

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE DE BANGUI

COMPLÉMENTS A L'ETUDE DES BASSES EAUX
DE LA M'BALI A BOALI

par
Serge PIEYNS
Ingénieur Hydrologue

Cette note sur les basses eaux de la rivière M'BALI à l'usine hydroélectrique de BOALI a deux buts principaux, d'une part à la demande d'ENERCA, tenter une estimation des débits probables pour la saison sèche 1974, d'autre part utiliser les données de 7 années supplémentaires, 1967 à 1973, pour préciser les résultats obtenus dans la première étude réalisée par l'ORSTOM en Juin 1967 (1). On assiste en effet depuis plusieurs années à une aggravation des conditions d'alimentation de l'usine de BOALI en saison sèche, aggravation due à la succession d'années déficitaires au plan des précipitations. Il a paru intéressant d'étudier l'incidence de ces années sèches sur le graphique des défaillances de la M'BALI à l'usine hydroélectrique, qui rappelons le, fonctionne au fil de l'eau.

(1) Etude des basses eaux de la M'BALI à BOALI par J.C. OLIVRY - ORSTOM -
Service Hydrologique - Juin 1967.

I. LES DONNEES PLUVIOMETRIQUES

I.1. Indices pluviométriques mensuels

Trois postes pluviométriques sont situés sur le bassin de la M'BALI à BOALI, ce sont de l'aval vers l'amont du bassin :

BOALI, BOSSEMBELE et YALOKE. Ces trois stations sont contrôlées par l'ASECNA, BOSSEMBELE est une station synoptique.

Les observations à ces trois stations se poursuivent depuis 1951 avec quelques lacunes. Dans la première étude de J.C. OLIVRY on avait retenu comme indice pluviométrique mensuel la moyenne arithmétique des trois stations, nous avons adopté ce mode de calcul et les indices pluviométriques mensuels pour la période 1951 à 1973 sont rassemblés dans le tableau I.

I.2. Variation de la pluviométrie annuelle et mensuelle moyenne sur le bassin

Au graphique 1 on a représenté la variation de la pluviométrie annuelle moyenne sur le bassin. On voit que les 4 dernières années sont inférieures à la moyenne. Il faut remonter aux années 1960, 1961 et 1962 pour retrouver une situation analogue, malheureusement les débits de saison sèche de ces trois années n'ont pas été observés. Sur ce graphique figurent en outre les courbes de la moyenne mobile centrée sur 5 ans et sur 11 ans.

La moyenne mobile centrée sur 11 ans varie peu entre 1955 et 1968, mais présente une légère tendance à l'abaissement.

Au graphique 2 on a représenté la variation mensuelle de la pluviométrie moyenne sur le bassin de la M'BALI à BOALI. Sept courbes figurent sur ce graphique, d'une part la courbe des valeurs moyennes et celles des valeurs extrêmes des indices pluviométriques mensuels sur 23 années, d'autre part les courbes des années 1970, 1971, 1972 et 1973.

On peut remarquer que les indices pluviométriques de ces 4 dernières années sont pour les mois de Septembre à Décembre toujours compris entre la courbe moyenne et la courbe minimale. Pour les 4 premiers mois de l'année on obtient une répartition sensiblement identique pour les 4 années et voisine de la répartition moyenne, les déficits importants de la saison des pluies se placent en Juillet pour 1973 et 1972, en Mai, Août et Septembre pour 1971, l'année 1970 étant pratiquement normale pour la période la plus pluvieuse.

En conclusion on peut dire que c'est la répétition d'un schéma pluviométrique identique, valeurs de l'indice pluviométrique moyennes en débuts d'année, faiblement déficitaires durant la saison des pluies, très faibles à partir de Septembre qui a conduit aux étiages remarquables des dernières années.

