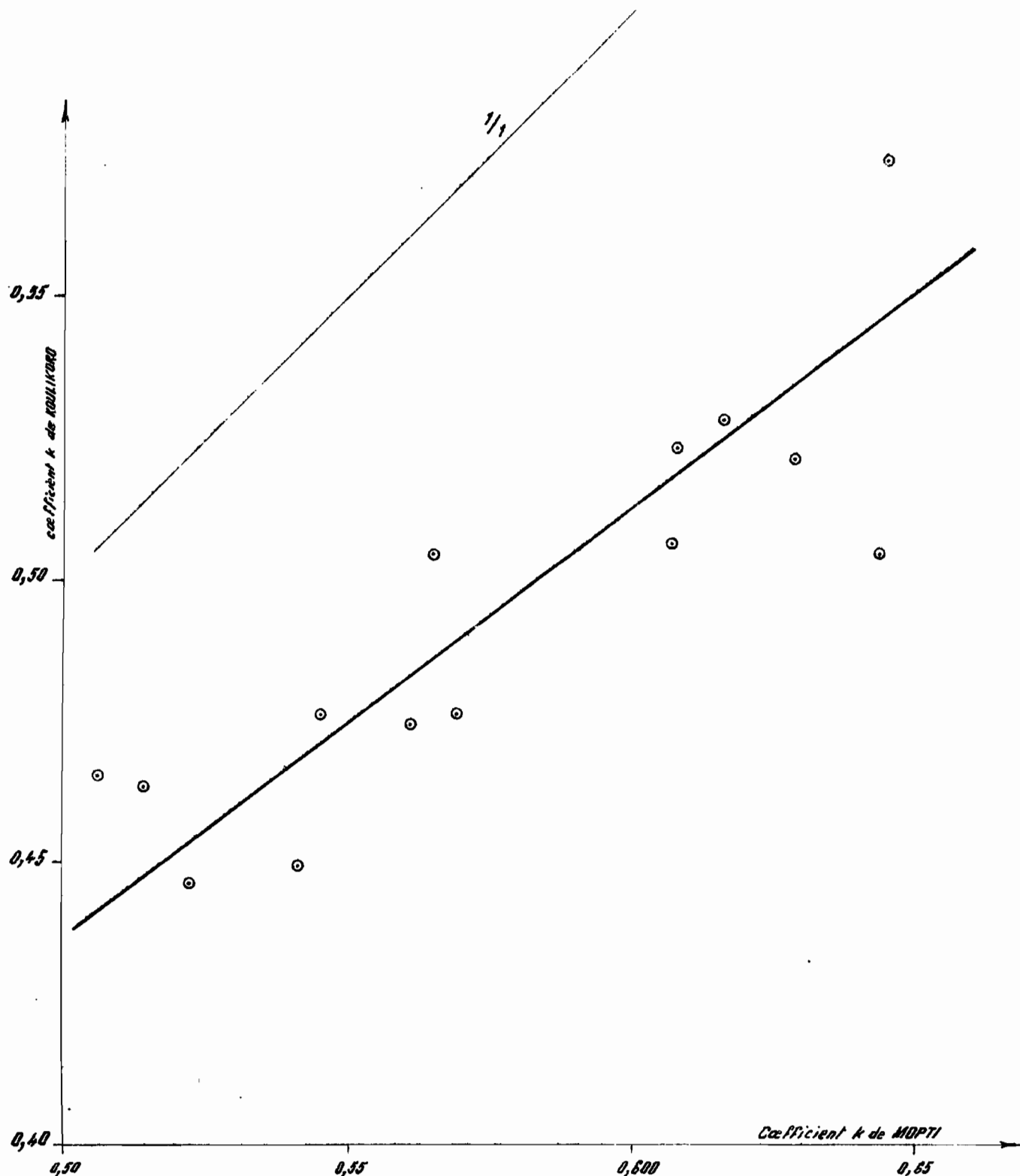
VISA:

TUBE N°:

A1

AMÉLIORATION DU COEFFICIENT DE RÉGULARISATION ENTRE KOULIKORO ET MOPTI

Gr. 53



NIG 10.318

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: 10-11-1961

DES: J-P. Hoffsch

VISA:

TUBE N°:

A1

Par rapport à MOPTI, l'amélioration moyenne est de 0,090, légèrement inférieure au gain réalisé entre KOULIKORO et MOPTI, mais elle a assez nettement tendance à augmenter avec les forts modules (graphique n° 55).

L'effet régulateur est obtenu par accumulation dans la cuvette lacustre dont le volume retient entre la moitié et le tiers du volume écoulé à DIRE. En plus de l'action sur l'étalement de l'onde de crue, la décrue bénéficie de restitutions importantes (décrue linéaire au lieu d'une décrue exponentielle classique) et retarde la période de l'étiage jusqu'au moment de l'arrivée de la crue suivante. L'évaporation sur l'ensemble du delta lamine encore l'onde de crue, mais les pertes en volumes qu'elle entraîne sont au détriment des périodes de fin de décrue.

Retenons donc que les facteurs régulateurs principaux sont :

- le volume accumulé (plus du 1/3 du volume écoulé à la sortie),
- l'évapotranspiration (une journée d'évaporation en période de hautes-eaux absorbe sensiblement le débit de l'exutoire).

Enfin, la forme de l'hydrogramme hydrologique annuel est liée très étroitement au module du cycle correspondant. Nous voyons, en effet, que les points figuratifs du coefficient, en fonction du module, se rangent convenablement sur une droite. Il est bien évident que les facteurs régulateurs principaux cités ci-dessus sont d'autant plus actifs que la crue est forte. C'est là une particularité distinctive du régime à DIRE. Si l'on se donne un volume annuel V (prévisible d'ailleurs d'après les débits amont), il est possible d'évaluer, par l'intermédiaire du coefficient K , le volume v nécessaire pour assurer une régularisation totale théorique, c'est donc un élément précis sur la forme même du cycle annuel à DIRE.

Indiquons en outre que l'éventail de variation du coefficient K à DIRE est le plus étendu :

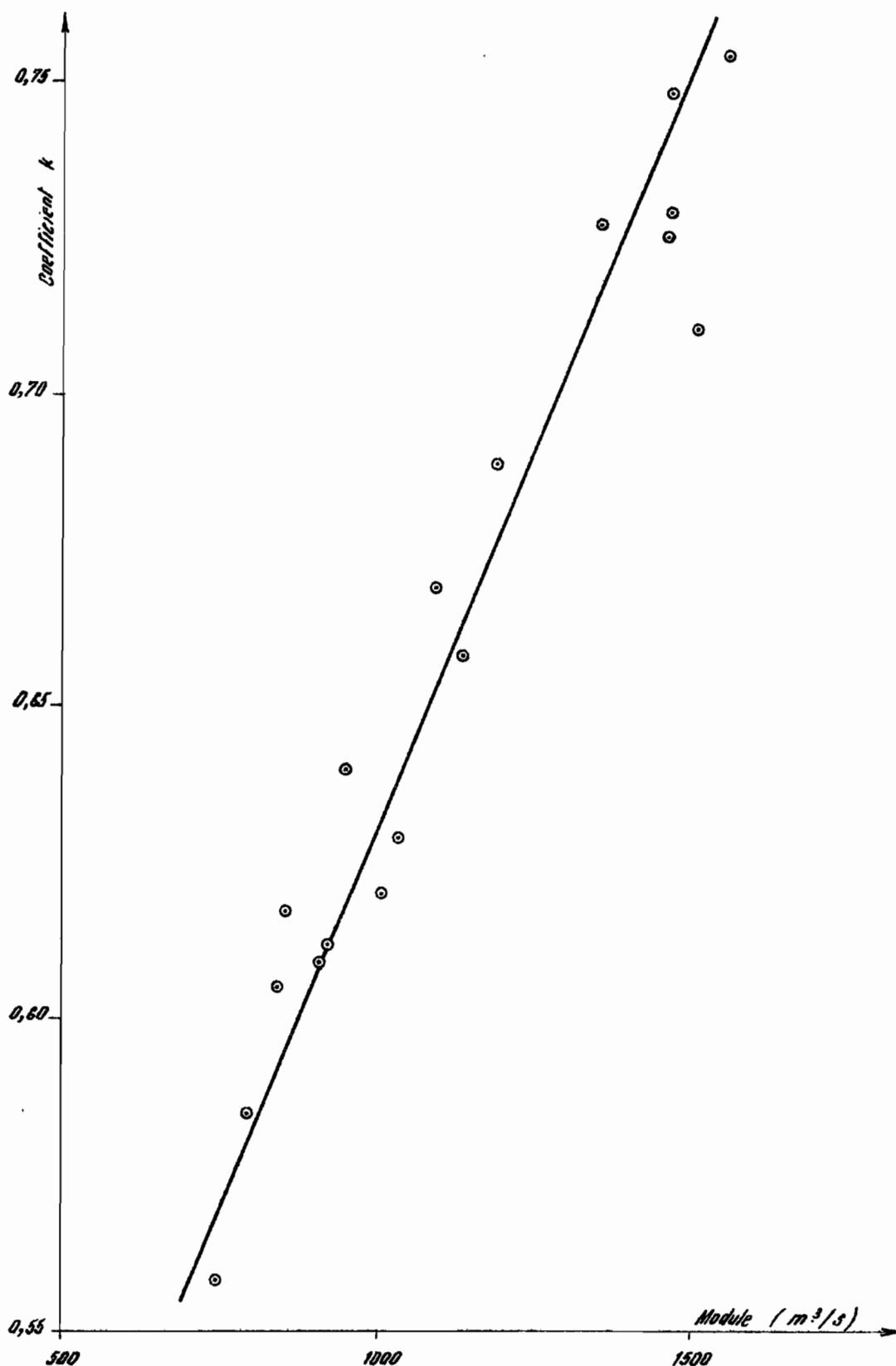
0,540 pour un module de $620 \text{ m}^3/\text{s}$ (module centenaire inférieur),

0,810 pour un module de $1750 \text{ m}^3/\text{s}$ (module centenaire supérieur).

Ce qui revient à dire que le régime à DIRE est tel que, quelle que soit l'abondance de la crue, le volume

COEFFICIENT DE RÉGULARISATION A DIRÉ

Gr. 54



NIG 10.319

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: 1971-11-10

DES: J.-P. Hecchi

VISA:

TUBE N°:

A1

NIG 10.320

ED:

LE: Mr. H. M. L. M.

