

ELECTRICITE DE FRANCE

IGECO

NOTE HYDROLOGIQUE
POUR L'ÉQUIPEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE
DU BARRAGE DE MARKALA

NOVEMBRE 1961

ELECTRICITE de FRANCE

I.G.E.C.O.

NOTE HYDROLOGIQUE
POUR L'EQUIPEMENT HYDRO-ELECTRIQUE
DU BARRAGE DE MARKALA

Novembre 1961

NOTE HYDROLOGIQUE
POUR L'EQUIPEMENT HYDRO-ELECTRIQUE
DU BARRAGE DE MARKALA

1 - DONNEES HYDROLOGIQUES DISPONIBLES

Le barrage de MARKALA est situé quelques km en amont de l'échelle de KIRANGO. Toutefois, cette station ne peut être utilisée pour l'étude des apports turbinables. En effet, d'une part la période d'observation directe des débits est relativement courte, un certain nombre de relevés sont sujets à caution et les lacunes sont nombreuses et importantes ; d'autre part, cette station ne contrôle pas les débits de basses eaux, des prélèvements variables et mal connus étant pratiqués à l'amont par l'Office du NIGER.

L'échelle de KIRANGO est précieuse, par contre, pour connaître la loi hauteur-débit dans le bief aval (restitution des débits turbinés). Cette donnée est d'autant plus importante que la hauteur de chute est faible et que sa variation influe considérablement sur la puissance produisible. Un tarage récent de l'échelle par le Service de l'Hydraulique du MALI donne avec une précision acceptable la loi hauteur-débit au droit de l'échelle. On peut estimer que la dénivelée du plan d'eau entre l'échelle et l'emplacement de la future restitution est de 0,25 m. Le zéro de cette échelle étant à 293,86 m dans le système du nivellement SANSANDING, la cote du plan d'eau à l'amont du barrage étant maintenue à 300,54 m, la chute disponible est égale à :

$$300,54 - (293,86 + 0,25) - H_m = 6,43 - H_m$$

H étant la cote de l'eau à l'échelle de KIRANGO.

En se reportant au barème d'étalonnage de KIRANGO, on trouve les correspondances suivantes entre les débits dans le NIGER et les hauteurs de chute brutes :

Chute brute (m)	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Débit (m ³ /s)	2280	1790	1380	930	585	295

Les débits d'apports peuvent être fournis par la station de KOULIKORO, située en amont et exploitée depuis 1907. Cette station contrôle un débit de 120 000 km². Le bassin intermédiaire, de 18 000 km², est relativement peu arrosé et surtout les conditions d'écoulement y sont très défavorables, sauf dans le bassin de la KODA, immédiatement à l'aval de KOULIKORO. On peut supposer que les apports de ce bassin intermédiaire compensent à peu près les pertes par évaporation dans le bief KOULIKORO-MARKALA. Il y aurait lieu toutefois de s'assurer que les pertes par la FALA de MOLODO sont inexistantes ou négligeables en basses eaux, ce qui est probable.

2 - HYPOTHESES de CALCUL

Les besoins en eau de l'Office du NIGER pour l'irrigation doivent être honorés par priorité. Pour les calculs, nous nous sommes basés sur les pronostics du plan quinquenal qui donne pour 1966 (débits prélevés en m³/s)

Date	Prélèvement en 1956
1er Juin	97,9
15 Juin	97,9
1er Juillet	80,1
15 Juillet	64,8
1er Août	100,5
1er Septembre	88,6
15 Septembre	111,7
15 Octobre	92,5
15 Novembre	68,7
15 Décembre	64,8
15 Janvier	64,8
15 Février	62,2
1er Mars	46,9
1er Avril	46,9
1er Mai	46,9
1er Juin	46,9

En fait, ces données ont été quelque peu simplifiées pour alléger les calculs. On a admis uniformément, pendant les mois de basses eaux :

65 m³/s en Janvier
62 " en Février
47 " en Avril - Mai - Juin
98 " en Juillet

Ces simplifications n'introduisent aucune erreur dans l'évaluation de la productibilité.

Il faut ajouter à ces prélèvements un débit de fuite permanent à travers les hausses du barrage : ce débit a été évalué à 13 m³/s.