TABIEAU I

M'BALI à BOALI

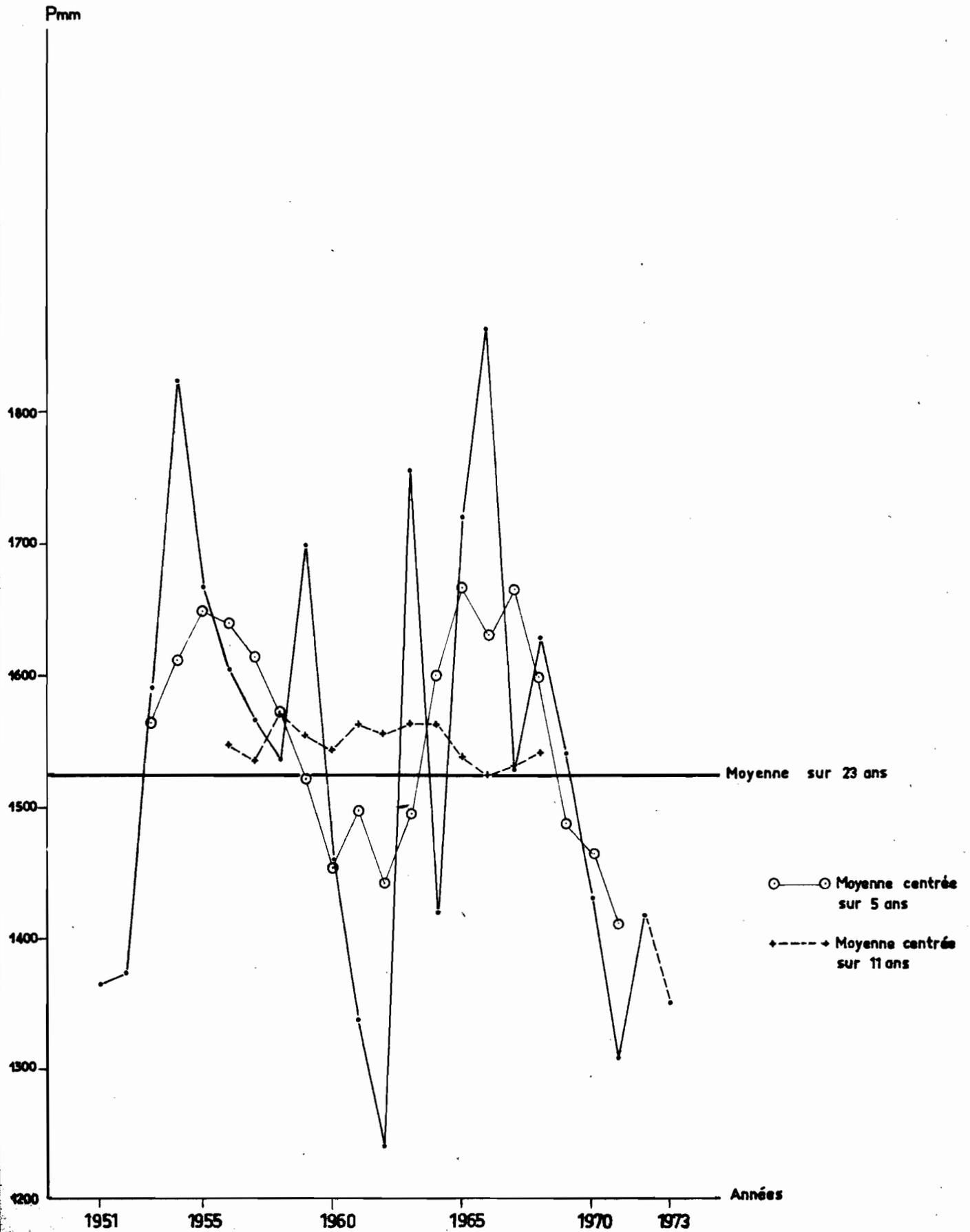
Indices pluviométriques mensuels et annuels en mm.

Années	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
1951	19	15	102	111	112	145	162	246	184	200	69	0	1365
1952	18	10	68	114	149	151	131	267	263	164	35	3	1373
1953	4	55	82	85	141	143	183	191	325	273	105	4	1591
1954	5	100	71	110	187	218	236	260	203	303	132	0	1825
1955	13	39	78	153	123	142	259	362	236	216	30	16	1667
1956	7	58	131	113	190	186	148	303	157	193	71	47	1604
1957	0	44	108	114	170	146	250	240	237	173	80	4	1566
1958	8	1	55	168	123	212	137	257	183	288	92	12	1536
1959	1	21	42	148	184	212	214	277	271	232	86	11	1699
1960	4	26	51	202	187	135	179	223	181	157	50	(65)	1460
1961	21	0	30	108	88	106	275	213	352	128	17	0	1338
1962	0	48	91	40	92	126	215	104	269	(205)	(50)	0	1240
1963	38	61	66	161	163	191	201	354	315	165	34	9	1756
1964	33	0	68	118	50	160	(206)	145	239	319	52	29	1419
1965	6	15	170	163	120	194	(202)	267	365	201	14	2	1719
1966	10	11	88	191	235	172	188	274	245	338	108	2	1863
1967	10	28	42	66	145	244	235	271	242	176	34	34	1527
1968	20	21	84	145	172	169	263	290	(165)	199	93	7	1628
1969	0	38	178	58	108	111	207	199	302	254	57	29	1541
1970	5	23	87	85	(125)	152	202	271	245	213	23	0	1431
1971	0	37	73	83	63	144	247	192	202	182	56	28	1307
1972	7	23	115	102	155	236	132	240	221	156	25	5	1417
1973	6	66	73	90	142	130	126	294	230	133	26		(1316)
Moyenne	10	32	84	118	140	166	199	249	244	211	58	13	1523