DES: J. P. Hofflich

VISA:

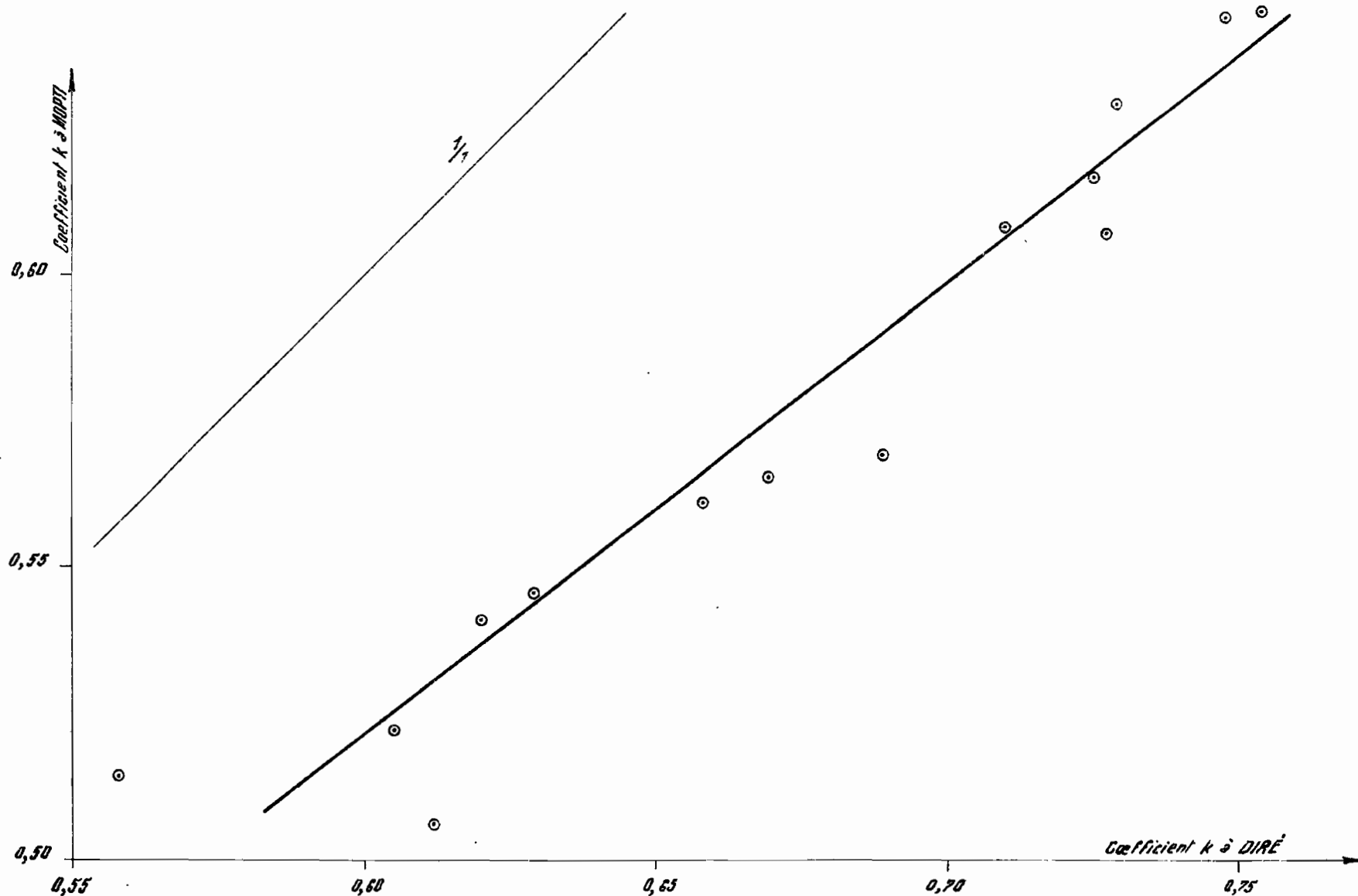
TUBE N°:

A1

ELECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

AMÉLIORATION DU COEFFICIENT DE RÉGULARISATION ENTRE MOPTI ET DIRÉ

Gr. 55



v nécessaire à la régularisation totale du cycle au module reste sensiblement constant et voisin de 10 milliards de m³, comme le montrent les trois exemples choisis ci-dessous :

Année type	Module m ³ /s	Volume V 10 ⁹ m ³	Coefficient K	V-v	V 10 ⁹ m ³
Centenaire inf.	620	19,6	0,540	10,6	9,0
Médiane	1158	36,5	0,669	24,4	12,1
Centenaire sup.	1750	55,2	0,810	44,6	10,6

Signalons, à titre indicatif, que ce volume v de régularisation totale, pris dans les mêmes limites, varierait entre 10 et 18 milliards de m³ pour MOPTI et entre 15 et 33 milliards pour KOULIKORO.

E - Station de KIRANGO

Parmi les 18 années choisies, nous n'avons pu évaluer les coefficients relatifs à la station de KIRANGO que pour les 7 années postérieures à la crue 1949-1950.

L'examen de ces coefficients, comparativement à ceux de KOULIKORO, montre que 4 d'entre eux sont légèrement plus forts et les 3 autres nettement plus faibles ; l'écart moyen est négatif et égal à 0,03. On pourrait penser que cette différence provient des perturbations causées au régime du fleuve par les prélèvements de l'Office du NIGER qui appauvrissent les débits en fin de décrue et en saison sèche.

A titre de vérification, nous avons calculé les coefficients K pour trois années antérieures à la construction du barrage de MARKALA.

Le tableau suivant donne les résultats :

Année	KOULIKORO		KIRANGO	
	K	V en 10 ⁹ m ³	K	V en 10 ⁹ m ³
1930-31	0,532	64,0	0,513	59,4
1931-32	0,556	55,2	0,500	49,6
1932-33	0,531	56,0	0,509	51,9

On constate ici que les différences sont nettement plus accusées et toutes dans le sens négatif au détriment de KIRANGO. Ce qui est paradoxal, puisqu'avant la construction du barrage, le régime devait être plus régulier que maintenant.

Les coefficients K, de KIRANGO, devraient être du même ordre de grandeur, l'atténuation naturelle sur le parcours KOULIKORO - KIRANGO compensant les apports locaux d'hivernage.

La seule explication possible résulte vraisemblablement du fait que les étalonnages des deux stations ne sont pas homogènes. Les débits évalués à KOULIKORO sont peut-être un peu forts et ceux de KIRANGO certainement un peu faibles. Nous avons déjà signalé cette anomalie lors de l'étude du régime à KIRANGO (Chapitre II).

Notons qu'une différence totale de 5 % sur les débits (augmentation de 5 % des débits de KIRANGO, par exemple) suffirait pour rétablir sensiblement l'égalité entre les deux coefficients de régularisation d'une même année, aux deux stations.

Dans l'état actuel de nos connaissances des débits à KIRANGO, il ne nous est pas possible d'affirmer s'ils sont sous-estimés, ni de savoir si la correspondance établie entre relevés anciens et nouveaux est correcte ; mais cette divergence des coefficients de régularisation nous apporte un argument supplémentaire pour douter de la précision des débits estimés à KIRANGO, estimation qui laisse certainement une marge globale d'imprécision de 5 %.

Nous pouvons conclure que :

1°) Il y aurait gros intérêt à poursuivre les jaugeages modernes d'une façon homogène (même personnel opérateur, mêmes appareils hydrométriques), à ces deux stations de KIRANGO et KOULIKORO.

2°) Le calcul des coefficients K est un moyen puissant de détection des erreurs d'étalonnage pour des stations voisines dont le bassin intermédiaire n'apporte aucune perturbation notable. La comparaison des volumes écoulés ou des débits instantanés n'est pas suffisante car les bilans hydrologiques portent sur des valeurs relatives faibles qu'il est difficile d'évaluer avec précision.

F - Station de KE MACINA

Nous ne possédons que les cinq premières années depuis l'installation de l'échelle.

L'amélioration des coefficients comparés à ceux de KOULIKORO est en moyenne de 0,025, ce qui semble parfaitement normal, compte tenu de l'atténuation naturelle de la crue.

Les valeurs trouvées confirment l'anomalie des résultats de la station voisine amont (KIRANGO); elles sont cependant en contradiction avec les coefficients de TILÉMBEYA auxquels elles sont légèrement supérieures, ce qui est anormal. La connaissance peu précise des débits à KE-MACINA doit nous inciter à la prudence dans cette comparaison.

C H A P I T R E X I

ETUDE du REGIME du MARIGOT de GOUNDAM à GOUNDAM

Le marigot de GOUNDAM est essentiellement un cours d'eau formé d'effluents dérivant une partie du débit du NIGER en direction du système de lacs de la rive gauche, en aval de DIRE.

Son régime est donc étroitement lié à celui du NIGER à la station de DIRE.

L'apport des pluies locales est extrêmement faible en raison du mauvais drainage et du placage dunaire perméable couvrant une bonne partie du bassin. Par contre, à proximité immédiate des zones rocheuses, le ruissellement peut être important tout en restant modeste par rapport au débit du marigot. Ces apports seraient d'ailleurs surtout observables à l'aval de la station de GOUNDAM en bordure du massif, vers le lac TELE.

Nous ne disposons à GOUNDAM que de 16 années de relevés à peu près complètes et de 4 années incomplètes. Pour ces 16 années, nous avons donc reconstitué les valeurs des débits écoulés en faisant l'hypothèse que les conditions d'écoulement sur le seuil déversant et dans le lit même n'ont pas changé depuis l'époque des relevés. C'est évidemment une cause d'erreurs essentielle qui influera sur la dispersion des résultats et la fidélité des corrélations.

Le choix de 2 courbes d'étalonnage pour les basses eaux relativement aux périodes antérieure et postérieure à la construction du pont de GOUNDAM (1950) ne permet qu'une correction partielle de ces erreurs (3ème partie, Chapitre II, F).

I - ETUDE des DEBITS MOYENS MENSUELS OBSERVES -

Le tableau n° 53 rassemble les débits moyens mensuels observés pour les 16 années complètes : 1932-1933, la période 1935-1936 à 1939-1940, 1941-1942 et 1942-1943, 1945-1946, enfin la période 1951-1952 à 1957-1958, ainsi que 1940-1941 et 1946-1947.

Depuis 1931-1932, sur les 27 années écoulées, nous manquons absolument de renseignements pour 7 d'entre elles : 1933-1934, 1943-1944, 1944-1945 et depuis 1947-1948 jusqu'à 1950-1951.

Nous possédons, grosso modo, la série d'années sèches de la décennie 1940 et la série abondante des années postérieures à 1950 ; il est donc possible d'avoir un échantillon assez représentatif, malgré les nombreuses lacunes.

Nous avons calculé la moyenne brute des débits moyens mensuels sur la période couvrant les 16 années d'observations complètes.