Le fonctionnement de l'ouvrage, du point de vue hydroélectrique, est le suivant :

- En basses eaux, on dispose pratiquement de la chute maximale. Le débit varie de zéro à la valeur qui correspond à la puissance nominale des turbines sous la chute maximale. Le critère hydrologique pour la productibilité sera donc les débits classés disponibles, c'est-à-dire les débits naturels diminués des prélèvements de l'Office du NIGER et des fuites au barrage.

En hautes-eaux, les débits sont surabondants, mais la chute diminue avec le débit du bief aval. Le critère hydrologique sera donc les charges disponibles classés. On a admis que les pertes de charge de l'installation étaient de 0,20 m.

Ce schéma montre que les possibilités de production sont comprises dans une bande limitée d'un côté en basses eaux par la déficience des débits de l'autre, en hautes eaux, par la déficience des hauteurs de chute disponibles. Seules les déficiences peuvent être comptabilisées de façon simple. C'est pourquoi le schéma d'étude suivant a été adopté :

- Classer les débits de basses eaux en regard du nombre de jours pour lequel un débit n'est pas atteint (défaillances de basses eaux)

AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE
DE MARKALA

Gr. 1

FONCTIONNEMENT D'UN GROUPE BULBE ESCHER-WYSS
($\varnothing = 1450$)