(1316) on ne possède pas encore les données de Décembre 1973

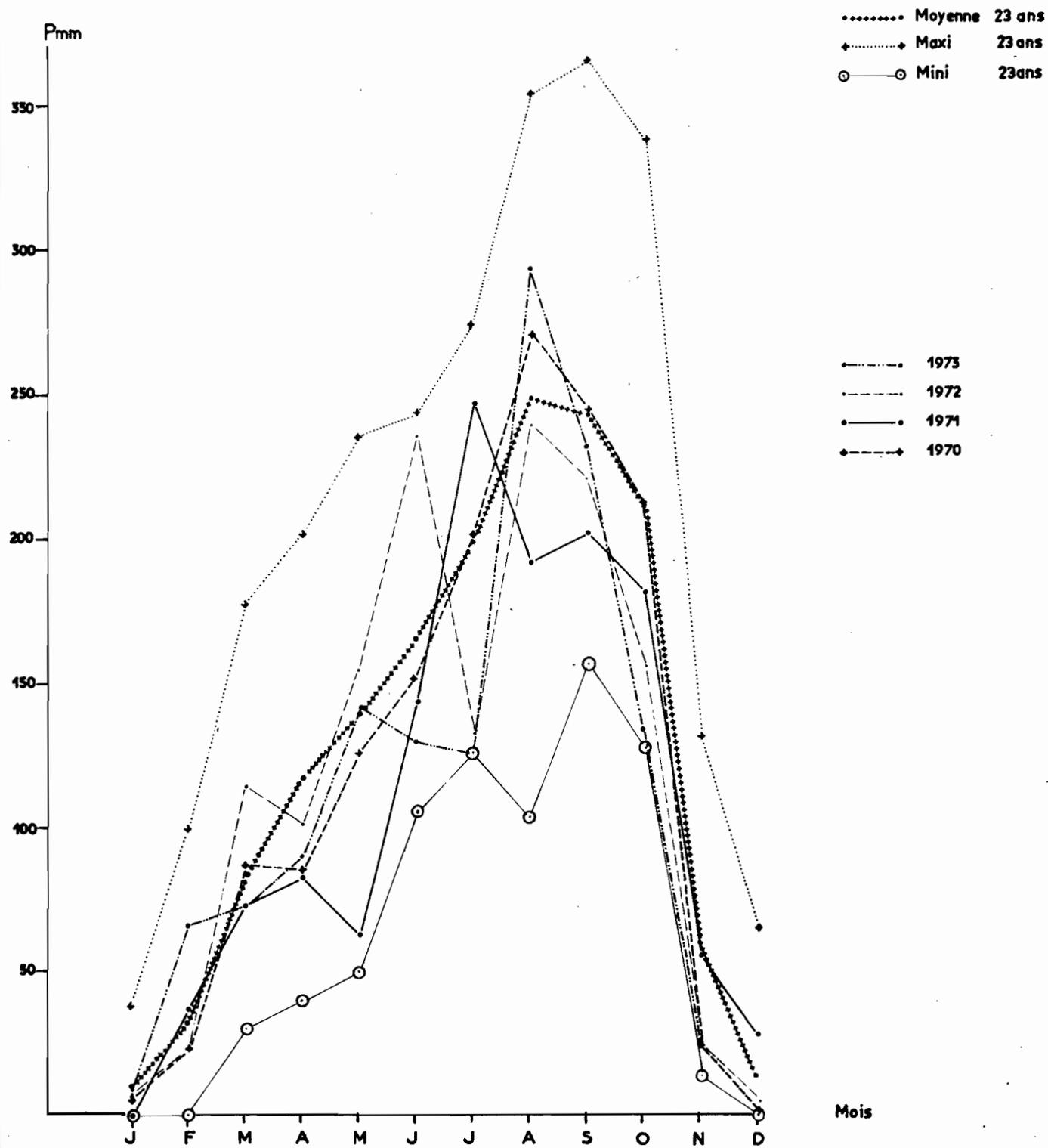
M'BALI à BOALI

Variation de la pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin



M'BALI à BOALI

Pluie moyenne mensuelle sur 23 ans



2. ETUDE DU TARISSEMENT

2.1. Courbes de tarissement et coefficients de tarissement

On a complété la première étude en traçant pour les années 1967 à 1973 les courbes de tarissement de la M'BALI. A partir de ces courbes on a calculé le coefficient de tarissement α à partir de la formule :

$q_t = q_0 e^{-\alpha t}$ ou q_0 est le débit à l'instant 0, q_t le débit à l'instant t , avec t en jours, q_0 et q_t en m^3/s .

On obtient ainsi une série de 19 valeurs de α exprimées en j^{-1}

Année	$\alpha \quad j^{-1}$	Année	$\alpha \quad j^{-1}$
1949	0,0119	1965	0,0108
1950	0,0110	1966	0,0123
1951	0,0111	1967	0,0110
1952	0,0130	1968	0,0098
1953	0,0108	1969	0,0091
1954	0,0126	1970	0,0107
1957	0,0102	1971	0,0112
1958	0,0119	1972	0,0129
1959	0,0126	1973	0,0199
1964	0,0088		

soit une valeur moyenne du coefficient de tarissement de la M'BALI à BOALI égale à $0,0116 \quad j^{-1}$, peu différente de celle trouvée en 1976, $\alpha = 0,0115 \quad j^{-1}$.