Aucune de ces valeurs moyennes n'est nulle. Cependant, à l'examen, on constate que plus d'une année sur deux, le débit est nul pendant 3 mois : Mai, Juin et Juillet. Il est même possible qu'en réalité le débit s'annule pendant ce trimestre beaucoup plus souvent qu'il n'apparaît sur le tableau n° 53. De nombreuses années figurent sur ce tableau avec des débits inférieurs au mètre cube/seconde ; l'imprécision du tarage des basses eaux, dû aux mouvements de fond, nous oblige à être prudent et circonspect devant ces chiffres.

La crue en provenance des débordements du NIGER survient en général dans le courant du mois d'Août, et se poursuit jusqu'en Janvier.

D'une année à l'autre, la dispersion est grande entre les débits moyens d'un même mois de crue, elle diminue relativement quand les débits augmentent : de Novembre à Janvier, l'écart entre minimum et maximum observés n'est plus que de 1 à 10.

Si l'on cherche à établir une correspondance entre les débits moyens mensuels à DIRE et à GOUNDAM, pour les mois de crue, on enregistre une très forte dispersion. Pour 2000 m³/s de débit moyen mensuel à DIRE, il peut passer 15 ou 60 m³/s à GOUNDAM. Le délai de propagation de l'onde de crue ne suffit pas à expliquer de tels écarts.

TABLEAU N° 53

LES DEBITS MOYENS MENSUELS à GOUNDAM
(en m³/s)

Année	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Module	Volume en 10 ⁹ m ³
1931-32	(1)	9,9	36	(58)	(75)					2,1	(0,1)	(0,1)		
32-33	(1)	4,6	21	35	55	130	202	120	47	8	0,3	0,1	52	1,64
34-35							59	33	6,6	0,3	0	0		
35-36	0,2	0,2	3	11,5	21	64	87	46	10,4	0,5	0	0	20	0,63
36-37	0	2,7	8	22	39	96	161	109	37	3,8	0,1	0	40	1,26
37-38	0	0,2	4,7	21	33	53	(59)	30	3,6	0,1	0	0	(17)	0,52
38-39	0	0,1	4,6	17,9	27	55	80	47	14,8	0,7	0	0	21	0,66
39-40	0	0	0,7	6,7	16,1	33	62	50	10,9	0,2	0	0	15	0,47
40-41	0	0	0,1	4,1	13,9	22								
41-42	0	0	(2)	9,6	16,9	31	32	11,6	1	0	0	0	8,7	0,27
42-43	0	(2)	6,8	16,6	29	39	30	7,1	0,1	0	0	0	10,9	0,34
45-46	0	0	(4,1)	12,8	22	44	70	32	5,8	0	0	0	15,8	0,50
46-47				23	36			74	25	1,4	0,1	0		
51-52	(0)	(0)	10,5	27	43	113	265	254	121	57	19	0,4	76	2,40
52-53	0,1	1,7	28	50	65	154	271	200	81	39	2,7	0,2	74	2,33
53-54	0	11,2	45	62	85	224	294	181	69	29	10,4	3,4	84	2,65
54-55	0,5	18,7	44	59	88	239	342	280	145	54	21	6,4	107	3,38
55-56	3,6	7,1	45	76	115	250	310	231	132	79	46	20	110	3,48
56-57	9,4	(5)	(23)	37	55	87	104	60	41	17,9	1,4	0	37	1,17
57-58	0	0,1	4,2	21	45	160	279	230	95	19	0,5	0	70	2,21
Moyenne:														
brute														
sur la	0,9	3,3	15,9	30	47	111	165	118	51	19,3	6,3	1,9	47	1,49
pér.d'ob:														
Minimum	0	0	0,1	4,1	13,9	22	30	7,1	0,1	0	0	0		
Maximum	9,4	18,7	45	76	115	250	342	280	145	79	46	20		

Les ruissellements locaux dus aux pluies d'hivernage sont susceptibles de fausser la correspondance pendant les mois d'Août et Septembre, mais cette éventualité n'est pas acceptable pour les mois de fin de crue (Octobre et Novembre).

Il faudrait admettre que les seuils réglant le débit de déversement et les lits des éffluents ne sont pas stables et se modifient à chaque crue. Mais ces modifications agiraient seulement sur les débits intermédiaires car la correspondance entre débits maximaux à DIRE et GOUNDAM est très correcte (voir plus loin).

Les hypothèses suivantes peuvent être avancées :

1°) Les seuils subissent des variations pendant les cotes moyennes à DIRE, mais, relativement, elles influent peu sur les forts débits.

2°) Il y a comblement en décrue et recreusement du chenal et des seuils pendant la montée des eaux. Ces mouvements n'altéreraient pas les conditions d'écoulement des forts débits.

Ces suppositions ne sont d'ailleurs pas pleinement satisfaisantes.

Si nous essayons, pour les mois de décrue à GOUNDAM, la même correspondance des débits moyens mensuels avec ceux de DIRE, nous remarquons, outre une dispersion importante, l'augmentation nette des débits moyens récents (depuis 1951) à GOUNDAM vis-à-vis des anciens, pour un même débit moyen mensuel à DIRE.

Nous devons nous attendre à cette modification du régime du marigot de GOUNDAM, due essentiellement au creusement du lit ; c'est d'ailleurs l'observation de ce phénomène directement sur les résultats de jaugeages qui nous a obligé à prendre deux courbes d'étalonnage pour la traduction des hauteurs en débits.

II - ETUDE des MODULES -

Les modules observés varient entre $8,7 \text{ m}^3/\text{s}$ (1941-1942) et $110 \text{ m}^3/\text{s}$ (1955-1956) ; la moyenne des 16 valeurs vaut $47 \text{ m}^3/\text{s}$. Cet échantillon est insuffisant pour une étude statistique. Etant donné la dépendance étroite du régime à GOUNDAM vis-à-vis de celui du NIGER à DIRE, nous avons essayé de retrouver les valeurs manquantes des modules le long des 34 années allant de 1924 à 1957.

Nous avons construit les deux courbes de correspondance entre les modules à GOUNDAM, d'une part, les modules et les hauteurs maximales à DIRE, d'autre part, à partir des 16 valeurs connues.

La relation entre les modules (graphique n° 56) est bonne pour les années faibles, mais se relâche pour les années moyennes et fortes, la dispersion des points y étant assez prononcée.

La détermination des modules à GOUNDAM, d'après les cotes maximales à DIRE (graphique n° 57), est délicate. Nous avons tracé une courbe moyenne ; si l'on ne tient compte que des années postérieures à 1950, dont les relevés sont vraisemblablement meilleurs, on est conduit à tracer une courbe plus élevée, c'est-à-dire qui donne des modules plus importants à GOUNDAM pour une même cote à DIRE. On retrouverait là le phénomène entrevu sur les débits moyens mensuels de décrue, de l'accroissement des écoulements à GOUNDAM lors des années récentes. Malheureusement, le point figuratif de l'année 1957-1958 se place très en-dessous de cette courbe. Or, nous savons par ailleurs (1) que l'année 1958-1959, elle, se place sur la même courbe que les points de 1951 à 1956, ses débits ayant été obtenus à partir du même barème d'étalonnage.

Qui plus est, l'année 1959-1960, qui a été traduite à l'aide d'un nouveau barème, se place elle aussi sur la même courbe.

Cette aberration de l'année 1957-1958, bien qu'explicable, doit nous rendre prudent quant à l'utilisation de ces courbes. Elles sont valables certes, mais avec une marge d'imprécision non négligeable.

Nous avons donc tenu compte des valeurs fournies par ces 2 courbes pour choisir les modules des années incomplètes à GOUNDAM. Le résultat de ce choix figure dans le tableau n° 54. Le recoupement des deux correspondances permet d'obtenir une précision de l'ordre de + 5 % pour le module à GOUNDAM ; ce qui est suffisant pour le but visé. Bien entendu, nous n'avons pas modifié les valeurs connues, même si elles s'écartent des valeurs fournies par les deux correspondances.

Notre nouvel échantillon de 34 valeurs admet une moyenne de 46 m³/s et une médiane, très inférieure, égale à 35 m³/s (tableau n° 55). Si l'on classe ces 34 modules, on observe rapidement qu'ils constituent deux groupes assez distincts :

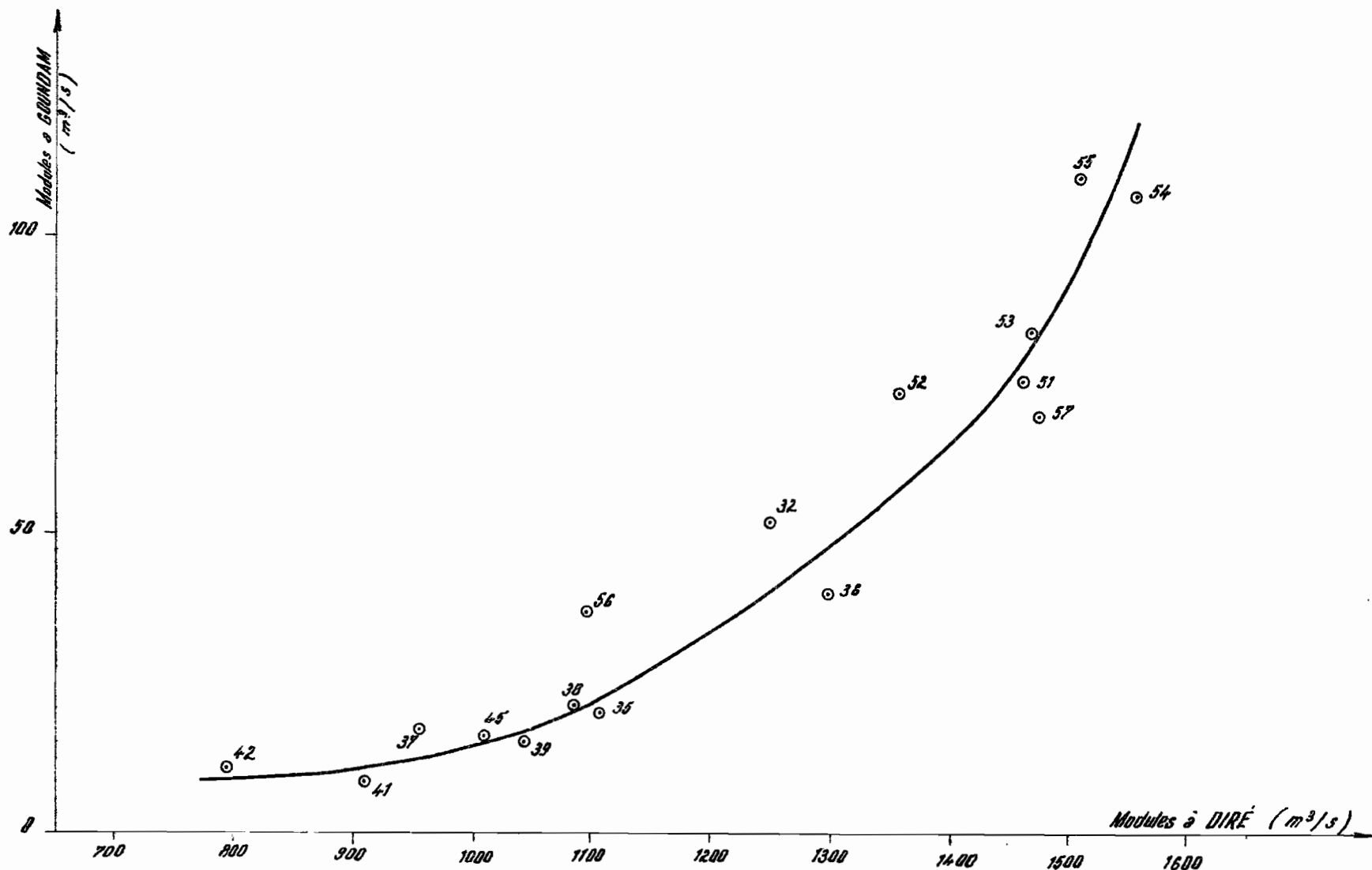
(1) Voir "Etudes Hydro-climatiques de la région des lacs TELE et FAGUIBINE" par P. DUBREUIL, Janvier 1961.