DANS LES CONDITIONS DU PROJET

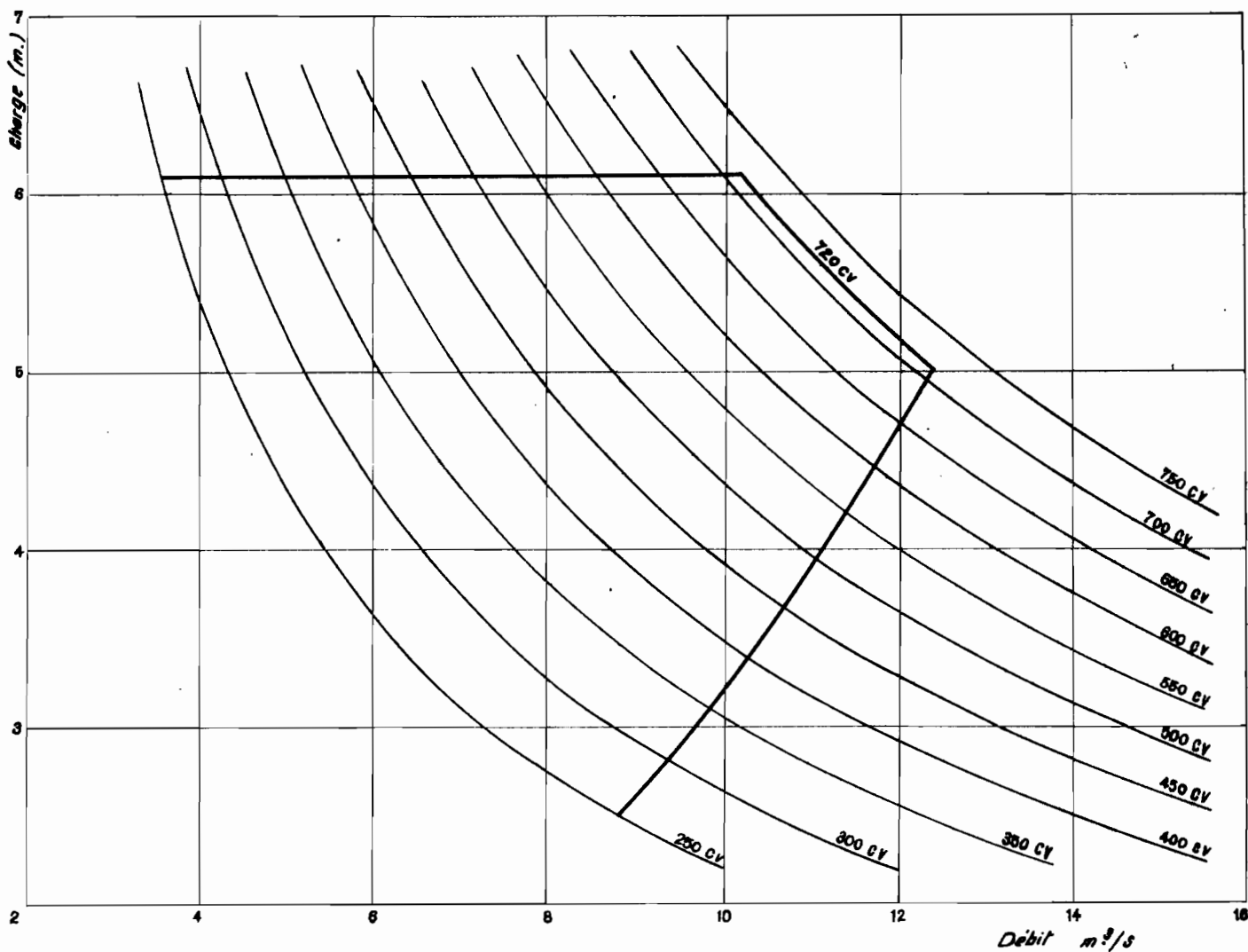


TABLEAU I

DEFAILLANCES de BASSES-EAUX

Débits en m³/s non dépassés en 10 jours, 20 jours etc..

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
1908	0	0	0	0	0	0	0	6	16	35	45	72
1909	0	6	16	22	29	33	45	55	67	105	144	154
1910	0	0	0	0	0	2	12	20	35	45	75	105
1911	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16	55
1912	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	45	62
1913	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	18	26
1914	0	0	0	0	0	0	0	5	8	23	27	47
1915	0	0	0	0	0	0	0	0	1	14	49	84
1916	0	0	0	0	0	0	0	0	6	26	49	60
1917	0	0	0	0	0	0	4	14	22	27	35	40
1918	29	31	45	72	85	90	96	114	126	159	171	220
1919	0	0	0	0	6	25	33	72	80	105	111	148
1920	0	0	0	0	0	0	6	12	16	34	45	51
1921	0	0	0	0	0	0	0	0	4	16	25	30
1922	0	0	0	0	0	0	4	14	29	36	45	55
1923	0	12	16	27	39	53	61	63	67	99	126	162
1924	0	0	0	0	0	0	0	18	45	67	120	180
1925	2	6	14	25	33	41	61	96	108	144	189	220
1926	0	0	6	10	12	18	45	61	99	135	202	292
1927	0	0	0	2	10	19	31	35	45	53	61	105
1928	0	6	25	35	55	61	72	85	105	157	247	297
1929	43	45	55	55	65	67	75	87	114	138	202	270
1930	6	6	25	67	49	65	77	93	126	157	225	292
1931	35	51	59	67	87	105	126	150	213	249	292	365
1932	49	55	65	70	77	82	90	108	135	162	225	292
1933	6	20	25	25	35	45	55	65	75	93	120	171
1934	0	0	0	0	0	4	14	31	36	43	67	96
1935	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9	31	56
1936	0	0	0	6	13	29	31	44	62	89	130	187
1937	23	25	31	35	39	43	44	50	58	60	75	108
1938	0	0	0	0	5	11	16	23	29	37	49	77
1939	0	0	0	0	0	6	13	29	33	43	72	87
1940	0	0	0	0	0	0	0	7	16	31	46	64
1941	0	0	0	0	0	0	0	3	21	35	51	74
1942	0	0	0	0	1	23	33	54	64	79	89	104
1943	0	0	0	0	0	0	3	6	18	29	39	45
1944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	10
1945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1946	0	0	0	0	0	0	0	5	20	29	39	59
1947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	35	51

TABLEAU II

DEFAILLANCES de HAUTES EAUX
(Nombre de jours pour lesquels la chute est inférieure
à 2,50 m, 3,00 m etc...)

Chute	2,50m	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
1907	80	92	112	135	154	206
1908	81	87	99	131	152	193
1909	122	133	143	178	212	247
1910	78	98	106	126	150	179
1911	99	110	118	147	170	206
1912	84	90	100	137	157	202
1913	41	69	88	108	144	171
1914	55	60	70	112	143	186
1915	85	104	117	153	180	217
1916	83	105	115	131	153	181
1917	78	89	116	144	168	203
1918	101	107	139	177	198	229
1919	78	111	131	151	187	214
1920	88	98	124	152	172	199
1921	74	82	92	123	148	181
1922	91	97	103	139	169	208
1923	117	125	138	152	184	217
1924	118	129	146	163	193	219
1925	122	135	152	181	208	243
1926	109	137	146	171	193	223
1927	115	131	149	171	198	227
1928	113	124	137	167	192	236
1929	122	146	155	180	203	245
1930	119	129	136	181	212	245
1931	102	114	136	171	207	256
1932	104	119	147	164	191	242
1933	92	117	140	163	193	220
1934	100	108	123	132	167	192
1935	94	100	111	139	158	188
1936	91	111	141	164	191	250
1937	81	96	113	137	151	191
1938	94	102	112	133	158	193
1939	86	103	112	128	162	203
1940	88	99	118	129	161	195