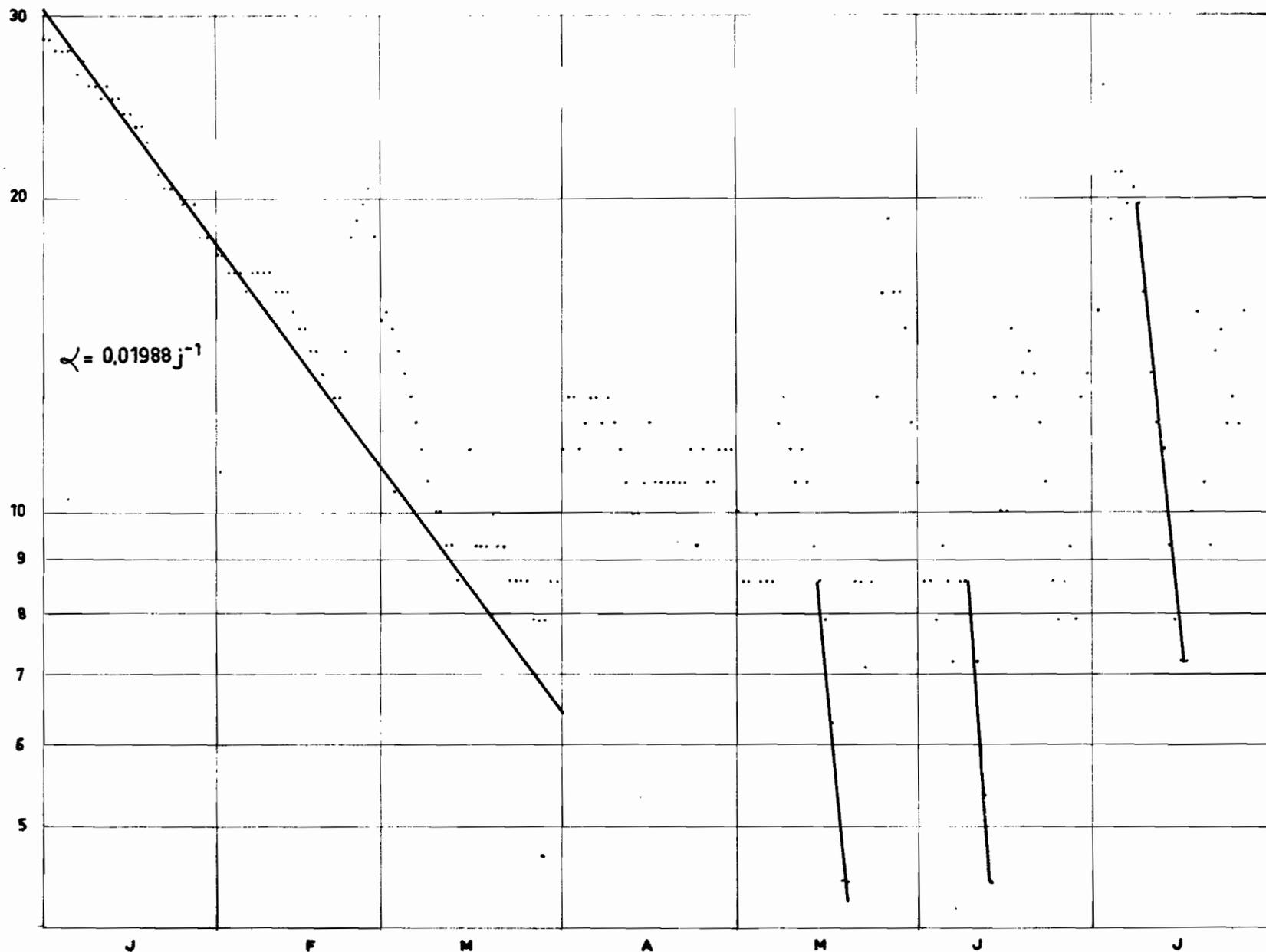
Il faut noter l'aggravation continue du coefficient de tarissement depuis 1969, ainsi que la valeur record de 1973 qui correspond à une diminution du débit de moitié pour 40 jours, contre 58 jours dans le cas du coefficient de tarissement moyen sur la période des 19 années observées.

Au graphique 4 figurent la courbe du tarissement moyen de la M'BALI à BOALI et les courbes de tarissement des années 1969 à 1973.

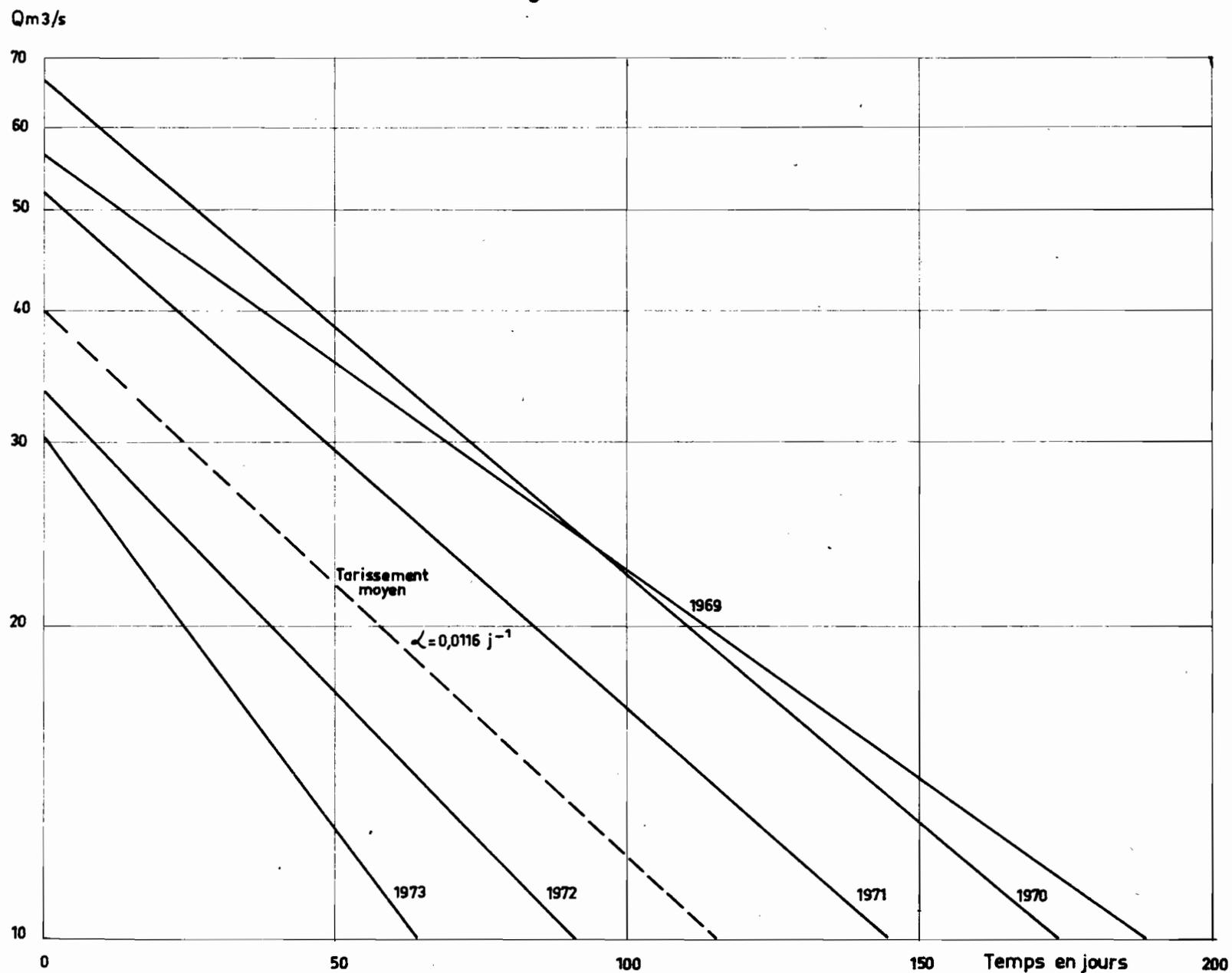
L'étude détaillée des courbes de tarissement de l'année 1973 fait apparaître une augmentation de la pente de la courbe de tarissement au-dessous d'une valeur du débit égale à $10 \quad m^3/s$. La nappe ou les nappes qui alimentent la rivière, non suffisamment rechargées par les pluies de Février de Mars et d'Avril, atteignent un seuil critique et se vident très rapidement conduisant à des débits extrêmement faibles, $4,42 \quad m^3/s$ les 17 et 18 Mai et le 12 Juin. (graphique 3)