NIG 10 321

ED: ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER
LE: 10-11-1954
DES: C. P. H. H. H. H. H.
VISA:
TUBE N°:
A1

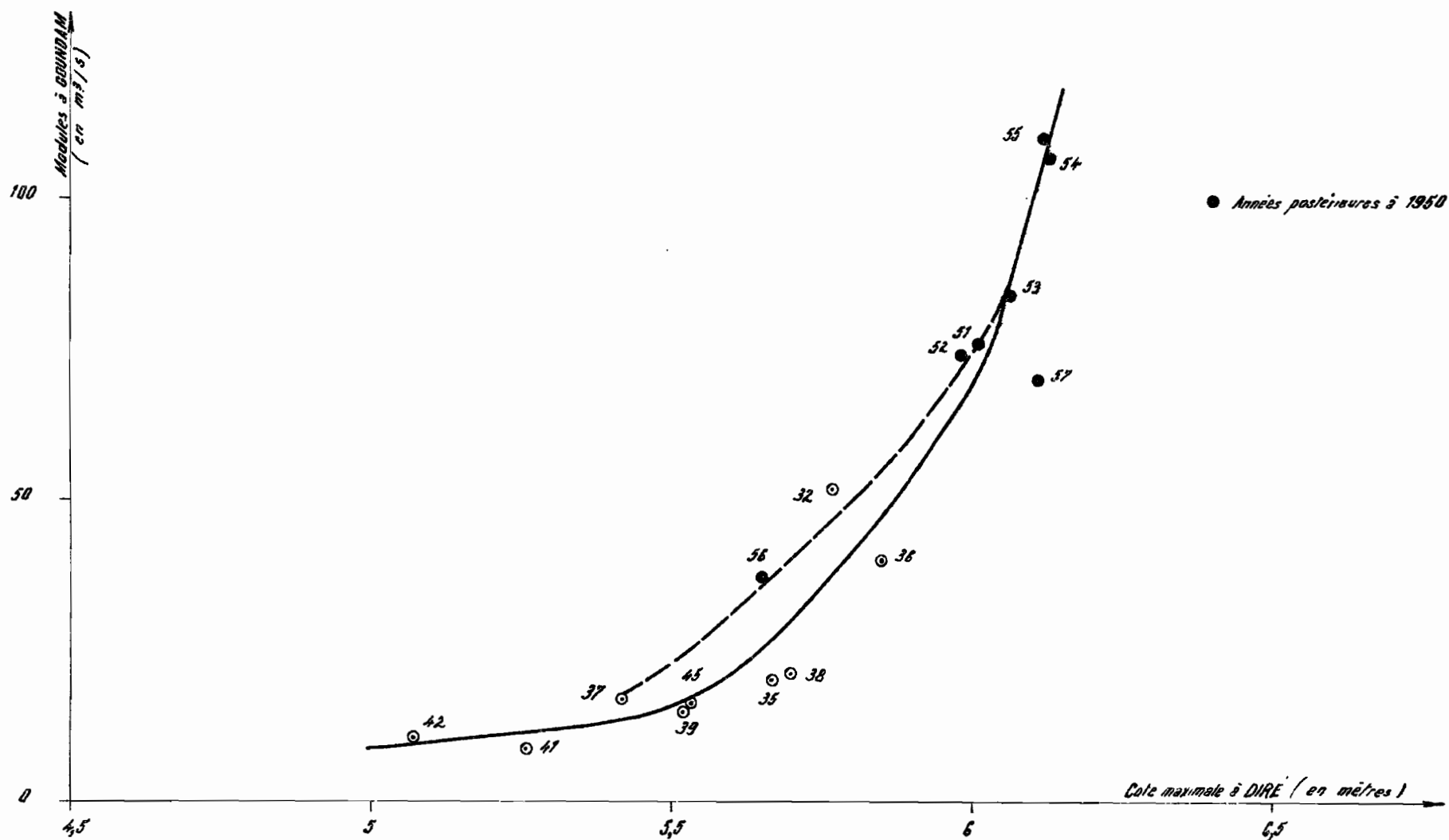
Gr. 56

RELATION ENTRE LES MODULES A GOUDAM ET DIRÉ (en m^3/s)



RELATION ENTRE LES MODULES A GOUNDAM ET LES COTES MAXIMALES A DIRÉ

Gr. 57



NIG 10.322

ED:

LE: 10/11/1964

DES: J. J. H. H. H.

VISA:

TUBE N°:

A1

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

TABEAU N° 54

MODULES à GOUNDAM d'après les MODULES et les COTES MAXIMALES à DIRE
(en m³/s)

Année	Modules à DIRE	Modules GOUNDAM d'après modules à DIRE	Cote max. DIRE en m	Modules GOUNDAM d'après H max. à DIRE	Module moyen adopté	Module observé	Volume écoulé en 10 ⁹ m ³
1924-25	1448	70/90	6,10	100	90		2,84
25-26	1527	90/110	6,17	125	115		3,63
26-27	1127	25	5,62	23	24		0,76
27-28	1414	60/80	6,03	77/80	78		2,46
28-29	1435	65/85	6,14	115	100		3,15
1929-30	1554	105/125	6,17	125	120		3,78
30-31	1323	45/60	5,86	50/55	55		1,73
31-32	1180	25/40	5,67	27/37	33		1,04
32-33	1248		5,77			52	1,64
33-34	1239	35/45	5,77	35/50	40		1,26
34-35	990	14	5,49	15/22	15		0,47
35-36	1105		5,67			20	0,63
36-37	1297		5,85			40	1,26
37-38	956		5,42			17,0	0,52
38-39	1085		5,70			21	0,66
39-40	1042		5,52			15	0,47
1940-41	860	10	5,16	10	10		0,32
41-42	909		5,26			8,7	0,27
42-43	794		5,07			10,9	0,34
43-44	929	11/12	5,39	13	12		0,38
44-45	744	8/9	5,10	10	9		0,28

TABLEAU N° 54 (Suite)

: Année :	: Modules : à DIRE	: Modules GOUNDAM : d'après modules : à DIRE	: Cote max : DIRE en m	: Modules GOUNDAM : d'après H max. : à DIRE	: Module moyen : adopté	: Module : observé	: Volume : écoulé en 10 ⁹ m ³
: 1945-46 :	: 1009	:	: 5,53	:	:	: 15,8	: 0,50
: 46-47 :	: 1137	: 26	: 5,67	: 25/37	: 30	:	: 0,95
: 47-48 :	: 843	: 9/10	: 5,26	: 11	: 10	:	: 0,32
: 48-49 :	: 1035	: 16/17	: 5,50	: 15/16	: 16	:	: 0,50
: 49-50 :	: 950	: 12	: 5,40	: 13	: 12,5	:	: 0,39
: 1950-51 :	: 1190	: 30/45	: 5,80	: 40/50	: 42	:	: 1,32
: 51-52 :	: 1460	:	: 6,01	:	:	: 76	: 2,40
: 52-53 :	: 1356	:	: 5,98	:	:	: 74	: 2,33
: 53-54 :	: 1466	:	: 6,06	:	:	: 84	: 2,65
: 54-55 :	: 1559	:	: 6,13	:	:	: 107	: 3,38
: 55-56 :	: 1510	:	: 6,12	:	:	: 110	: 3,48
: 56-57 :	: 1095	:	: 5,65	:	:	: 37	: 1,17
: 57-58 :	: 1475	:	: 6,11	:	:	: 70	: 2,21
:	:	:	:	:	:	:	:

ETUDE STATISTIQUE du MARIGOT de GOUNDAM

Classement des valeurs

Année	Débits maximaux m ³ /s	N°	Modules classés	Débits maximaux classés	Fréquence au dépassement
1924-25	340	1	120	378	0,029
25-26	378	2	115	378	0,059
26-27	94	3	110	362	0,088
27-28	302	4	107	359	0,118
28-29	362	5	100	340	0,147
29-30	378	6	90	320	0,176
30-31	208	7	84	313	0,206
31-32	109	8	78	306	0,235
32-33	216	9	76	305	0,265
33-34	162	10	74	302	0,294
34-35	62	11	70	299	0,324
35-36	94	12	55	216	0,353
36-37	170	13	52	208	0,384
37-38	65	14	42	177	0,412
38-39	87	15	40	170	0,442
39-40	74	16	40	162	0,471
40-41	40	17	37	114	0,485
41-42	39	18	33	110	0,515
42-43	41	19	30	109	0,529
43-44	58	20	24	94	0,559
44-45	36	21	21	94	0,588
45-46	77	22	20	87	0,618
46-47	110	23	17	77	0,647
47-48	48	24	16	74	0,676
48-49	70	25	15,8	70	0,706
49-50	60	26	15	65	0,735
50-51	177	27	15	62	0,765
51-52	313	28	12,5	60	0,794
52-53	299	29	12	58	0,824
53-54	305	30	10,9	48	0,853
54-55	359	31	10	41	0,882
55-56	320	32	10	40	0,912
56-57	114	33	9	39	0,941
57-58	306	34	8,7	36	0,970
Moyenne			46	173	
Médiane			35	112	

N.B. Seuls les débits maximaux soulignés ont été observés.