TABLEAU II (suite)

Chute	2,50 m	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
1941	56	91	101	131	169	198
1942	56	73	90	121	145	174
1943	71	88	101	110	143	181
1944	55	71	82	108	129	175
1945	84	93	100	128	141	165
1946	94	111	122	146	167	207
1947	77	88	107	122	139	181
1948	106	129	137	151	178	211
1949	71	85	111	126	145	182
1950	87	110	116	143	159	189
1951	127	147	157	174	207	278
1952	107	120	133	152	176	212
1953	113	143	157	174	208	242
1954	134	150	164	183	227	265
1955	115	141	160	181	211	256
1956	81	91	107	137	178	202
1957	118	134	141	166	201	238
1958	84	116	156	186	(220)	

que la chute nette soit au moins égale à 5 m et la chute brute à 5,20 m, valeur à introduire dans le tableau II.

En opérant de même pour différentes puissance, on trouve :

600 CV (1200 pour les 2 turbines)

Basses eaux	Q	≥	17 m ³ /s
Hautes eaux	H _{brute}	≥	4,55 m

500 CV

Basses eaux	Q	≥	14,3 m ³ /s
Hautes eaux	H _{brute}	≥	4,10 m

400 CV

Basses eaux	Q	≥	11,5 m ³ /s
Hautes eaux	H _{brute}	≥	3,60 m

300 CV

Basses eaux	Q	≥	8,5 m ³ /s
Hautes eaux	H _{brute}	≥	3,00 m

250 CV (puissance minimale)

Basses eaux	Q	≥	7 m ³ /s
Hautes eaux	H _{brute}	≥	2,70 m

L'analyse du fonctionnement en dehors de ces limites montre qu'il ne fait pas gagner grand chose en productibilité, soit (basses eaux) parce que les débits compris entre 7 et 0 m³/s sont très peu nombreux, soit parce que le rendement des roues baisse très vite quand la chute nette devient inférieure à 2,50 m (hautes eaux).

A partir de ces données et des tableaux I et II, on a établi le tableau III qui donne, pour une seule turbine, le nombre de jours pour lesquels on peut disposer d'une puissance au moins égale à la puissance indiquée. On

TABLEAU III

Nombre de jours pour lesquels la puissance est au moins égale à 720 CV, 600 CV etc... (puissance d'une seule turbine)

	:720 CV	:600 CV	:500 CV	:400 CV	:300 CV	:250 CV	:Productibles : 10 ⁶ kWh :
1908	63	119	142	175	196	200	4,18
1909	75	118	152	190	210	218	4,49
1910	95	135	162	185	201	218	4,60
1911	35	80	102	135	152	161	3,20
1912	44	103	130	162	180	185	3,82
1913	75	105	145	172	198	218	4,33
1914	65	122	152	190	215	273	5,00
1915	30	80	107	144	165	177	3,43
1916	75	112	134	153	169	184	3,83
1917	57	111	136	165	203	212	4,22
1918	123	164	184	218	258	262	5,51
1919	81	119	152	177	203	223	4,45
1920	62	100	124	155	192	203	3,96
1921	65	94	139	169	190	196	3,95
1922	57	110	140	177	194	200	4,13
1923	103	148	182	203	222	230	4,94
1924	55	89	118	140	161	168	3,40
1925	72	121	149	178	207	217	4,41
1926	70	111	137	169	193	214	4,23
1927	65	105	136	161	187	200	4,02
1928	83	142	168	200	220	227	4,81
1929	104	158	181	205	219	233	5,01
1930	78	124	153	197	215	222	4,57
1931	89	153	187	222	251	258	5,38
1932	103	164	196	215	246	255	5,43
1933	113	151	181	207	237	253	5,25
1934	91	123	156	172	192	196	4,23
1935	60	99	119	147	165	171	3,54
1936	36	116	145	171	205	226	4,40
1937	158	210	225	247	269	278	6,21
1938	82	131	160	189	208	216	4,59
1939	72	127	159	182	199	212	4,42
1940	63	110	143	160	184	193	3,99