Qm3/s

M'BALI à BOALI tarissement 1973



Courbes de tarissement de la M'BALI à BOALI
Origine 1^{er} Janvier



Ceci montre bien qu'en cas d'année très sèche ou de succession d'années sèches il conviendra de manipuler avec précaution le coefficient de tarissement déterminé généralement sur les trois premiers mois de l'année, une valeur beaucoup plus sévère pouvant s'établir si les nappes s'abaissent trop.

2.2. Estimation des débits de base

En choisissant arbitrairement comme point de départ du tarissement le 1er Janvier, on peut théoriquement à l'aide du coefficient α , calculer le débit de base de la M'BALI, c'est à dire le débit qui provient uniquement du tarissement de la rivière, pour tous les jours de la saison sèche suivant le 1er Janvier pris comme origine.

La première étude sur la M'BALI avait mis en évidence une corrélation entre le débit de base de la rivière au 1er Janvier et la pluviométrie moyenne sur le bassin du mois de Novembre précédent. On a repris cette corrélation et la courbe de correction en y incorporant les années 1968 à 1973. On obtient donc deux courbes : la courbe de variation du débit de base au 1er Janvier en fonction du facteur principal qui est la pluie de Novembre,

la courbe de correction de la valeur du débit de base par le facteur secondaire, qui est la somme des pluies d'Octobre à Juin affectées d'un coefficient dégressif.

Ces courbes figurent au graphique 5 et permettent de calculer le débit de base au 1er Janvier connaissant la pluviométrie de l'année précédente, et partant de là, la courbe de tarissement.