- des valeurs faibles et peu dispersées, comprises entre 8,7 et 20 m³/s environ,
- le reste des valeurs beaucoup plus dispersées, qui s'étalent entre 30 et 120 m³/s.

Pris dans son ensemble, cet échantillon n'admet pas l'ajustement sur une loi normale de GAUSS, son hétérogénéité paraît être structurale. L'analyse du mécanisme de formation du régime du marigot de GOUNDAM nous en fournit une explication.

En-dessous d'une certaine cote maximale à DIRE, les crues du NIGER sont trop faibles pour se déverser en grand sur ses berges ; seuls les lits mineurs des marigots de KONDI et TASSAKANT - qui formeront le marigot de GOUNDAM - sont alimentés. Ce régime est assez régulier et les modules à GOUNDAM, étroitement liés à ceux de DIRE, croissent lentement avec ceux-ci.

Au-dessus de cette même cote, les débordements sur rives du NIGER apparaissent et s'amplifient au fur et à mesure que les crues sont plus fortes. Le marigot de GOUNDAM n'est pas seulement alimenté par des eaux coulant dans les lits mineurs, mais par tous les débordements issus des mares trop pleines du KESSOU, dont il assure le drainage. Les modules à GOUNDAM restent assez liés aux cotes maximales à DIRE, mais croissent beaucoup plus vite que dans le premier cas.

Pourquoi, dans ces conditions, ne pas admettre la dualité de formation des modules à GOUNDAM et la possibilité de leur ajuster une loi bimodale ? Deux conditions sont nécessaires pour que cette hypothèse de travail soit applicable :

- a) que l'on trouve une limite nette séparant les deux séries de modules,
- b) que, dans chaque loi, cette limite ne soit atteinte que pour de faibles fréquences.

Portés sur graphique en coordonnées gaussiques, en fonction de leur fréquence au dépassement, les 34 modules s'alignent sur deux droites, la valeur du module correspondant au point de concours des deux droites peut être prise comme limite. On trouve confirmation de cette limite dans les changements de courbure affectant les deux courbes (graphiques n°56 et 57) de correspondances avec DIRE. Un

dernier examen des 34 modules nous conduit à choisir $25 \text{ m}^3/\text{s}$ comme module limite, qui scinde l'échantillon en deux :

- en-dessous de $25 \text{ m}^3/\text{s}$, les modules des années sèches, formant la série A, représentent le régime du marigot de GOUNDAM alimenté uniquement par les lits mineurs,
- au-dessus de $25 \text{ m}^3/\text{s}$, fermant la série B, se groupent les modules des années abondantes représentatifs du régime à GOUNDAM dans le cas d'une alimentation mixte : lits mineurs et débordements.

Le tableau n° 56 montre l'essai d'ajustement de 2 lois normales aux séries A et B des modules; moyennes et médianes sont très voisines, l'ajustement est tout à fait correct comme le montre le graphique n° 58.

On vérifie que la limite de $25 \text{ m}^3/\text{s}$ n'est obtenue que pour de très faibles fréquences au dépassement :

$$f = 0,01 \text{ dans la série A}$$

$$f = 0,937 \text{ dans la série B}$$

ce qui justifie le choix de deux lois normales, bien séparées, pour représenter les modules à GOUNDAM.

Pour déterminer les valeurs extrêmes des modules correspondants aux fréquences rares, il nous faut :

- 1°) connaître la probabilité d'apparition des séries A et B,
- 2°) appliquer le théorème des probabilités composés de 2 épreuves indépendantes.

Au module limite de $25 \text{ m}^3/\text{s}$, correspond un module de $1125 \text{ m}^3/\text{s}$ à DIRE ; celui-ci, dans l'ajustement gaussique des modules de cette station, admet une fréquence au dépassement de 0,40.

Nous dirons donc que sur la population mère infinie des modules à DIRE (donc à GOUNDAM), les années sèches ont 40 % de chances de se produire, les années abondantes 60 % et qu'ainsi les fréquences à retenir sont :

$$p = 0,4 \text{ pour la série A}$$

$$q = 0,6 \text{ pour la série B}$$

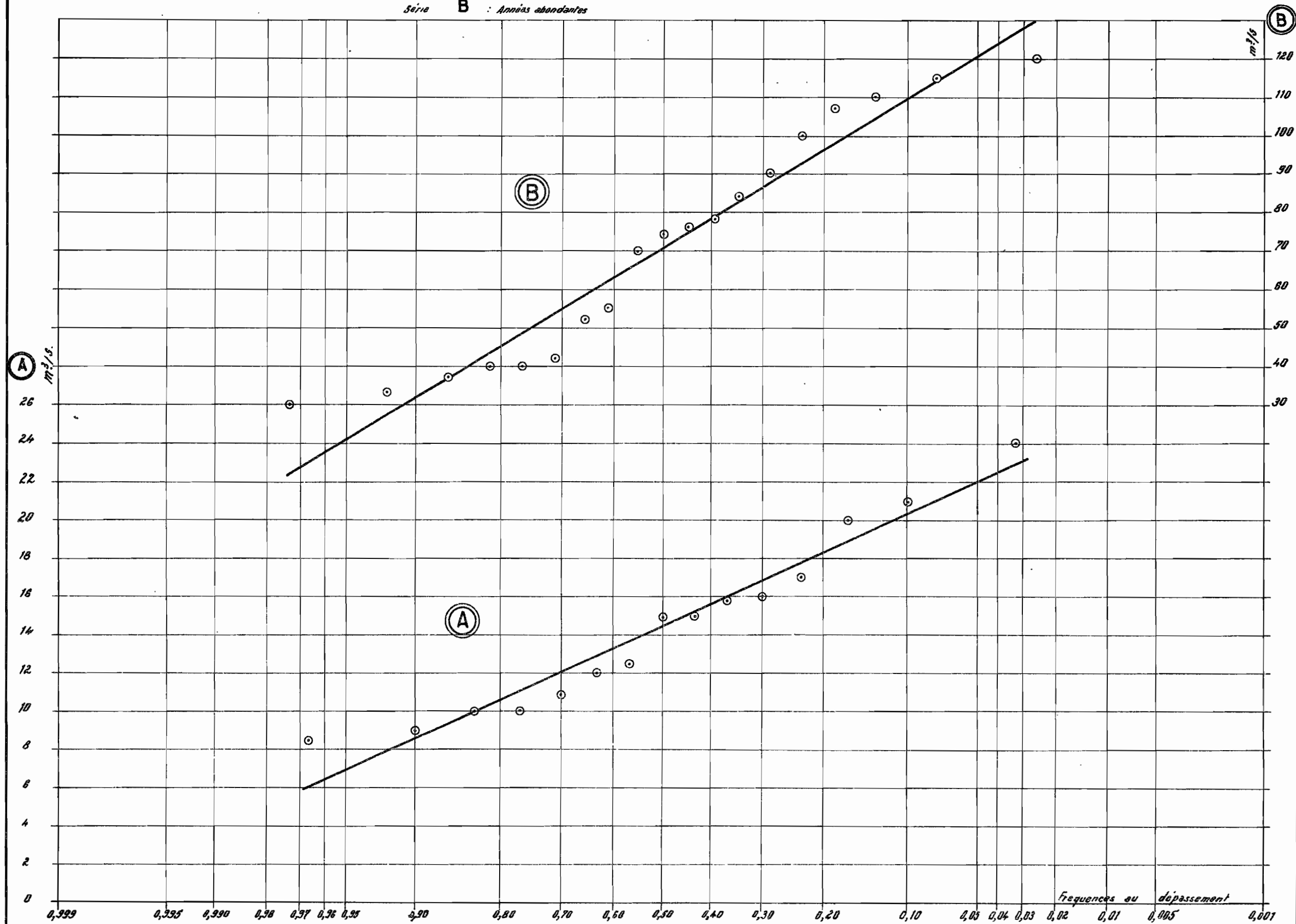
ETUDE STATISTIQUE des MODULES à GOUNDAM

A - Années sèches			B - Années abondantes		
N°	Modules	Fréquences	N°	Modules	Fréquences
1	24	0,033	1	120	0,026
2	21	0,100	2	115	0,079
3	20	0,167	3	110	0,132
4	17	0,233	4	107	0,184
5	16	0,300	5	100	0,237
6	15,8	0,367	6	90	0,289
7	15	0,433	7	84	0,342
8	15	0,500	8	78	0,395
9	12,5	0,567	9	76	0,447
10	12	0,633	10	74	0,500
11	10,9	0,700	11	70	0,553
12	10	0,767	12	55	0,605
13	10	0,833	13	52	0,658
14	9	0,900	14	42	0,711
15	8,5	0,967	15	40	0,763
			16	40	0,816
			17	37	0,868
			18	33	0,921
			19	30	0,974
Moy.	14,4			71	
Médiane	15			74	
Ecart-type	4,6			30	

DISTRIBUTION STATIQUE DES MODULES A GOUNDAM

Gr. 58

Série A : Années sèches
Série B : Années abondantes



Si f_a est la fréquence au dépassement d'un module de la série A et f_b celle d'un module de la série b, on obtiendra la fréquence réelle d'apparition d'un module à GOUNDAM en faisant soit le produit $p \times f_a$, soit $q \times f_b$.

A l'inverse, pour des fréquences réelles données, on peut trouver instantanément la fréquence f_a et f_b dans l'une ou l'autre série.

Modules très faibles :

Décile inférieur : $0,10 = 0,40 \times f_a$ d'où $f_a = 0,25$ fréquence à laquelle correspond un module de $11,3 \text{ m}^3/\text{s}$ dans la série A. Pour le centile inférieur, on trouve $f_c = 0,025$ d'où le module qui vaut $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Remarquons qu'en 34 ans, ce module centenaire n'a jamais été atteint, le module décennal ayant, lui, été dépassé 5 fois. A la plus faible valeur connue : $8,7 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1941-1942 correspondrait une fréquence de 0,04, soit à peine une récurrence de 1 sur 50.

Modules très forts :

Avec $q = 0,60$, on calcule pour les décile et centile supérieurs, les fréquences f_b égales à 0,167 et 0,016. L'ajustement de GAUSS sur la série B nous donne les modules respectifs qui valent 100 et $135 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le module centenaire n'a jamais été atteint en 34 ans, le module décennal fut dépassé 4 fois et égalé en 1928-1929. La plus forte valeur de l'échantillon : $120 \text{ m}^3/\text{s}$, pour 1929-1930, bénéficierait d'une fréquence de 0,051 pratiquement cinquantenaire.

Signalons, pour terminer, que la moyenne calculée par la loi bimodale vaut $42 \text{ m}^3/\text{s}$, valeur légèrement plus faible que la moyenne brute égale à $46 \text{ m}^3/\text{s}$.