TABLEAU III (suite)

	:720 CV	:600 CV	:500 CV	:400 CV	:300 CV	:250 CV	:Productible : 10 ⁶ kWh :
1941	65	115	140	173	191	214	4,47
1942	119	160	182	214	239	250	5,33
1943	77	128	160	178	196	208	4,42
1944	43	106	131	158	176	189	3,83
1945	60	92	109	137	152	158	3,29
1946	52	102	128	154	172	184	3,73
1947	65	122	143	160	183	191	4,02
1948	22	69	96	113	127	142	2,77
1949	130	178	204	223	258	268	5,75
1950	72	113	134	163	178	193	3,98
1951	60	151	185	204	218	230	4,91
1952	139	185	208	228	245	254	5,70
1953	109	130	164	187	202	225	4,71
1954	84	134	173	197	215	225	4,77
1955	91	150	178	201	224	240	5,02
1956	153	184	220	252	274	282	6,15
1957	57	108	140	169	186	200	4,08

commence en réalité par déterminer le nombre de jours dans l'année pour lesquels on n'atteint pas la puissance : les chiffres du tableau III sont obtenus en faisant le complément à 365.

Pour calculer la productibilité d'une année, on planimètre le graphique obtenu en portant les puissances en ordonnée et les nombres de jours correspondant en abscisse. Nous donnons, figure 2, l'exemple de l'année 1909 : chaque cm² représente $50 \times 10 \times 24 \times 0,736 = 8\ 800$ kWh, soit, pour l'ensemble des deux turbines : 17 600 kWh. Les résultats sont portés dans la dernière colonne du tableau III.

6 - ETUDE STATISTIQUE de la PRODUCTIBILITE ANNUELLE

Le tableau III contient donc un échantillon de 50 valeurs de la productibilité annuelle de l'aménagement. Cet échantillon est classé sur le tableau IV par ordre de valeurs croissantes. Les fréquences naturelles de chacune des valeurs ont été déterminées par $\frac{n - \frac{1}{2}}{N}$, n étant le

rang et N le nombre total des valeurs.