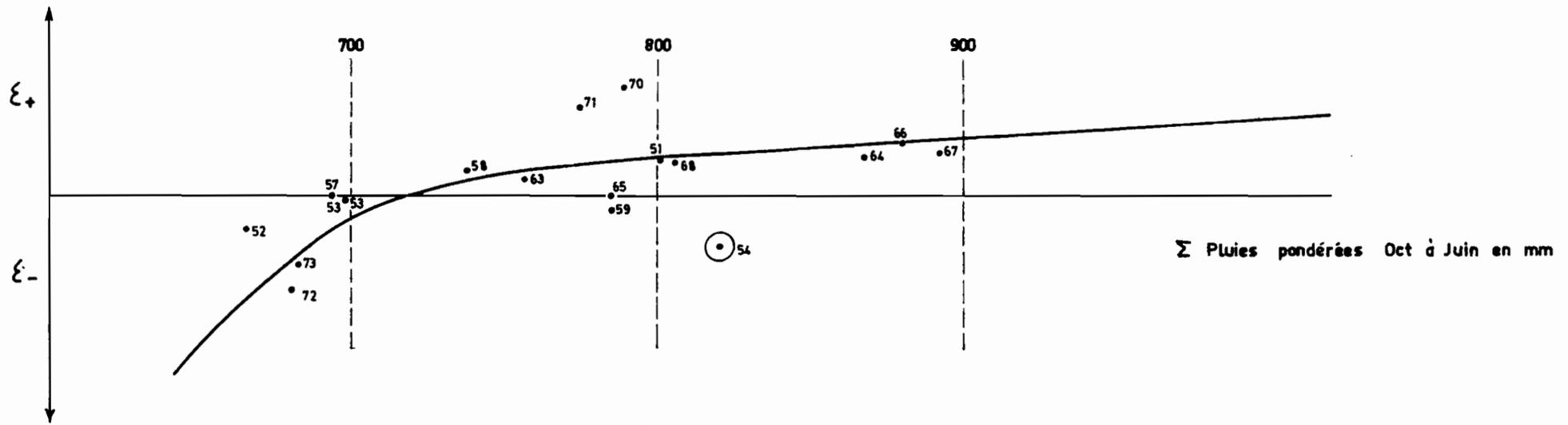
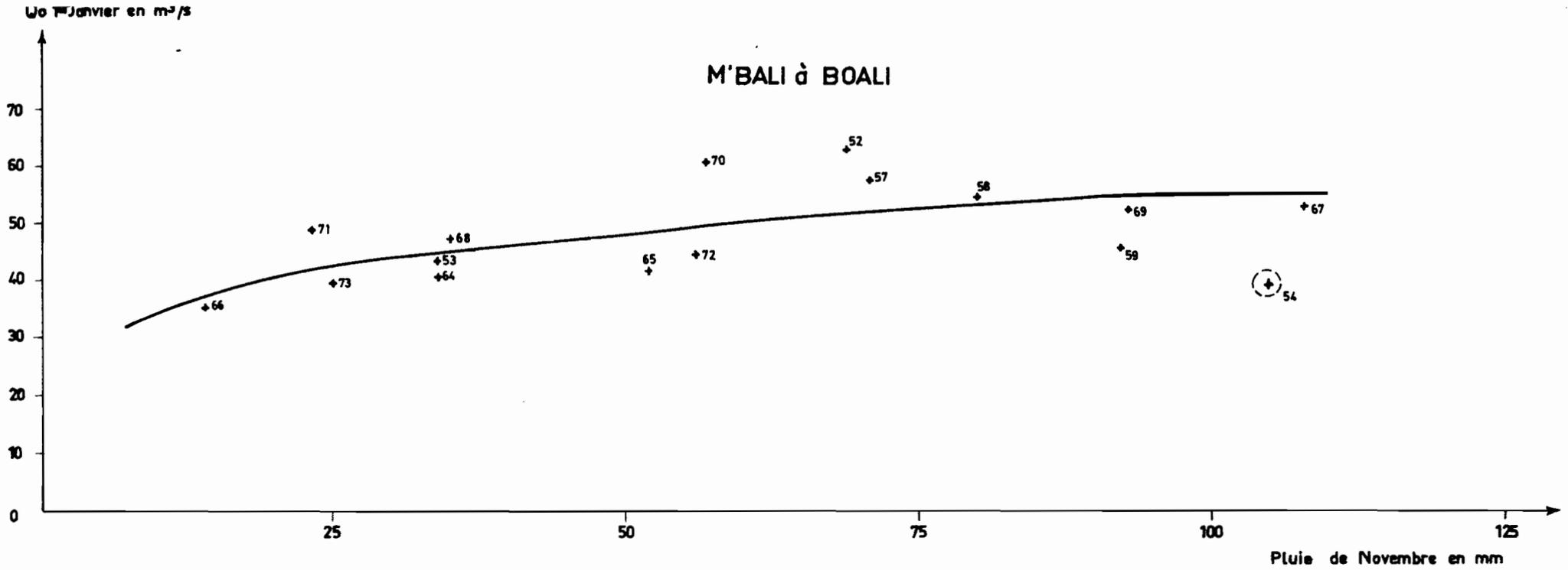
2.3. Estimation des débits moyens mensuels pour la saison sèche 1974

2.3.1. Estimation des débits de base moyens mensuels

L'indice pluviométrique du mois de Novembre 1973 est égal à 26 mm. La somme des pluies d'Octobre à Juin 1973, affectées d'un coefficient dégressif est égale à 650 mm. En utilisant les courbes du graphique 5, on obtient pour le débit de base au 1er Janvier 1974 une valeur de $19 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nous retiendrons comme coefficient de tarissement α , non pas le coefficient moyen sur la période d'observation, mais la valeur observée en 1973, compte tenu de la succession de plusieurs années à pluviométrie déficitaire et de la tendance qui se dégage des observations de Novembre et du début de Décembre 1973.

M'BALI à BOALI



Corrélation hydropluvimétrique

$$Q_0 \text{ 1}^{\text{er}} \text{ janvier} = f (P \text{ nov}) + g (0,9 P \text{ oct} + 0,8 P \text{ sept} + 0,7 P \text{ août} + 0,6 P \text{ jt} + 0,5 P \text{ juin})$$

En adoptant q_B 1er Janvier = $19 \text{ m}^3/\text{s}$ et $\alpha = 0,01988 \text{ j}^{-1}$ on obtient le débit de base q_B pour le dernier jour de chaque mois de la saison sèche 1974. En reportant ces valeurs sur diagrammes à coordonnées arithmétiques on peut tracer la courbe de tarissement correspondante et par planimétrie calculer le débit de tarissement moyen mensuel pour la période Janvier à Juin 1974.

Les résultats de ces calculs sont rassemblés au tableau II.

TABEAU II

Date	$q_B \text{ m}^3/\text{s}$	Q_B moyen mensuel m^3/s
1er Janvier	19	14
31 Janvier	10	8
28 Février	6	4
31 Mars	3	2
30 Avril	1,8	1
31 Mai	1,0	0,5
30 Juin	0,5	

2.3.2. Estimation des débits moyens mensuels

Le débit moyen mensuel Q_M est égal à la somme du débit moyen mensuel de tarissement Q_B et du débit moyen mensuel de ruissellement Q_R dû aux précipitations.

$$Q_M = Q_B + Q_R$$

On a calculé les débits moyens mensuels de ruissellement de la période d'observation en retranchant du débit moyen de chaque mois, le débit moyen de tarissement calculé à partir de la courbe de tarissement de l'année considérée.