III - LES VOLUMES ECOULES -

Nous allons traduire succinctement les conclusions de l'étude des modules, en volumes écoulés, quantités beaucoup plus parlantes pour le marigot de GOUNDAM.

TABIEAU N° 57

DEBITS MAXIMAUX et DATES à DIRE et GOUNDAM

Année	Débits maximaux: GOUNDAM m ³ /s	Date du maximum: GOUNDAM	Débits maximaux: DIRE m ³ /s	Date du maximum: à DIRE	Durée de propagation: de la crue en jours
1932-33	216	15/1	2384	7/1	8
34-35	62	8/1	2200	23/12	15
35-36	94	8/1	2314	26/12	12
36-37	170	18/1	2440	30/12	18
37-38	65 env.	env. 10/1	2157	23/12	env. 17
38-39	87	15/1	2335	27/12	18
39-40	74	29/1	2217	30/12	29
41-42	39	5/1	2061	15/12	20
42-43	41	21/12	1947	3/12	18
45-46	77	7/1	2223	24/12	14
51-52	313	30/1	2557	22/1	8
52-53	299	10/1	2535	5/1	5
53-54	305	13/1	2595	27/12	16
54-55	359	19/1	2647	7/1	12
55-56	329	8/1	2640	10/1	1 (?)
56-57	114	10/1	2300	24/12	16
57-58	306	19/1	2632	15/1	4

En règle générale, plus la crue est forte, plus sa propagation est rapide. Toutes les faibles crues (moins de 2350 m³/s à DIRE ou de 140 m³/s à GOUNDAM) mettent plus de 10 jours pour faire le trajet entre les 2 stations, en moyenne 15 à 18 jours, 29 jours au maximum (en 1939-1940).

Toutes les fortes crues (plus de 300 m³/s à GOUNDAM, 2500 m³/s à DIRE) se propagent en une semaine environ, toujours en moins de 15 jours. Elles vont parfois curieusement vite : 1 jour en 1955-1956, chiffre certainement erroné du fait de l'imprécision du choix des dates.

En débit moyen mensuel, Janvier dépasse de 50 % ses deux voisins : 165 m³/s de moyenne sur 16 ans contre 111 en Décembre et 118 en Février.

Nous avons vu précédemment que la dispersion des débits moyens mensuels était réduite en hautes eaux et que la mauvaise correspondance avec DIRE s'améliorait aussi durant cette période.

Il y a même une excellente corrélation entre le débit moyen mensuel maximal à GOUNDAM et le module à DIRE (graphique n° 59). On remarque un net changement de courbure, ici aussi, vers 1125 m³/s, qui vient corroborer l'hypothèse d'hétérogénéité du régime à GOUNDAM, utilisée au paragraphe des modules.

Si l'on convient que la relation reste linéaire pour les forts débits, on peut estimer, suivant les modules à DIRE, le débit mensuel maximal à GOUNDAM vers 300 m³/s pour la fréquence décennale, entre 370 et 440 m³/s pour la fréquence centenaire. L'observation la plus élevée, celle de Janvier 1955, vaut 342 m³/s.

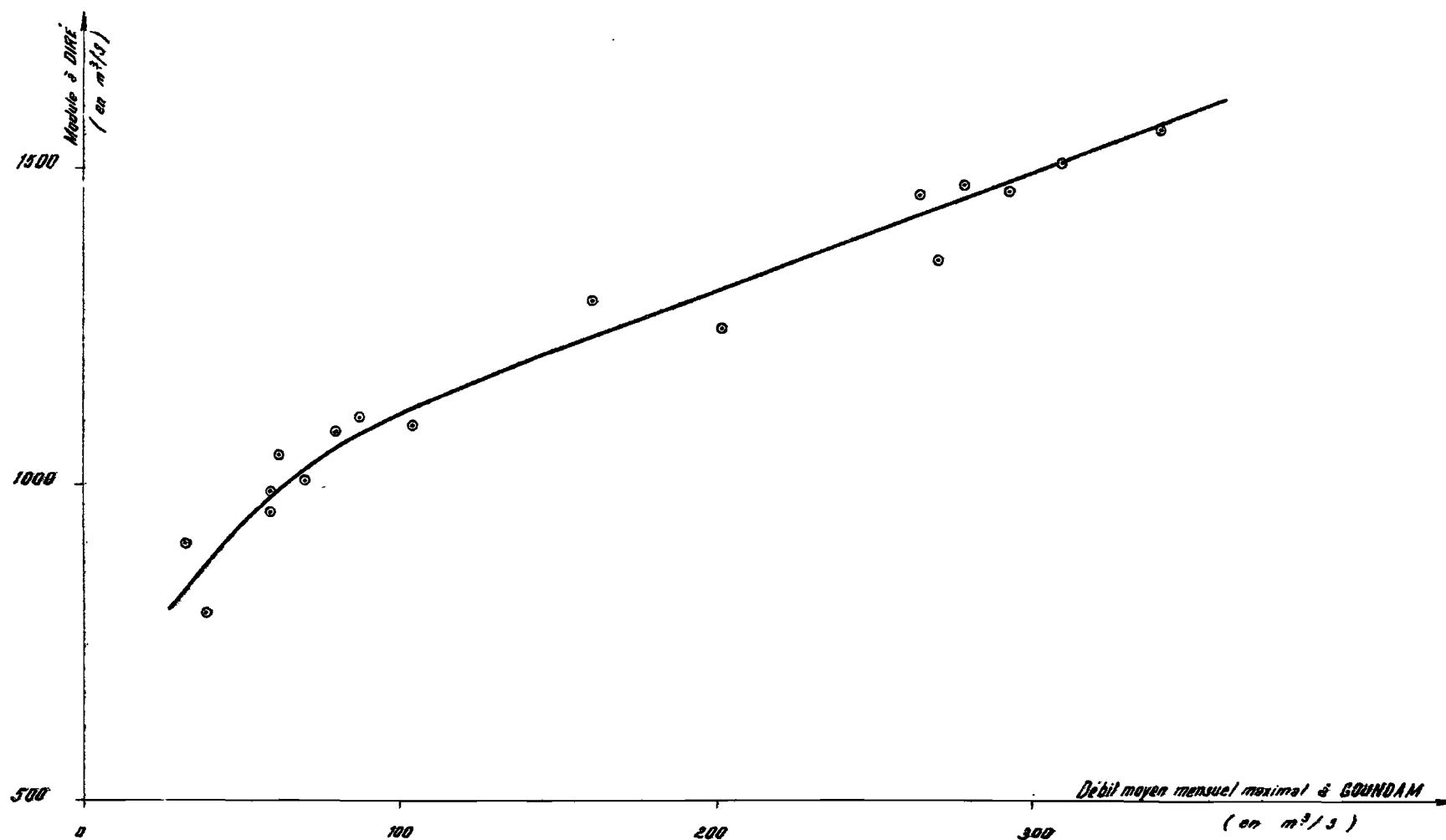
On retrouve une relation de la même forme et d'une égale précision entre les débits maximaux de crue aux deux stations de GOUNDAM et DIRE (graphique n° 60). Nous ne connaissons que 16 débits de crue répartis entre 359 m³/s (1955) et 39 m³/s (1942) ; nous avons utilisé la relation avec DIRE pour calculer les 18 valeurs nécessaires à l'obtention d'un échantillon complet de 34 débits maximaux, sur la période 1924-1957. Les valeurs extrêmes deviennent 36 et 378 m³/s avec 173 m³/s comme moyenne. On retrouve comme pour les modules, une hétérogénéité structurale nette, puisque la médiane vaut seulement 112 m³/s (tableau n° 55).

NIG 10.324

ED: ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER
 LE: 11-11-1951 DES: J.-P. HUBERT VISA: TUBE N°: A1

Gr. 59

RELATION ENTRE LE DEBIT MOYEN MENSUEL MAXIMAL A GOUNDAM ET LE MODULE A DIRÉ



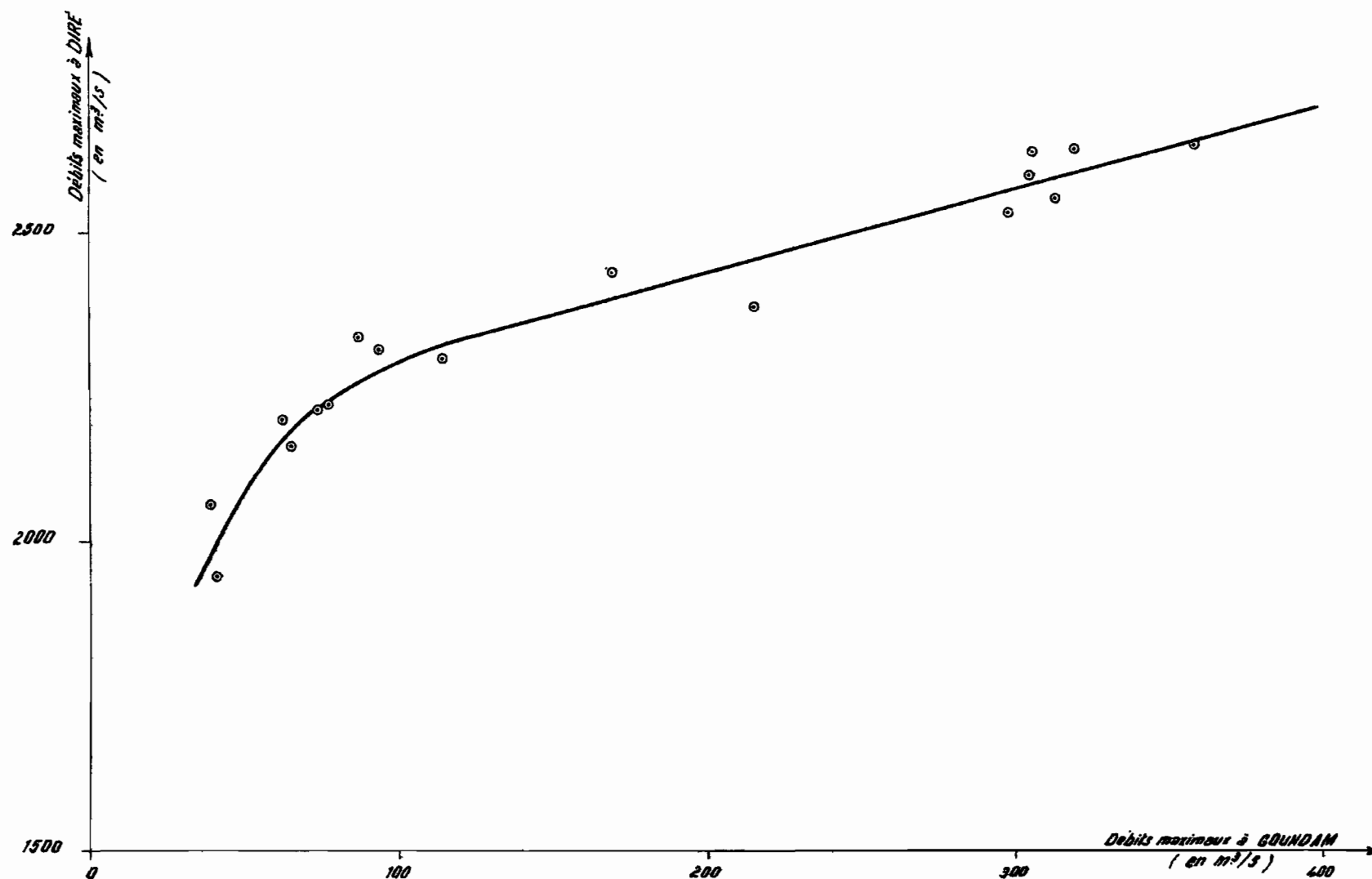
Dix-huit débits sont inférieurs à $114 \text{ m}^3/\text{s}$ et les seize autres dépassent $162 \text{ m}^3/\text{s}$; nous avons choisi $140 \text{ m}^3/\text{s}$ comme débit limite pour séparer les deux séries, il correspond à $2355 \text{ m}^3/\text{s}$, débit maximal médian à DIRE, ce qui donne des probabilités égales aux deux séries.