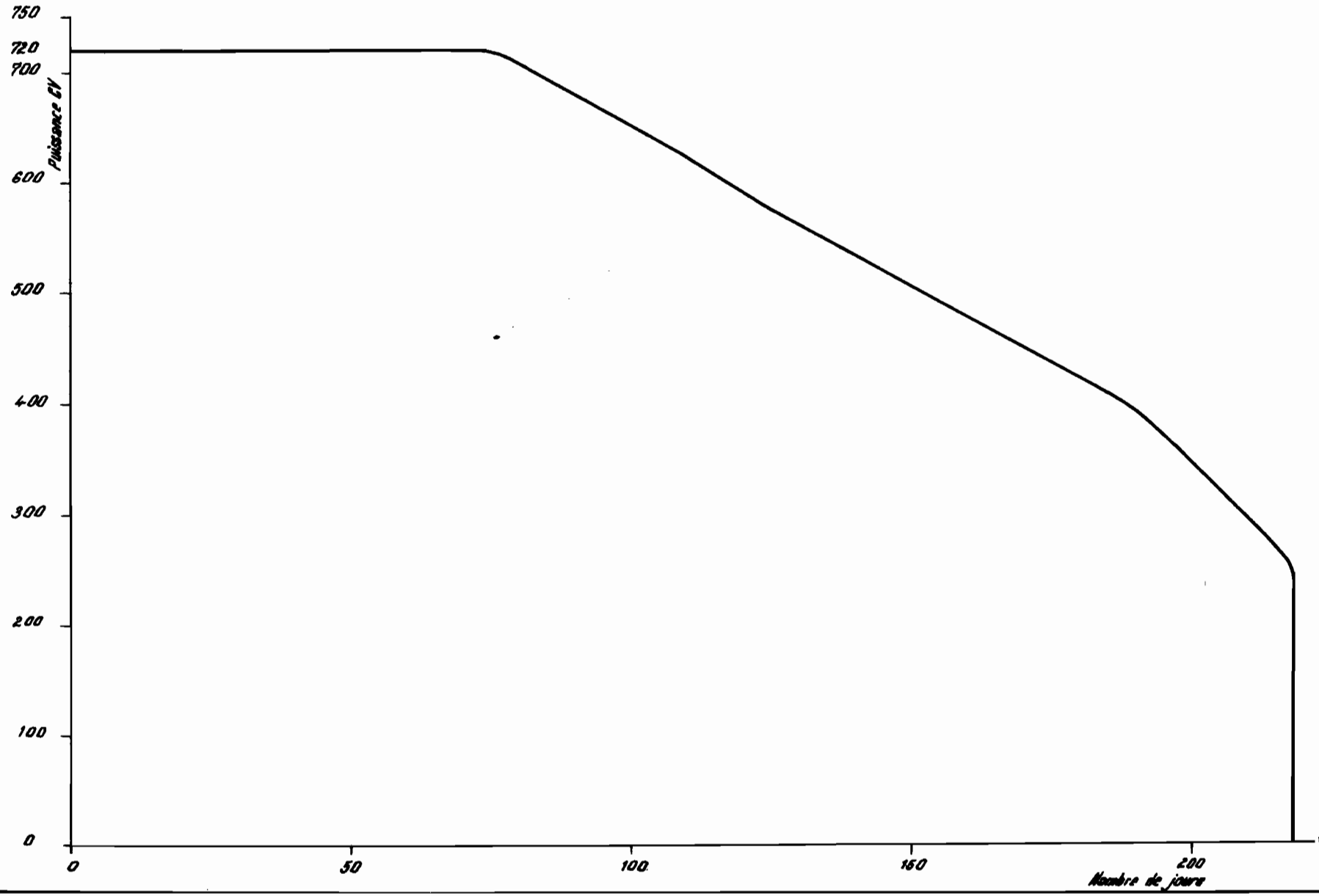
Le graphique 3 montre que la distribution est suffisamment proche de la normale pour qu'on puisse la considérer comme telle. On sait que cette distribution est entièrement définie par la moyenne et l'écart-type dont les estimations au vu de l'échantillon sont :

Moyenne :	$4,46 \times 10^6$ kWh
Ecart-type	$0,75 \times 10^6$ kWh.

M. ROCHE

AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE DE MARKALA

CALCUL DE LA PRODUCTIBILITÉ POUR L'ANNÉE 1909



CITUBE
ELECTRICITE DE FRANCE - INSPECTION GENERALE POUR LA COOPERATION HORS METROPOLE
AO
DATE : 27-11-1964
DESSINE : J.P. Bouché
E 01