Au tableau III figurent les débits de base et les débits ruisselés moyens mensuels.

Notre estimation des débits moyens de la M'BALI à BOALI pour les mois de Janvier à Juin 1974 est basée sur trois hypothèse.

- L'hypothèse moyenne, on a ajouté pour chaque mois, à la valeur du débit de base moyen mensuel indiquée au tableau III, la valeur moyenne du débit ruisselé moyen mensuel.

- L'hypothèse optimiste en procédant comme précédemment mais en utilisant la valeur maximale du débit ruisselé moyen mensuel.

- L'hypothèse pessimiste en utilisant la valeur minimale du débit ruisselé moyen mensuel.

Les valeurs obtenues ne sont que des approximations simplifiées, qui doivent simplement permettre à ENERCA de posséder une fourchette des débits probables; pour ses estimations de production d'énergie électrique à partir de l'usine de BOALI.

TABIEAU IV

Saison sèche 1974. Débits moyens mensuels estimés en m³/s

	J	F	M	A	M	J
Moyenne	15	10	10	10	12	20
Optimiste	17	16	19	14	20	33
Pessimiste	14	8	4	5	7	8

Il faut préciser que plus on s'éloigne du 1er Janvier plus les chances de voir une forte pluviométrie s'installer sont élevées, ce qui aurait pour conséquence de stopper d'une manière plus ou moins définitive le tarissement, donc d'obtenir des débits moyens plus élevés que prévus. Cependant compte tenu des observations effectuées depuis 23 ans il est pratiquement exclu de voir la courbe de tarissement s'infléchir avant la seconde quinzaine de Février.

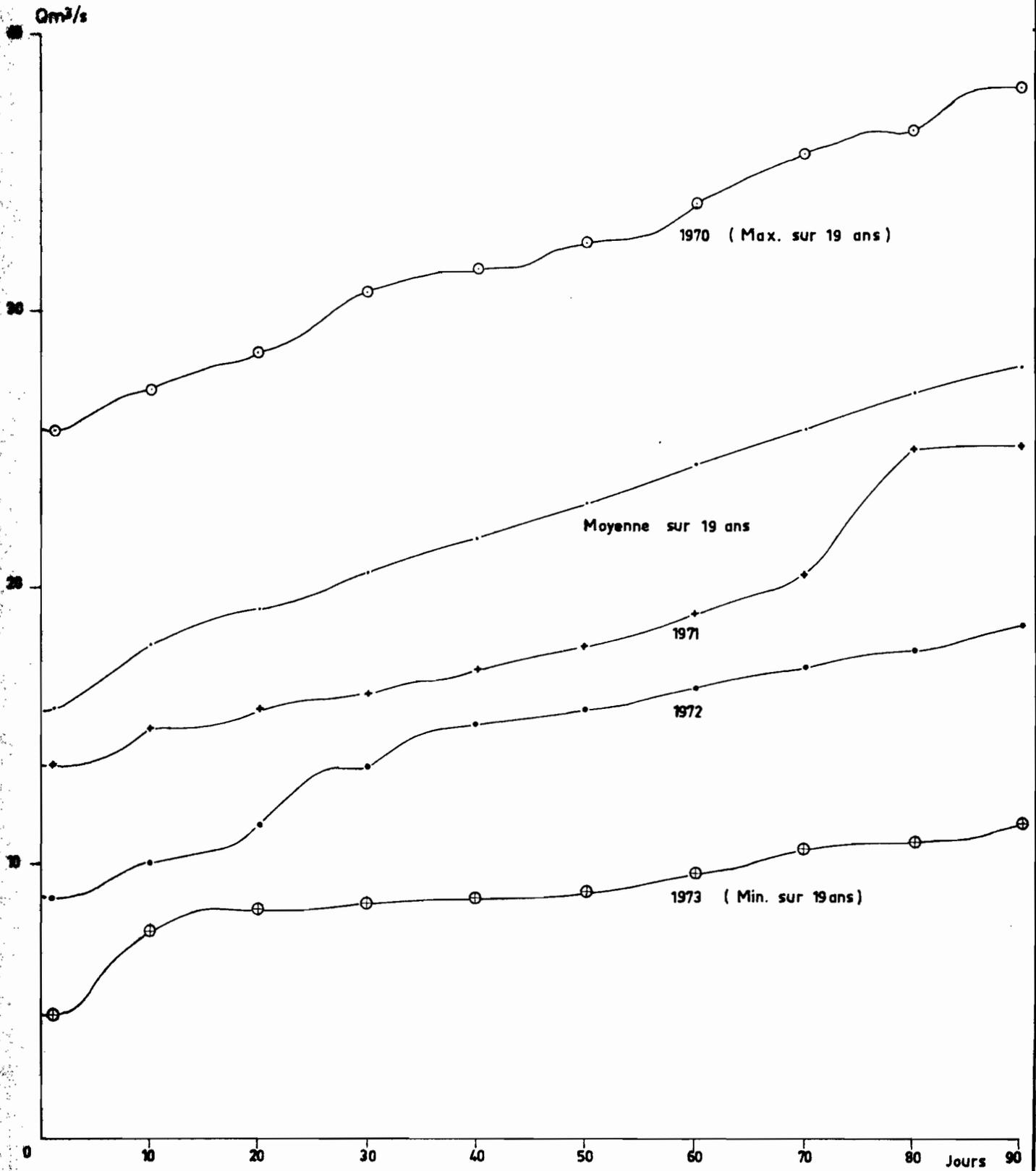
2.4. Etude des débits caractéristiques d'étiage

Les débits journaliers observés durant les périodes de basses eaux, Janvier à Juillet, des 19 années complètes d'observation ont été classés par ordre croissant.