Nous avons appliqué l'ajustement de deux lois normales, comme pour les modules (tableau n° 58). On obtient en définitive :

- $351 \text{ m}^3/\text{s}$ pour le débit maximal de fréquence décennal
- 443 " " " " " centenaire

Ces chiffres sont tout à fait en harmonie avec ceux que l'on aurait pu obtenir directement à partir des débits de crue à DIRE en utilisant le graphique n° 60 de correspondance entre les deux stations.

A1



ETUDE STATISTIQUE des CRUES à GOUNDAM

Série A - Années sèches			Série B - Années abondantes		
N°	Débits maximaux	Fréquences	N°	Débits maximaux	Fréquences
1	114	0,028	1	378	0,031
2	110	0,083	2	378	0,094
3	109	0,139	3	362	0,156
4	94	0,194	4	359	0,219
5	94	0,250	5	340	0,281
6	87	0,305	6	320	0,344
7	77	0,361	7	313	0,406
8	74	0,417	8	306	0,469
9	70	0,472	9	305	0,531
10	65	0,528	10	302	0,594
11	62	0,583	11	299	0,656
12	60	0,639	12	216	0,719
13	58	0,695	13	208	0,781
14	48	0,750	14	177	0,844
15	41	0,806	15	170	0,906
16	40	0,861	16	162	0,969
17	39	0,917			
18	36	0,972			
Moy.	71			287	
Médiane	67,5			305,5	
Ecart type	26			76	

LE MARIGOT de GOUNDAM à GOUNDAM

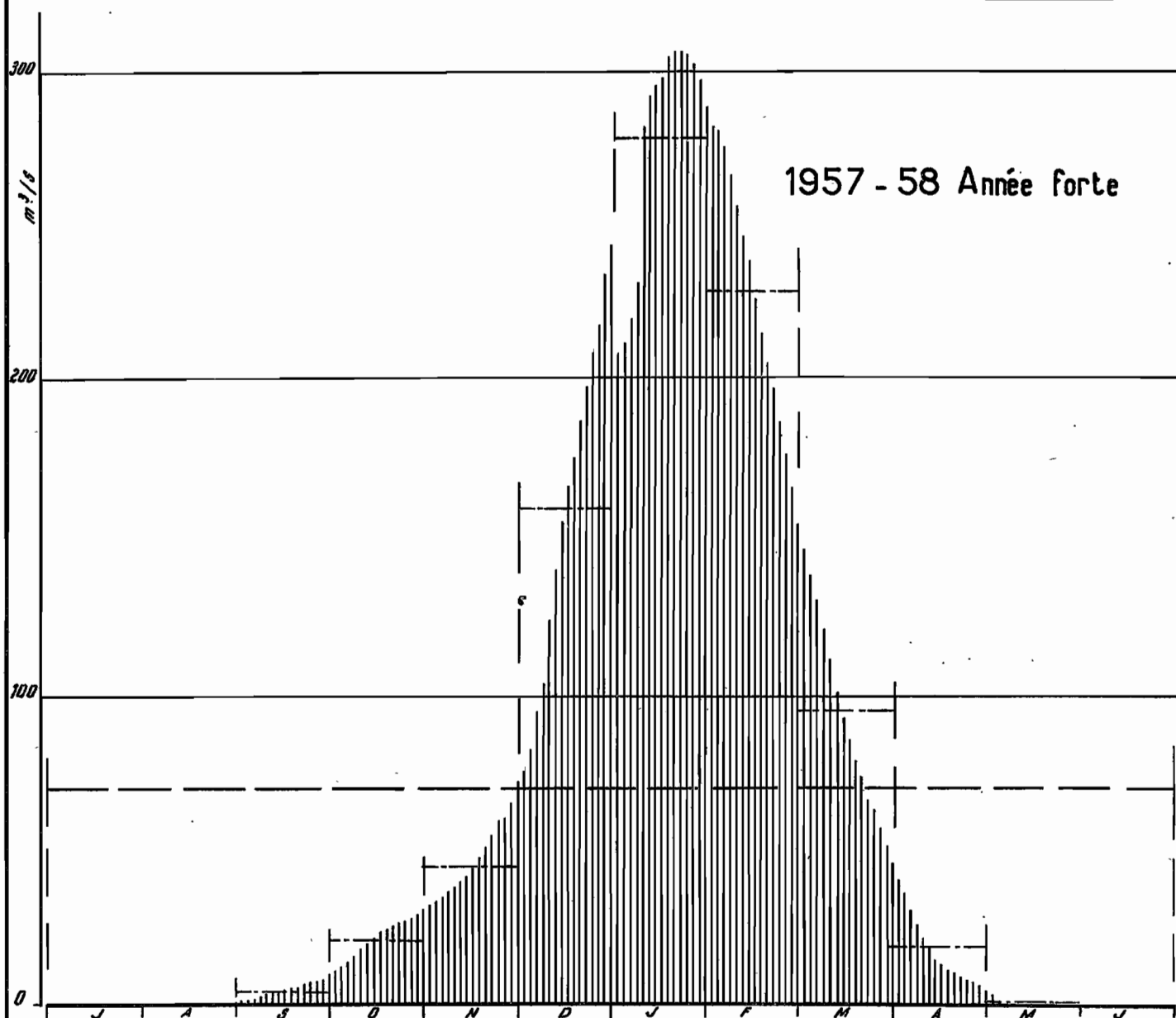
Débits caractéristiques (m³/s)

Années	DC E	DC 9	DC 6	DC 3	DC C
1931-32	0,16	0,90			
1932-33	0,14	0,90	27	76	208
1934-35	0,00				61
1935-36	0,00	0,08	4,4	29	93
1936-37	0,00	0,10	13,8	61	167
1937-38	0,00	0,02	3,5	31	env. 62
1938-39	0,00	0,00	7,4	32	83
1939-40	0,00	0,00	4,4	23	70
1940-41	0,00				
1941-42				14,4	38
1942-43			3	23	41
1945-46			4,4	24	76,00
1946-47	0,00			48	
1951-52	0,00	0,90	36	100	294
1952-53	0,00	1,60	47	92	280
1953-54	0,00	9,00	50	107	299
1954-55	0,00	19,00	58	180	348
1955-56	2,30	28,00	77	172	316
1956-57	0,00		30	54	110
1957-58	0,00	0,00	20	123	303

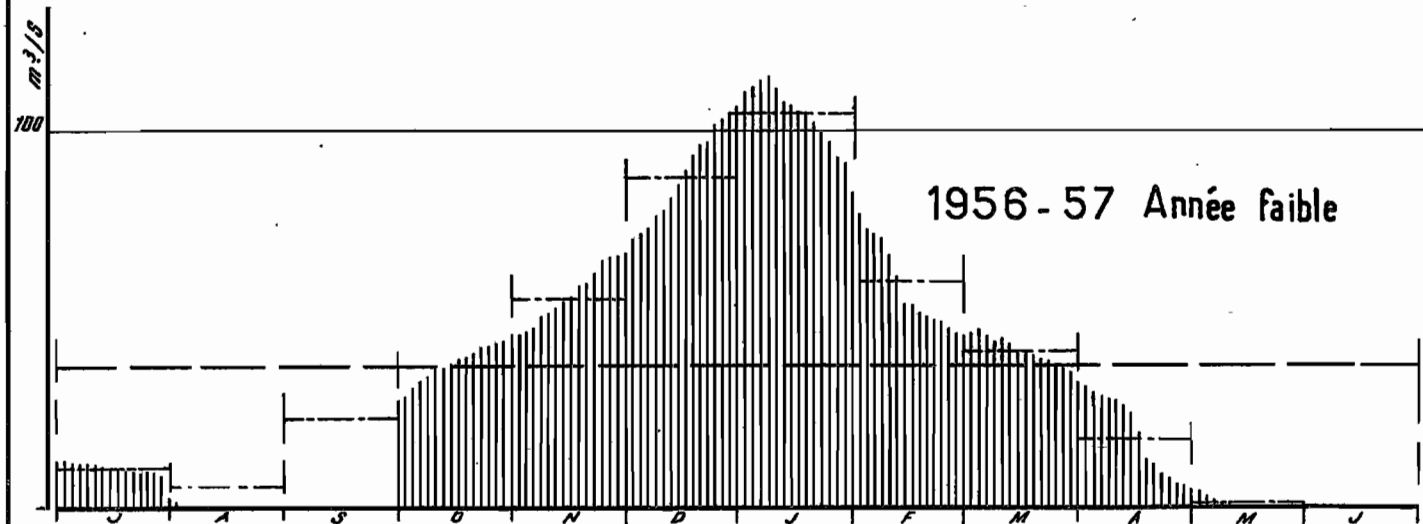
Le marigot de GOUNDAM à GOUNDAM

Gr. 61

1957 - 58 Année forte



1956 - 57 Année faible



NIG 10 326

ÉLECTRICITÉ DE FRANCE INSPECTION GÉNÉRALE UNION FRANÇAISE & ÉTRANGER

ED:

LE: M-D-MCMLXI

DES: J-P Hofflich

VISA:

TUBE N°:

A1

C H A P I T R E X I I

RESUME des PRINCIPALES CARACTERISTIQUES du REGIME

Voici que s'achève le troisième tome de la Monographie de la Cuvette Lacustre du NIGER. Nous avons pensé qu'il serait utile de conclure, comme pour le NIGER Supérieur, en présentant les principales caractéristiques du régime du fleuve sous forme de fiches résumant ces données pour chaque station. Nous tenons pareillement à avertir le lecteur que l'utilisation rationnelle de ces fiches exige la connaissance de leur processus d'établissement, développé dans les chapitres précédents.