MAL 51 051

TABLEAU IV

CLASSEMENT des PRODUCTIBILITES ANNUELLES

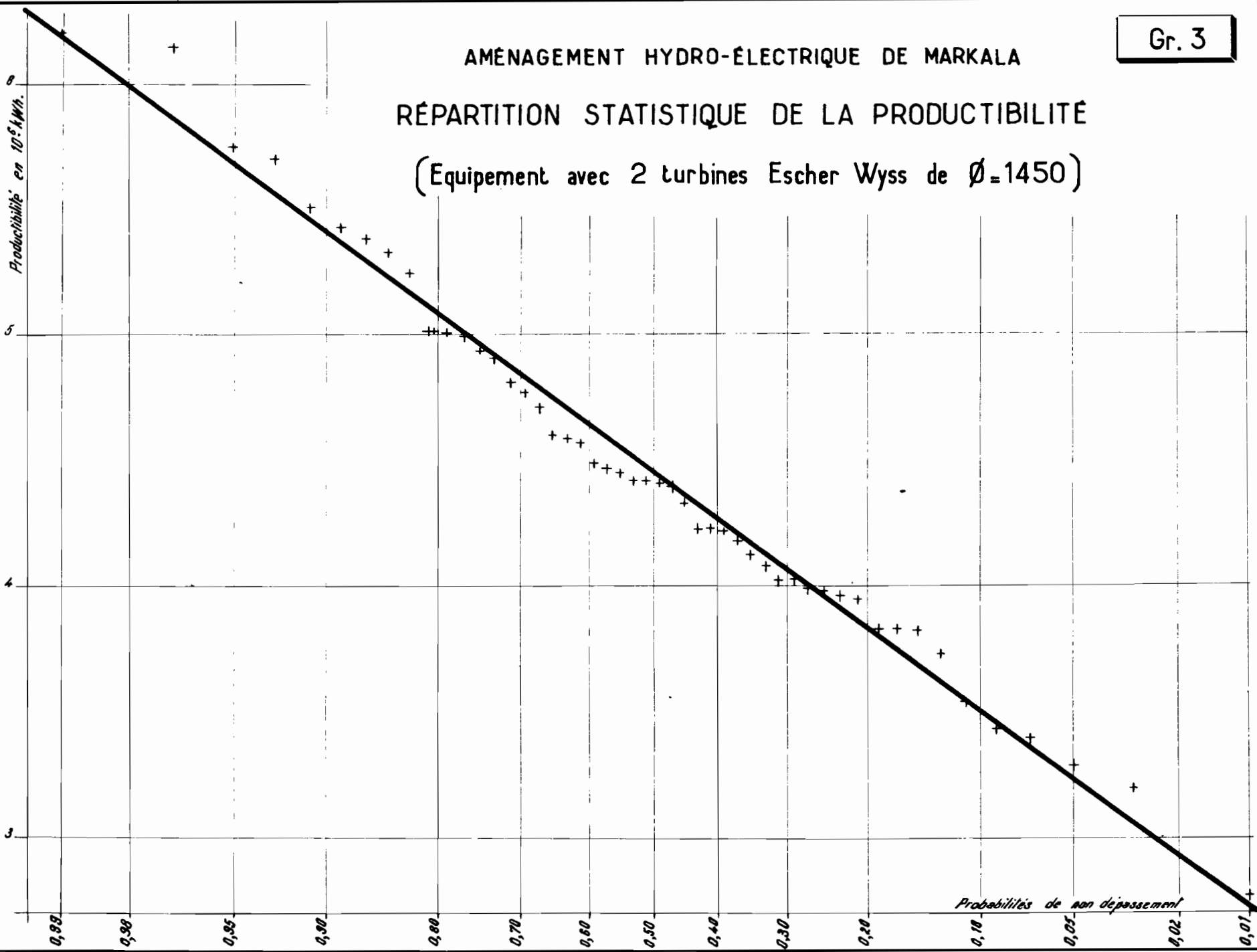
N°	Fréquence	Production 10 ⁶ kWh	N°	Fréquence	Production 10 ⁶ kWh
1	0,01	2,77	26	0,51	4,42
2	0,03	3,20	27	0,53	4,42
3	0,05	3,29	28	0,55	4,45
4	0,07	3,40	29	0,57	4,47
5	0,09	3,43	30	0,59	4,49
6	0,11	3,54	31	0,61	4,57
7	0,13	3,73	32	0,63	4,59
8	0,15	3,82	33	0,65	4,60
9	0,17	3,83	34	0,67	4,71
10	0,19	3,83	35	0,69	4,77
11	0,21	3,95	36	0,71	4,81
12	0,23	3,96	37	0,73	4,91
13	0,25	3,98	38	0,75	4,94
14	0,27	3,99	39	0,77	5,00
15	0,29	4,02	40	0,79	5,01
16	0,31	4,02	41	0,81	5,02
17	0,33	4,08	42	0,83	5,25
18	0,35	4,13	43	0,85	5,33
19	0,37	4,18	44	0,87	5,38
20	0,39	4,22	45	0,89	5,43
21	0,41	4,23	46	0,91	5,51
22	0,43	4,23	47	0,93	5,70
23	0,45	4,33	48	0,95	5,75
24	0,47	4,40	49	0,97	6,15
25	0,49	4,41	50	0,99	6,21

Gr. 3

AMÉNAGEMENT HYDRO-ÉLECTRIQUE DE MARKALA

RÉPARTITION STATISTIQUE DE LA PRODUCTIBILITÉ

(Équipement avec 2 turbines Escher Wyss de $\varnothing=1450$)



CITUBE AO DATE : 27-11-1961 DESSINÉ : J.P. BARRIS

EM | | | | |
MAL 51 052