A partir de ce classement on a obtenu les débits caractéristiques d'étiage DC 1, DC 10, DC 20, DC 90. (Le débit caractéristique de 1 jour, DC 1 est le débit qui n'aura pas été dépassé pendant 1 jour, le DC 10 est le débit qui n'aura pas été dépassé pendant 10 jours sur la période considérée).

Les débits caractéristiques, du DC 1 au DC 90 des 19 années d'observation sont rassemblés dans le tableau V.

M'BALI à BOALI
 Courbes des débits classés sur 3 mois



Au graphique 6 figurent la courbe moyenne sur 19 années des débits classés ainsi que les courbes des débits classés des années 1970 à 1973. Seule la courbe 1970 est supérieure à la courbe moyenne, elle représente d'ailleurs l'enveloppe supérieure de toutes les courbes observées en 19 ans, l'année 1973 marquant elle l'enveloppe inférieure de cette même période de 19 ans. On note non seulement un abaissement de l'origine des courbes mais une diminution importante de la pente de ces courbes depuis 1970.

2.5. Graphique des défaillances

Les débits caractéristiques du tableau V ont été classés par ordre décroissant de façon à attribuer à chaque débit caractéristique une fréquence expérimentale.

Le report sur un même graphique des débits en ordonnées arithmétiques et des périodes de retour en abscisses logarithmiques permet de tracer pour chaque débit caractéristique une courbe de défaillance.

Le graphique des défaillances de la M'BALI à BOALI réalisé à partir de 19 années d'observation figure au graphique 7.

On voit ainsi que pour un débit d'équipement de l'usine hydroélectrique de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, la défaillance sera de 20 jours tous les 2 ans, de 30 jours tous les 2 ans $\frac{1}{2}$, de 60 jours tous les 6 ans et de 90 jours tous les 10 ans.

Si l'on compare ces résultats à ceux obtenus lors de la première étude on s'aperçoit que si pour les DC 1, DC 10, DC 20 et DC 30 les fréquences de défaillance sont sensiblement les mêmes, les défaillances de longue durée, supérieure à 40 jours, ont des périodes de retour beaucoup plus faibles. Si dans la première étude on pourrait prévoir, toujours pour un débit de $20 \text{ m}^3/\text{s}$, une défaillance de 60 jours tous les 20 ans, avec les nouvelles courbes on prévoit une telle défaillance tous les 6 ans, une défaillance de 90 jours tous les 10 ans.

La prise en compte des dernières années d'observation aggrave donc très sensiblement les prévisions que l'on pouvait faire sur les étiages de la M'BALI à BOALI, et conduit à s'interroger sur l'intérêt d'une régularisation de l'écoulement à l'usine hydroélectrique.

TABIEAU V

M'BALI à BOALI

DEBITS CARACTERISTIQUES D'ETIAGE DE LA M'BALI à BOALI EN m³/s

ANNEES	DC I	DC 10	DC 20	DC 30	DC 40	DC 50	DC 60	DC 70	DC 80	DC 90
1949	(13)	(16)	(17)	(20)	(22)	(25)	(27)	(28)	(30)	31
1950	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	(21)	(22)	22	23
1951	13.0	15.0	17.8	19.0	19.9	21.5	22.2	23.3	24.6	25.0
1952	13.0	15.0	16.7	17.5	17.8	19.0	19.9	20.9	21.5	21.8
1953	13.0	15.0	19.0	20.9	22.5	24.3	26.4	27.8	29.6	29.6
1954	14.5	17.2	17.2	19.0	20.9	22.5	24.3	26.4	27.8	29.2
1957	15.0	20.9	22.9	23.6	24.3	26.4	27.4	27.8	29.6	30.7
1958	19.0	22.5	24.3	24.3	26.4	27.8	29.6	31.1	31.1	33.1
1959	17.2	19.0	19.0	20.9	20.9	22.5	24.3	24.3	26.4	27.8
1964	19.0	22.2	23.6	25.0	25.7	26.4	29.2	30.0	31.5	31.5
1965	16.7	17.8	19.0	20.6	22.9	24.3	26.4	27.1	28.5	30.0
1966	16.7	20.3	21.5	21.5	22.9	23.6	24.3	25.0	25.7	27.1
1967	17.8	19.6	20.9	22.2	24.3	25.6	27.8	30.0	31.5	33.1
1968	20.2	21.0	22.8	23.6	25.0	25.8	27.2	28.6	30.0	30.7
1969	21.5	23.6	24.3	25.0	26.1	27.8	29.0	30.4	32.4	34.8
1970	25.7	27.1	28.5	30.7	31.5	32.3	34.0	35.6	36.4	38.0
1971	13.6	15.0	15.6	16.2	17.0	17.8	19.0	20.5	25.0	25.0
1972	8.8	10.0	11.5	13.6	15.0	15.6	16.3	17.0	17.7	18.4
1973	4.4	7.2	8.0	8.5	8.6	9.2	10.0	10.7	10.7	11.5
Moyenne	15.6	17.9	19.2	20.5	21.7	23.0	24.4	25.6	26.9	27.9

M'BALI à BOALI

Graphique des défaillances sur 19 ans