En consultant ces fiches depuis la première qui nous remémore les caractéristiques du NIGER Supérieur à KOULIKORO jusqu'à celle de DIRE qui clôt pratiquement l'épisode lacustre, quelles remarques formulerons-nous ?

1°- Le NIGER grossi du BANI apporte en année moyenne environ 70 milliards de m^3 à sa cuvette lacustre qui n'en restitue que la moitié à DIRE.

Les pertes globales d'environ 35 milliards de m^3 en année moyenne peuvent s'accroître considérablement lors d'années très abondantes et même dépasser 60 milliards de m^3 : l'excès d'hydraulicité du NIGER Supérieur et du BANI profite plus à la cuvette qu'au fleuve lui-même puisque la restitution maximale à DIRE ne semble pas pouvoir excéder 50 milliards de m^3 .

2°- Ces pertes se nourrissent surtout au détriment des pointes de crues. Si l'on compare les crues décennales le long du fleuve dans sa cuvette, on assiste à une importante diminution : 7900 m^3/s à KOULIKORO, plus 3180 m^3/s à DOUNA, ne donnent qu'environ 3050 m^3/s à MOPTI. Ainsi, les débits maximaux du BANI à DOUNA et du NIGER à MOPTI sont-ils du même ordre de grandeur.

Plus de 70 % du débit maximal (NIGER + BANI), c'est-à-dire, en fait, un débit équivalent à la totalité de la crue du NIGER, se déverse dans la cuvette lacustre.

L'atténuation de l'onde de crue est surtout nette sur le NIGER où le débit décennal tombe à 3400 m³/s à TILÉNBEYA, après amputation de 1700 m³/s par le DIAKA.

Entre MOPTI et DIRE, la diminution est évidemment moindre puisqu'on trouve 2640 m³/s comme débit maximal décennal à cette dernière station, une notable fraction (inconnue d'ailleurs) du prélèvement du DIAKA faisant retour au fleuve par le lac DEBO.

3°- Le régime du fleuve se trouve régularisé fortement d'amont en aval.

Parti de KOULIKORO et DOUNA, stations irrégulières et susceptibles de crues violentes, le flot de crue aboutit enfin à DIRE où l'hydrogramme n'est plus qu'une sinusoïde plus ou moins renflée de laquelle toute irrégularité a disparu.

4°- Les étiages bénéficient des restitutions appréciables des plaines inondées. Ils sont mal connus car les bonnes sections de mesures manquent. Les prélèvements de l'Office du NIGER sont compensés par l'alimentation en retour par la nappe alluviale et les apports du BANI. On tombe de 48 m³/s en moyenne, à KOULIKORO, jusque vers 30 m³/s à KIRANGO, pour remonter vers 65 m³/s à MOPTI et 50 m³/s à DIRE.

Le travail effectué par la Mission d'Etudes et d'Aménagements du NIGER a été remarquable. Il n'en est pas pour autant suffisant et achevé ; beaucoup de problèmes restent à résoudre.

Nous avons une bonne idée du bilan global de la cuvette (entrée et sortie) et des caractéristiques principales du régime aux diverses stations.

Mais il faudrait encore de très nombreux jaugeages pour préciser les débits des grandes stations. Quant à l'étude détaillée du mouvement des eaux dans la cuvette (régime des divers effluents, lacs...) elle n'est qu'ébauchée. Pour arriver à sa parfaite connaissance, plusieurs années d'études avec un nombreux personnel qualifié seraient nécessaires si l'on en juge d'après les résultats obtenus par l'O.R.S.T.O.M. sur les cours terminaux du LOGONE et du CHARI, au Tchad, dont l'analogie géographique avec la cuvette lacustre nigérienne est frappante.

Cours d'eau : NIGER
 Station : KOULIKORO
 Superficie du bassin : 120.000 km²
 Pluviométrie moyenne sur 35 ans : 1596 mm

MODULES estimés à partir d'une période de 51 ans de débits observés (1907-57)	Décennal faible 1077	Moyen 1545	Décennal fort 2013 (m ³ /s)
---	-------------------------	---------------	---

ORUES

Maximum observé sur 51 ans	9700 m ³ /s
Crue décennale estimée à	7900 "
Crue centenaire estimée à	9600 "

Maximum de fréquence d'apparition du 21 au 30 Septembre

ETIAGES

Limite inférieure	:	15 m ³ /s
Valeur décennale	:	21 "
Valeur moyenne	:	48 "

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

Pér.	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A
51	95	361	1239	3214	5284	4560	2088	804	404	195	101	69

Cours d'eau : NIGER
 Station : KIRANGO
 Superficie du bassin : 137.000 km²
 Pluviométrie moyenne sur 35 ans : 1520 mm

MODULE MOYEN estimé à partir
 d'une période de 51 ans de
 débits observés ou calculés

1346 m³/s (sous-estimé)

CRUES

Maximum observé sur 22 ans : 7416 m³/s
 Crue décennale estimé à : 6750 "
 Crue centenaire estimée à : (7500) "

Maximum de fréquence d'apparition entre le 25 Septembre et
 le 5 Octobre

ETIAGES

Limite inférieure : peut-être nulle (prélèvement de tout le débit
 par l'Office du NIGER)
 Valeur observée sur 21 ans la plus faible : 11 m³/s
 Valeur moyenne : (30) "

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

```

=====
: Pér.: M : J : J : A : S : O : N : D : J : F : M : A :
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:
: 20 : 70 : 309:1308:3065:4951:4842:2459:1009: 445: 210: 98 : 64 :
: : : : : : : : : : : : : :
=====

```

Cours d'eau : NIGER
 Station : KE-MACINA
 Superficie du bassin : 141 000 km²
 Pluviométrie moyenne sur 35 ans : 1500 mm

MODULE MOYEN estimé à partir
 d'une période de 51 ans de
 débits observés ou calculés

1360 m³/s (faible)

CRUES

Maximum observé sur 6 ans : 5421 m³/s
 Crue décennale estimée à : (5450) "
 Crue centenaire estimée à : ((5700))

Maximum de fréquence entre le 25 Septembre et le 5 Octobre

ETIAGES

Limite inférieure : (15 m³/s)
 Valeur la plus faible observée sur 6 ans : 35 m³/s
 Valeur moyenne : (50)

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

```

=====
: Pér.: J : J : A : S : O : N : D : J : F : M : A : M :
:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:-----:
: 6 : 314:1184:2602:4359:4793:2984:1672: 817: 428: 257: 169: 139:
:  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :  :
=====
    
```

Cours d'eau : NIGER
 Station : TILÉMBEYA
 Superficie du bassin : 143.000 km²
 Pluviométrie moyenne sur 35 ans : 1480 mm

MODULES estimés à partir	Décennal faible	Moyen	Décennal fort
- d'une période de 36 ans de débits observés (1922-57)	786	1016	1246 (m ³ /s)
- d'une période de 51 ans de débits observés ou calculés (1907-1957)	968		

CRUES

Maximum observé sur 24 ans	: 3469 m ³ /s	
Crue décennale estimée à	: 3400 "	NB : Ecrêtement des crues par déversement
Crue centenaire estimée à	: (3600) "	

ETIAGES

Limite inférieure	: 20 m ³ /s
Valeurs observées sur 20 ans	
la plus faible	: 30 "
moyenne	: 64 "

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

Pér.	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
24	164	656	1740	2984	3032	1795	758	371	218	126	91	88

Cours d'eau : DIAKA
 Station : KARA
 Superficie du bassin : nulle (éffluent)
 Pluviométrie moyenne :

MODULE MOYEN estimé à partir
 de débits observés ou calculés
 - sur une période de 36 ans : 508 m³/s
 - sur une période de 51 ans : 484 "

CRUES

Maximum observé en 17 ans : 1766 m³/s
 Crue décennale estimée à : 1700 "
 Crue centenaire estimée à : (1800)

Maximum de fréquence d'apparition entre le 1er et le 10 Octobre

ETIAGES

Limite inférieure : nulle
 Valeur la plus fréquente : nulle
 Valeur maximale en 19 ans : 7 m³/s

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

	Pér.	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
17	37	267	888	1558	1524	871	295	117	48	13	5	4	

Cours d'eau : NIGER
 Station : MOPTI-NANTAKA
 Superficie du bassin : 281.600 km²
 Pluviométrie moyenne : 1310 mm
 sur 35 ans

MODULES estimés à partir de débits observés ou calculés	Décennal faible	Moyen	Décennal fort
- sur une période de 35 ans	873	1155	1437
- sur une période de 51 ans		(1085)	

CRUES

Maximum observé sur 23 ans : 3080 m³/s
 Crue décennale estimée à : (3050) "
 Crue centenaire estimée à : ((3200))"

Maximum de fréquence d'apparition entre le 1er et le 10 Novembre
 Etalement de la courbe de fréquence vers la période postérieure pour
 les très fortes crues

ETIAGES Valeurs imprécises

Limite inférieure : (35) m³/s

Valeurs observées sur 16 ans:

la plus faible : 40 "

Etiage moyen : ((65)) "

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

Pér.	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M
21	177	651	1689	2541	2796	2668	2047	1085	430	198	115	87

Cours d'eau : Marigot de GOUNDAM
 Station : GOUNDAM
 Superficie du bassin : environ 1500 km² à partir de la zone de débordement du NIGER
 Pluviométrie moyenne sur 35 ans : 250 mm (sur les 1500 km²)

MODULES estimés à partir de débits observés ou calculés Décennal faible Moyen Décennal fort

- sur une période de 34 ans 11,3 46 100 (m³/s)

- sur une période de 51 ans (42)

CRUES

Maximum observé sur 16 ans : 359 m³/s
 Crue décennale estimée à : 351 "
 Crue centenaire estimée à : (443) "

Maximum de fréquence d'apparition entre le 1er et le 10 Janvier
 Etalement de la courbe de fréquence vers la période postérieure

ETIAGES

Limite inférieure : Nulle
 Valeur la plus fréquente : id
 Valeur moyenne : nulle
 Un seul étiage non nul en 16 ans : (1,6 m³/s) en 1955

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

Pér.	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J
16	0,9	3,3	15,9	30	47	111	165	118	51	19,3	6,3	1,9